



Dissertação de Mestrado

Avaliação de Distúrbios da Voz por meio de Análise de Quantificação de Recorrência



Vinicius Jefferson Dias Vieira



Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba
Programa de Pós Graduação em Engenharia Elétrica

Avaliação de Distúrbios da Voz por meio de Análise de Quantificação de Recorrência

Vinícius Jefferson Dias Vieira

Dissertação de Mestrado submetida à Coordenação do Programa de Pós Graduação em Engenharia Elétrica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba como requisito necessário para obtenção do grau de Mestre em Ciências no Domínio da Engenharia Elétrica.

Área de Concentração: Processamento de Sinais.

Silvana Luciene do Nascimento Cunha Costa, D.Sc.
Orientadora

Suzete Élide Nóbrega Correia, D.Sc.
Co-Orientadora

João Pessoa, Paraíba, Brasil
21 de Fevereiro de 2014
©Vinícius Jefferson Dias Vieira

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Biblioteca Nilo Peçanha – IFPB, *Campus* João Pessoa

V 657a

Vieira, Vinícius Jefferson Dias.

Avaliação de distúrbios da voz por meio de análise de quantificação de recorrência / Vinícius Jefferson Dias Vieira. – 2014.

217 f.: il.

Dissertação (Mestrado – Engenharia Elétrica). Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba - IFPB / Coordenação do Programa de Pós - Graduação em Engenharia Elétrica, 2014.

Orientação: Prof. D.Sc. Silvana Luciene do Nascimento Cunha Costa.

1. Processamento digital de sinais. 2. Distúrbios da voz. 3. Análise de quantificação de recorrência. I. Título.

CDU 621.391

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba
Programa de Pós Graduação em Engenharia Elétrica

Avaliação de Distúrbios da Voz por meio de Análise de Quantificação de Recorrência

Vinícius Jefferson Dias Vieira

Dissertação de Mestrado defendida e aprovada em 21/02/2019.

Banca examinadora:

Silvane Luciene do N. Cunha Costa

Profa. Silvana Luciene do Nascimento Cunha Costa, D.Sc.
Orientadora (IFPB)

Suzete Elida Nóbrega Correia

Profa. Suzete Élida Nóbrega Correia, D.Sc.
Co-Orientadora (IFPB)

Joseana Macêdo Fachine Régis de Araújo

Profa. Joseana Macêdo Fachine Régis de Araújo, D.Sc.
Membro da Banca (UFCG)

Leonardo W. Lopes

Prof. Leonardo Wanderley Lopes, Dr.
Membro da Banca (UFPB)

Washington César de Almeida Costa

Prof. Washington César de Almeida Costa, D.Sc.
Membro da Banca (IFPB)

João Pessoa, Paraíba, Brasil

Aos meus pais, Verônica e Francisco.

Agradecimentos

- ★ A Deus, Senhor da vida, por tudo que eu pude vivenciar até hoje, pelas pessoas que conheci, e por tudo que ainda está por vir;
- ★ Aos meus pais, Verônica e Francisco, por todo amor, educação, carinho e paciência para comigo. À minha irmã, Fernanda, pelo apoio, e à minha namorada, Edvirgens, pelo companheirismo e paciência com meus momentos de ausência;
- ★ À Professora Silvana Costa, minha Orientadora, por dedicar parte do seu tempo, desde os últimos anos, para compartilhar comigo seus valiosos conhecimentos, não apenas na área acadêmica, mas também dando conselhos e ensinando valores humanos;
- ★ À Professora Suzete Correia, minha Co-Orientadora, por ter aceitado tal papel nesta pesquisa, pelos ensinamentos e orientações em sala de aula, e por todas as conversas e conselhos dados;
- ★ Ao Professor Washington Costa, membro da Banca, por partilhar seus conhecimentos desde a minha Graduação, bem como por todas as conversas sobre questões acadêmicas e sobre a vida como um todo;
- ★ Ao Professor Leonardo Lopes, membro da Banca, por ter disponibilizado, em nome do Departamento de Fonoaudiologia da Universidade Federal da Paraíba, o banco de dados com as vozes infantis. Além disso, por ter aceitado fazer parte desta Banca, bem como por compartilhar os seus valiosos conhecimentos ao longo desta pesquisa;
- ★ À Professora Joseana Fachine, membro da Banca, por aceitar avaliar este trabalho, de forma a compartilhar os seus valiosos conhecimentos e acrescentar mais valor a esta pesquisa;
- ★ A todos os colegas do Mestrado, pela torcida, pelo conhecimento compartilhado, pelas conversas e palavras de motivação. Em especial, aos amigos presentes na primeira turma do Mestrado em Engenharia Elétrica do IFPB, tais como Sérgio, André, Taciana, Isaac e Mikaelle, e aqueles da época de Graduação, tais como Alessandra, Milton, Johannes e Adriano;
- ★ A todos os familiares e amigos que torcem por mim e que compreenderam minhas ausências;
- ★ Ao Professor Jefferson Costa e Silva, Coordenador do Programa de Pós Graduação em Engenharia Elétrica (PPGEE) do IFPB, e a todos os Professores do Colegiado do Programa;
- ★ Aos Professores dos cursos de Telecomunicações e Engenharia Elétrica do IFPB, com os quais tanto aprendi;
- ★ Ao Professor Francisco Marcos de Assis, da Universidade Federal de Campina Grande, pelo incentivo a continuar pesquisando;
- ★ À Universidade Federal de Campina Grande, por ter disponibilizado a base de dados da Kay Elemetrics;
- ★ À CAPES, pelo suporte financeiro ao desenvolvimento desta Dissertação.

*“O conhecimento serve para encantar as pessoas,
não para humilhá-las.”
(Mário Sérgio Cortella)*

Resumo

Distúrbios da voz podem atingir diferentes faixas etárias, afetando a qualidade vocal, prejudicando a comunicação por meio da voz. Técnicas de processamento digital de sinais de voz podem ser empregadas para auxiliar outros métodos de avaliação de distúrbios da voz, tais como análise otorrinolaringológica e análise perceptivo-auditiva. A análise de quantificação de recorrência é uma técnica não linear de análise de séries temporais, empregada neste trabalho, para a avaliação de distúrbios da voz. As características não lineares inerentes ao sistema de produção da fala são representadas pelas estruturas dos gráficos de recorrência, que se modificam de acordo com o grau do desvio vocal ou pela presença de patologia laríngea. Nesta pesquisa, distúrbios da voz são analisados e classificados considerando-se duas abordagens: 1) Análise de sinais de vozes de locutores afetados por patologias laríngeas; e 2) análise de sinais de vozes infantis diagnosticadas de acordo com o grau de intensidade do desvio vocal. As medidas de quantificação de recorrência foram extraídas com e sem segmentação, de acordo com taxas de recorrência em patamares de 1% a 5%. As medidas empregadas na análise sem segmentação foram: determinismo (DET), comprimento máximo das linhas diagonais (L_{max}), entropia de Shannon ($ENTR$), tendência ($TREND$), laminaridade (LAM), tempo de permanência (TT) e comprimento máximo das linhas verticais (V_{max}). Na análise dos sinais segmentados foram acrescentadas as medidas: transitividade ($TRANS$), relação entre determinismo e taxa de recorrência ($RATIO$), divergência (DIV), comprimento médio das linhas diagonais (L_{med}), tempo de recorrência do tipo 1 (T^1), tempo de recorrência do tipo 2 (T^2), entropia do tempo de recorrência do tipo 1 ($RPDE$) e o raio de vizinhança ($RAIO$). O objetivo é identificar a melhor medida ou a combinação mais eficiente, o patamar de taxa de recorrência ideal e o tipo de processamento (com ou sem segmentação) para os quais se obtém uma maior discriminação entre as classes envolvidas. Na separação entre vozes saudáveis e vozes patológicas, a medida L_{max} foi a mais eficiente, com taxa de recorrência de 2% e análise discriminante quadrática (QDA) na classificação. Isto indica que a formação de estruturas diagonais nos gráficos de recorrência é um fator importante de discriminação, estando mais presente em sinais de vozes saudáveis. Na classificação com redes neurais artificiais e medidas extraídas com segmentação, a acurácia máxima foi $99,11\% \pm 0,90\%$, discriminando vozes saudáveis de vozes afetadas por nódulos, com as 15 medidas combinadas e taxa de recorrência até 1%. Na avaliação dos desvios vocais das vozes infantis, na discriminação entre vozes saudáveis e vozes alteradas, a maior acurácia foi de $88,22\% \pm 0,93\%$, com 8 medidas combinadas, extraídas sem segmentação, e taxa de recorrência de 4%. Na discriminação entre o grau geral leve e o grau geral moderado, obteve-se uma acurácia de $88,47\% \pm 3,71\%$, com taxa de recorrência de 5%, combinando 7 medidas. A medida L_{max} se destacou na discriminação entre vozes saudáveis e alteradas. Na discriminação entre os desvios leve e moderado, as medidas TT e DET foram determinantes na detecção do grau do desvio vocal. A formação de estruturas verticais nos gráficos de recorrência, relacionada com o comportamento caótico do sinal, representada por TT , se mostrou mais presente em sinais de vozes com maior desvio vocal, enquanto que a formação de estruturas diagonais é mais presente em vozes com desvio mais leve a saudável. Os resultados encontrados, nesta pesquisa, indicam que a análise de quantificação de recorrência é eficiente em detectar a presença e o grau de distúrbios vocais, podendo ser empregada em métodos de avaliação, triagem e monitoramento vocal.

Palavras-Chave: Processamento Digital de Sinais de Voz, Distúrbios da Voz, Patologias na Laringe, Análise de Quantificação de Recorrência.

Abstract

Voice disorders can reach different age groups, affecting voice quality, impairing communication through voice. Techniques of digital signal processing of voice may be employed to aid other methods of assessing voice disorders, such as otorhinolaryngologic and perceptual analysis. Recurrence quantification analysis is a technique of nonlinear time series analysis, employed in this study for the voice disorders evaluation. The non-linear characteristics attached to the speech production system are represented by structures of recurrence plots which are modified according to the degree of vocal deviation or by the presence of laryngeal pathology. In this research, voice disorders are analyzed and classified considering two approaches: 1) Voice signals analysis of speakers affected by laryngeal pathologies, and 2) Voice signals analysis of children diagnosed according to the degree of vocal deviation intensity. The recurrence quantification measures were extracted with and without segmentation, in accordance with recurrence rates at levels from 1% to 5%. The measures used in the analysis without segmentation were: determinism (*DET*), maximum length of the diagonal lines (L_{max}), Shannon's entropy (*ENTR*), trend (*TREND*), laminarity (*LAM*), trapping time (*TT*) e maximum length of the vertical lines (V_{max}). In the segmented signal analysis the following measures were added: transitivity (*TRANS*), ratio between determinism and recurrence rate (*RATIO*), divergence (*DIV*), average length of the diagonal lines (L_{med}), recurrence time of type 1 (T^1), recurrence time of type 2 (T^2), recurrence time entropy of type 1 (*RPDE*) and the neighborhood radius (*RAIO*). The aim is to identify the best measure or the most efficient combination, the optimal level of recurrence rate and type of processing (with or without segmentation) for which a greater discrimination among the classes involved is obtained. In the separation between healthy and pathological voices, the L_{max} measure was the most efficient, with a recurrence rate at 2% and quadratic discriminant analysis (QDA) in the classification. This indicates that the formation of diagonal structures in the recurrence plots is an important factor of discrimination, being more present in signals of healthy voices. In classification with artificial neural networks and measures extracted with segmentation, the maximum accuracy was $99.11\% \pm 0.90\%$, discriminating healthy voices from voices affected by nodules, with the 15 combined measures and recurrence rate at 1%. In assessing vocal deviations of infant voices, in discriminating between healthy and altered voices, the highest accuracy was $88.22\% \pm 0.93\%$, with 8 measures combined, extracted without segmentation, and recurrence rate at 4%. In discriminating between mild and moderate general degree, it was obtained an accuracy of $88.47\% \pm 3.71\%$, with recurrence rate at 5%, combining 7 measures. The L_{max} measure is highlighted in discriminating between healthy and altered voices. In discriminating between mild and moderate deviations, *TT* and *DET* measures were determinant in detecting the degree of vocal deviation. The vertical structures formation in the recurrence plots, related to the chaotic behavior of the signal, represented by *TT*, was more present in voice signals with greater deviation, while the forming of a diagonal structure is more present in voices with slightest deviation to healthy. The found results in this research indicate that recurrence quantification analysis is efficient in detecting the presence and degree of vocal disorders and it can be used in methods of assessment, screening and voice monitoring.

Key-Words: Digital Speech Signal Processing, Voice Disorders, Pathologies in the Larynx, Recurrence Quantification Analysis

Lista de Siglas e Abreviaturas

ABFW – Andrade, Befi-Lopes, Fernandes, Wertzner

Ac – Medida de acurácia

APQ – *Amplitude Perturbation Quotient*

CAPE-V – *Consensus Auditory-Perceptual Evaluation of Voice*

CRP – *Cross Recurrence Plots*

dB – unidade de medida decibel

DET – Medida determinismo

DIV – Medida divergência

EAV – Escala Analógico-Visual

EDM – Grupo de sinais de voz de pacientes com laringes afetadas por edema

ENTR – Medida entropia de Shannon

Esp – Medida de especificidade

FN – Falso Negativo

FP – Falso Positivo

GG1 – Grau Geral 1 (grupo de sinais de vozes com grau geral normal)

GG2 – Grau Geral 2 (grupo de sinais de vozes com grau geral leve)

GG3 – Grau Geral 3 (grupo de sinais de vozes com grau geral moderado)

GG2 e GG3 – Grau Geral 2 e Grau Geral 3 (grupo de sinais de vozes alteradas)

GNE – *Glottal-to-Noise Excitation*

GRBAS – *Grade, Roughness, Breathiness, Asthenia, Strain*

GRBASI – *Grade, Roughness, Breathiness, Asthenia, Strain, Instability*

HNR – *Harmonic-Noise Ratio*

Hz – unidade de medida Hertz

kPa – unidade de medida quilopascal

LAM – Medida laminaridade

LDA – *Linear Discriminant Analysis*

L_{max} – Medida do comprimento máximo das estruturas diagonais no gráfico de recorrência

L_{med} – Medida do comprimento médio das estruturas diagonais no gráfico de recorrência

LPC – *Linear Predictive Coding*

MEEI – *Massachusetts Eye and Ear Infirmary*

mL/s – unidade de medida mililitros por segundo

mm – unidade de medida milímetros
MQS – Metro-Quilograma-Segundo
ms – unidade de medida milisegundos
NDL – Grupo de sinais de voz de pacientes com laringes afetadas por nódulos
NNE – *Normalized Noise Energy*
OBS – Observação
PLP – *Perceptual Linear Prediction*
PPQ – *Pitch Perturbation Quotient*
PRL – Grupo de sinais de voz de pacientes com laringes afetadas por paralisia
QDA – *Quadratic Discriminant Analysis*
RASTA-PLP – *Relative Spectral Perceptual Linear Prediction*
RATIO – Medida da relação entre determinismo e taxa de recorrência
REC – Medida taxa de recorrência
RP – *Recurrence Plot*
RPDE – Medida da entropia do tempo de recorrência do tipo 1 (*Recurrence Probability Density Entropy*)
RQA – *Recurrence Quantification Analysis*
SDL – Grupo de sinais de voz de pacientes com laringes saudáveis
Sen – Medida de sensibilidade
SNR – *Signal-to-Noise Ratio*
SPSS – *Statistical Package for the Social Sciences*
 T^1 – Medida tempo de recorrência do tipo 1
 T^2 – Medida tempo de recorrência do tipo 2
TRANS – Medida transitividade
TREND – Medida tendência
TT – Medida tempo de permanência (*Trapping Time*)
 V_{max} – Medida do comprimento máximo das estruturas verticais
VN – Verdadeiro Negativo
VP – Verdadeiro Positivo
VRA – *Visual Recurrence Analysis*
VTI – *Vocal Turbulence Index*

Lista de Símbolos

P – Nível de significância em um teste de hipóteses

F_0 – Frequência fundamental de um sinal de voz

N – Números de estados de um sistema

t – tempo

$\vec{\xi}_i$ – Vetores m -dimensionais de uma série temporal (estados de um sistema)

m – Dimensão de imersão

$\frac{dx(t)}{dt}$ – Derivada de $x(t)$

$x(t)$ – Série temporal

$x(t + \tau)$ – Versão de $x(t)$ defasada de τ

T – Comprimento da série temporal $x(t)$

d – Dimensão fractal do atrator

τ – Passo de reconstrução ou tempo de defasagem

$I(\tau)$ – Função de informação mútua média

$P_i(x(t))$ – Probabilidade de que $x(t)$ esteja no i -ésimo intervalo do histograma

ε – Raio de vizinhança

$\mathcal{R}_{i,j}^{m,\varepsilon}$ – Definição para gráfico de recorrência

R^m – Espaço m -dimensional

$\Theta(\cdot)$ – Função degrau unitário

D – Distância entre duas linhas diagonais

F_s – Frequência de amostragem

f – frequência de um sinal

/a/ – Refere-se à pronúncia da vogal “a”

/e/ – Refere-se à pronúncia da vogal “e”

$P^\varepsilon(l)$ – Distribuição de frequência dos comprimentos das estruturas diagonais no gráfico de recorrência

$P(l)$ – Distribuição de probabilidade de l

l – Comprimento das estruturas diagonais no gráfico de recorrência

N_l – Número total de linhas diagonais no gráfico de recorrência

$P^\varepsilon(v)$ – Distribuição de frequência dos comprimentos das estruturas verticais no gráfico de recorrência

v – Comprimento das estruturas verticais no gráfico de recorrência

N_y – Número total de linhas verticais no gráfico de recorrência

$P(i)$ – Densidade de probabilidade do tempo de recorrência do tipo 1

T_{max}^1 – Tempo máximo de recorrência do tipo 1

μ – Média

σ – Desvio padrão

Lista de Figuras

1.1	Esquema das Estruturas do Aparelho Fonador (Adaptado de [6]).	2
2.1	Posição da laringe no pescoço (Adaptado de [57]).	10
2.2	Pregas Vocais Saudáveis: (a) Abdução e (b) Adução [59].	10
2.3	Nódulos nas Pregas Vocais [59].	11
2.4	Pólipo nas Pregas Vocais [59].	12
2.5	Cistos nas Pregas Vocais [59].	12
2.6	Edema nas Pregas Vocais [59].	13
2.7	Laringite nas Pregas Vocais [59].	14
2.8	Paralisia nas Pregas Vocais: (a) Unilateral Direita e (b) Bilateral [59].	15
2.9	Paresia nas Pregas Vocais [59].	15
2.10	Escala Analógico-Visual (EAV), dada em milímetros. G1 (Grau 1) = Grau normal; G2 (Grau 2) = Grau leve; G3 (Grau 3) = Grau moderado; G4 (Grau 4) = Grau intenso.	19
3.1	Trajatória no espaço de fase bidimensional de um sistema dinâmico arbitrário.	28
3.2	Atrator de Lorenz com parâmetros $\sigma = 10$, $r = 28$ e $b = 8/3$ (Adaptado de [96]).	29
3.3	Trajatória no espaço de fase de um sistema dinâmico arbitrário. O estado $\vec{\xi}_j$ passa na vizinhança ε de $\vec{\xi}_i$, sendo assim um ponto recorrente.	31
3.4	Formação de uma estrutura diagonal no gráfico de recorrência: (a) Espaço de fase; (b) Detalhe do espaço de fase; (c) Gráfico de recorrência obtido.	33
3.5	Formação de uma estrutura vertical no gráfico de recorrência: (a) Espaço de fase; (b) Detalhe do espaço de fase; (c) Gráfico de recorrência obtido.	34
3.6	Comportamento de um sinal constante do gráfico de recorrência: (a) série temporal; (b) gráfico de recorrência da série em (a).	35
3.7	Formação de estruturas no gráfico de recorrência de um sinal senoidal de 120 Hz amostrado a 25.000 amostras/s: (a) série temporal com 1.000 amostras; (b) gráfico de recorrência da série em (a).	35
3.8	Formação de estruturas no gráfico de recorrência de um sinal senoidal de 120 Hz amostrado a 8.000 amostras/s: (a) série temporal com 1.000 amostras; (b) gráfico de recorrência da série em (a).	36
3.9	Formação de estruturas no gráfico de recorrência de um sinal senoidal de 120 Hz amostrado a 44.100 amostras/s: (a) série temporal com 1.000 amostras; (b) gráfico de recorrência da série em (a).	37

3.10 Gráficos de recorrência para 2 s de um sinal senoidal de 120 Hz com diferentes taxas de amostragem: (a) 8.000 amostras/s; (b) 25.000 amostras/s; (c) 44.100 amostras/s.	38
3.11 Formação de estruturas no gráfico de recorrência para o ruído branco: (a) série temporal com 1.000 amostras; (b) gráfico de recorrência da série em (a).	39
3.12 Formação de estruturas no gráfico de recorrência de um sinal senoidal de 120 Hz, amostrado a 8.000 amostras/s afetado por ruído branco, com SNR = 10 dB: (a) série temporal com 1.000 amostras; (b) gráfico de recorrência da série em (a).	39
3.13 Formação de estruturas no gráfico de recorrência de um sinal senoidal de 120 Hz, amostrado a 25.000 amostras/s afetado por ruído branco, com SNR = 10 dB: (a) série temporal com 1.000 amostras; (b) gráfico de recorrência da série em (a).	40
3.14 Formação de estruturas no gráfico de recorrência de um sinal senoidal de 120 Hz, amostrado a 44.100 amostras/s afetado por ruído branco, com SNR = 10 dB: (a) série temporal com 1.000 amostras; (b) gráfico de recorrência da série em (a).	40
3.15 Formação de estruturas no gráfico de recorrência de um sinal senoidal de 120 Hz, amostrado a 8.000 amostras/s afetado por ruído branco, com SNR = 6 dB: (a) série temporal com 1.000 amostras; (b) gráfico de recorrência da série em (a).	41
3.16 Formação de estruturas no gráfico de recorrência de um sinal senoidal de 120 Hz, amostrado a 25.000 amostras/s afetado por ruído branco, com SNR = 6 dB: (a) série temporal com 1.000 amostras; (b) gráfico de recorrência da série em (a).	41
3.17 Formação de estruturas no gráfico de recorrência de um sinal senoidal de 120 Hz, amostrado a 44.100 amostras/s afetado por ruído branco, com SNR = 6 dB: (a) série temporal com 1.000 amostras; (b) gráfico de recorrência da série em (a).	42
3.18 Formação de estruturas no gráfico de recorrência de um sinal senoidal de 120 Hz e duas harmônicas (240 Hz e 360 Hz), amostrado a 25.000 amostras/s: (a) série temporal com 1.000 amostras; (b) gráfico de recorrência da série em (a).	43
3.19 Formação de estruturas no gráfico de recorrência de um sinal com a soma das frequências 120 Hz, 220 Hz, 240 Hz, 360 Hz, 440 Hz e 660 Hz, amostrados a 25.000 amostras/s: (a) série temporal com 1.000 amostras; (b) gráfico de recorrência da série em (a).	43
3.20 Formação de estruturas no gráfico de recorrência de um sinal composto por trechos concatenados de sinais senoidais de frequências: 240 Hz; 1.200 Hz; soma das frequências 220 Hz, 440 Hz, 660 Hz e 2.200 Hz; 240 Hz. Trechos amostrados a 25.000 amostras/s: (a) série temporal com 1.600 amostras; (b) gráfico de recorrência da série em (a).	44
3.21 Gráfico de recorrência de um sinal senoidal (240 Hz) amortecido por exponencial decrescente e^{-50t} : (a) série temporal com 2.000 amostras; (b) gráfico de recorrência da série em (a).	45
3.22 Gráfico de recorrência de um sinal senoidal (240 Hz) amortecido por exponencial crescente e^{50t} : (a) série temporal com 1.600 amostras; (b) gráfico de recorrência da série em (a).	45
3.23 Formação de estruturas no gráfico de recorrência de um sinal de onda quadrada, de amplitudes -1 e 1: (a) série temporal com 200 amostras; (b) gráfico de recorrência da série em (a).	46

3.24	Formação de estruturas no gráfico de recorrência de um sinal de onda quadrada com diferentes níveis de amplitude (1, -1, 3, -7 e 10): (a) série temporal com 300 amostras; (b) gráfico de recorrência da série em (a).	47
3.25	Sinal de voz de paciente saudável (sinal CEB1NAL.wav da base da Kay Elemetrics [72]): (a) série temporal; (b) projeção bidimensional do atrator; (c) gráfico de recorrência da série em (a) para $m = 4$, $\tau = 9$ e $\varepsilon = 20$	48
3.26	Sinal de voz de paciente com laringe afetada por paralisia (sinal JFN11AN.wav da base da Kay Elemetrics [72]): (a) série temporal; (b) projeção bidimensional do atrator; (c) gráfico de recorrência da série em (a) para $m = 5$, $\tau = 11$ e $\varepsilon = 20$	48
3.27	Sinal de voz de paciente com laringe afetada por edema (sinal JXB16AN.wav da base da Kay Elemetrics [72]): (a) série temporal; (b) projeção bidimensional do atrator; (c) gráfico de recorrência da série em (a) para $m = 5$, $\tau = 11$ e $\varepsilon = 20$	49
3.28	Sinal de voz de paciente com laringe afetada por nódulos (sinal RJZ16AN.wav da base da Kay Elemetrics [72]): (a) série temporal; (b) projeção bidimensional do atrator; (c) gráfico de recorrência da série em (a) para $m = 4$, $\tau = 15$ e $\varepsilon = 20$	50
3.29	Sinal de voz de criança saudável (sinal C83 É.wav da base do Departamento de Fonoaudiologia da Universidade Federal da Paraíba [71]): (a) série temporal; (b) projeção bidimensional do atrator; (c) gráfico de recorrência da série em (a) para $m = 5$, $\tau = 10$ e $\varepsilon = 20$	50
3.30	Sinal de voz de criança com desvio vocal de grau leve (sinal C5 É.wav da base do Departamento de Fonoaudiologia da Universidade Federal da Paraíba [71]): (a) série temporal; (b) projeção bidimensional do atrator; (c) gráfico de recorrência da série em (a) para $m = 8$, $\tau = 6$ e $\varepsilon = 20$	51
3.31	Sinal de voz de criança com desvio vocal de grau moderado (sinal C81 É.wav da base do Departamento de Fonoaudiologia da Universidade Federal da Paraíba [71]): (a) série temporal; (b) projeção bidimensional do atrator; (c) gráfico de recorrência da série em (a) para $m = 4$, $\tau = 21$ e $\varepsilon = 20$	52
4.1	Modelo Geral da Metodologia Empregada.	57
4.2	Função discriminante linear em um espaço de características arbitrário.	62
4.3	Função discriminante quadrática em um espaço de características arbitrário.	63
4.4	Arquitetura básica de uma rede MLP para classificação de padrões.	63
5.1	Comparativo entre os resultados obtidos por Costa [3] e os resultados obtidos nesta pesquisa, na classificação de sinais de voz de laringes saudáveis e patológicas.	72
5.2	Comparativo entre os resultados obtidos por Costa [3] e os resultados obtidos nesta pesquisa, na classificação de sinais de voz de laringes saudáveis e laringes com paralisia.	73
5.3	Comparativo entre os resultados obtidos por Costa [3] e os resultados obtidos nesta pesquisa, na classificação de sinais de voz de laringes saudáveis e laringes com edema.	74
5.4	Comparativo entre os resultados obtidos por Costa [3] e os resultados obtidos nesta pesquisa, na classificação de sinais de voz de laringes saudáveis e laringes com edema.	76

5.5	Comparativo entre os resultados obtidos por Costa [3] e os resultados obtidos nesta pesquisa, na classificação de sinais de voz de laringes com paralisia e laringes com edema.	78
5.6	Comparativo entre os resultados obtidos por Costa [3] e os resultados obtidos nesta pesquisa, na classificação de sinais de voz de laringes com paralisia e laringes com nódulos.	79
5.7	Comparativo entre os resultados obtidos por Costa [3] e os resultados obtidos nesta pesquisa, na classificação de sinais de voz de laringes com edema e laringes com nódulos.	81
5.8	Comparativo entre os melhores resultados obtidos com QDA e com redes MLP em cada caso de discriminação com as medidas de quantificação de recorrência extraídas com segmentação.	95
A.1	Distribuição dos valores de raio de vizinhança (<i>RAIO</i>), obtidos de forma segmentada em sinais de laringes saudáveis e patológicas, para os seguintes patamares de taxa de recorrência (<i>REC</i>): (a) $REC \leq 1\%$; (b) $REC \leq 2\%$; (c) $REC \leq 3\%$; (d) $REC \leq 4\%$; (e) $REC \leq 5\%$.	127
A.2	Distribuição dos valores de taxa de recorrência (<i>REC</i>), obtidos de forma segmentada em sinais de laringes saudáveis e patológicas, para os seguintes patamares dessa medida: (a) $REC \leq 1\%$; (b) $REC \leq 2\%$; (c) $REC \leq 3\%$; (d) $REC \leq 4\%$; (e) $REC \leq 5\%$.	128
A.3	Distribuição dos valores de transitividade (<i>TRANS</i>), obtidos de forma segmentada em sinais de laringes saudáveis e patológicas, para os seguintes patamares de taxa de recorrência (<i>REC</i>): (a) $REC \leq 1\%$; (b) $REC \leq 2\%$; (c) $REC \leq 3\%$; (d) $REC \leq 4\%$; (e) $REC \leq 5\%$.	130
A.4	Distribuição dos valores de determinismo (<i>DET</i>), obtidos de forma segmentada em sinais de laringes saudáveis e patológicas, para os seguintes patamares de taxa de recorrência (<i>REC</i>): (a) $REC \leq 1\%$; (b) $REC \leq 2\%$; (c) $REC \leq 3\%$; (d) $REC \leq 4\%$; (e) $REC \leq 5\%$.	131
A.5	Distribuição dos valores da relação entre determinismo e taxa de recorrência (<i>RATIO</i>), obtidos de forma segmentada em sinais de laringes saudáveis e patológicas, para os seguintes patamares de taxa de recorrência (<i>REC</i>): (a) $REC \leq 1\%$; (b) $REC \leq 2\%$; (c) $REC \leq 3\%$; (d) $REC \leq 4\%$; (e) $REC \leq 5\%$.	133
A.6	Distribuição dos valores do comprimento médio das linhas diagonais (L_{med}), obtidos de forma segmentada em sinais de laringes saudáveis e patológicas, para os seguintes patamares de taxa de recorrência (<i>REC</i>): (a) $REC \leq 1\%$; (b) $REC \leq 2\%$; (c) $REC \leq 3\%$; (d) $REC \leq 4\%$; (e) $REC \leq 5\%$.	134
A.7	Distribuição dos valores do comprimento máximo das linhas diagonais (L_{max}), obtidos de forma segmentada em sinais de laringes saudáveis e patológicas, para os seguintes patamares de taxa de recorrência (<i>REC</i>): (a) $REC \leq 1\%$; (b) $REC \leq 2\%$; (c) $REC \leq 3\%$; (d) $REC \leq 4\%$; (e) $REC \leq 5\%$.	136
A.8	Distribuição dos valores da divergência (<i>DIV</i>), obtidos de forma segmentada em sinais de laringes saudáveis e patológicas, para os seguintes patamares de taxa de recorrência (<i>REC</i>): (a) $REC \leq 1\%$; (b) $REC \leq 2\%$; (c) $REC \leq 3\%$; (d) $REC \leq 4\%$; (e) $REC \leq 5\%$.	137
A.9	Distribuição dos valores da entropia de Shannon (<i>ENTR</i>), obtidos de forma segmentada em sinais de laringes saudáveis e patológicas, para os seguintes patamares de taxa de recorrência (<i>REC</i>): (a) $REC \leq 1\%$; (b) $REC \leq 2\%$; (c) $REC \leq 3\%$; (d) $REC \leq 4\%$; (e) $REC \leq 5\%$.	138

- A.10 Distribuição dos valores da Laminaridade (LAM), obtidos de forma segmentada em sinais de laringes saudáveis e patológicas, para os seguintes patamares de taxa de recorrência (REC): (a) $REC \leq 1\%$; (b) $REC \leq 2\%$; (c) $REC \leq 3\%$; (d) $REC \leq 4\%$; (e) $REC \leq 5\%$. . . 140
- A.11 Distribuição dos valores do tempo de permanência (TT), obtidos de forma segmentada em sinais de laringes saudáveis e patológicas, para os seguintes patamares de taxa de recorrência (REC): (a) $REC \leq 1\%$; (b) $REC \leq 2\%$; (c) $REC \leq 3\%$; (d) $REC \leq 4\%$; (e) $REC \leq 5\%$ 141
- A.12 Distribuição dos valores do comprimento máximo das linhas verticais (V_{max}), obtidos de forma segmentada em sinais de laringes saudáveis e patológicas, para os seguintes patamares de taxa de recorrência (REC): (a) $REC \leq 1\%$; (b) $REC \leq 2\%$; (c) $REC \leq 3\%$; (d) $REC \leq 4\%$; (e) $REC \leq 5\%$ 143
- A.13 Distribuição dos valores do tempo de recorrência do tipo 1 (T^1), obtidos de forma segmentada em sinais de laringes saudáveis e patológicas, para os seguintes patamares de taxa de recorrência (REC): (a) $REC \leq 1\%$; (b) $REC \leq 2\%$; (c) $REC \leq 3\%$; (d) $REC \leq 4\%$; (e) $REC \leq 5\%$ 144
- A.14 Distribuição dos valores do tempo de recorrência do tipo 2 (T^2), obtidos de forma segmentada em sinais de laringes saudáveis e patológicas, para os seguintes patamares de taxa de recorrência (REC): (a) $REC \leq 1\%$; (b) $REC \leq 2\%$; (c) $REC \leq 3\%$; (d) $REC \leq 4\%$; (e) $REC \leq 5\%$ 145
- A.15 Distribuição dos valores da entropia do tempo de recorrência do tipo 1 ($RPDE$), obtidos de forma segmentada em sinais de laringes saudáveis e patológicas, para os seguintes patamares de taxa de recorrência (REC): (a) $REC \leq 1\%$; (b) $REC \leq 2\%$; (c) $REC \leq 3\%$; (d) $REC \leq 4\%$; (e) $REC \leq 5\%$ 147
- B.1 Distribuição dos valores do raio de vizinhança ($RAIO$), obtidos sem segmentação em sinais de voz de crianças com grau geral normal (GG1), grau geral leve (GG2) e grau geral moderado (GG3), para os seguintes patamares de taxa de recorrência (REC): (a) $REC \leq 1\%$; (b) $REC \leq 2\%$; (c) $REC \leq 3\%$; (d) $REC \leq 4\%$; (e) $REC \leq 5\%$ 150
- B.2 Distribuição dos valores do determinismo (DET), obtidos sem segmentação em sinais de voz de crianças com grau geral normal (GG1), grau geral leve (GG2) e grau geral moderado (GG3), para os seguintes patamares de taxa de recorrência (REC): (a) $REC \leq 1\%$; (b) $REC \leq 2\%$; (c) $REC \leq 3\%$; (d) $REC \leq 4\%$; (e) $REC \leq 5\%$ 151
- B.3 Distribuição dos valores do comprimento máximo das linhas diagonais (L_{max}), obtidos sem segmentação em sinais de voz de crianças com grau geral normal (GG1), grau geral leve (GG2) e grau geral moderado (GG3), para os seguintes patamares de taxa de recorrência (REC): (a) $REC \leq 1\%$; (b) $REC \leq 2\%$; (c) $REC \leq 3\%$; (d) $REC \leq 4\%$; (e) $REC \leq 5\%$. . . 152
- B.4 Distribuição dos valores da entropia de Shannon ($ENTR$), obtidos sem segmentação em sinais de voz de crianças com grau geral normal (GG1), grau geral leve (GG2) e grau geral moderado (GG3), para os seguintes patamares de taxa de recorrência (REC): (a) $REC \leq 1\%$; (b) $REC \leq 2\%$; (c) $REC \leq 3\%$; (d) $REC \leq 4\%$; (e) $REC \leq 5\%$ 154

- B.5 Distribuição dos valores da tendência (*TREND*), obtidos sem segmentação em sinais de voz de crianças com grau geral normal (GG1), grau geral leve (GG2) e grau geral moderado (GG3), para os seguintes patamares de taxa de recorrência (*REC*): (a) $REC \leq 1\%$; (b) $REC \leq 2\%$; (c) $REC \leq 3\%$; (d) $REC \leq 4\%$; (e) $REC \leq 5\%$ 155
- B.6 Distribuição dos valores da laminaridade (*LAM*), obtidos sem segmentação em sinais de voz de crianças com grau geral normal (GG1), grau geral leve (GG2) e grau geral moderado (GG3), para os seguintes patamares de taxa de recorrência (*REC*): (a) $REC \leq 1\%$; (b) $REC \leq 2\%$; (c) $REC \leq 3\%$; (d) $REC \leq 4\%$; (e) $REC \leq 5\%$ 156
- B.7 Distribuição dos valores do tempo de permanência (*TT*), obtidos sem segmentação em sinais de voz de crianças com grau geral normal (GG1), grau geral leve (GG2) e grau geral moderado (GG3), para os seguintes patamares de taxa de recorrência (*REC*): (a) $REC \leq 1\%$; (b) $REC \leq 2\%$; (c) $REC \leq 3\%$; (d) $REC \leq 4\%$; (e) $REC \leq 5\%$ 158
- B.8 Distribuição dos valores do comprimento máximo das linhas verticais (V_{max}), obtidos sem segmentação em sinais de voz de crianças com grau geral normal (GG1), grau geral leve (GG2) e grau geral moderado (GG3), para os seguintes patamares de taxa de recorrência (*REC*): (a) $REC \leq 1\%$; (b) $REC \leq 2\%$; (c) $REC \leq 3\%$; (d) $REC \leq 4\%$; (e) $REC \leq 5\%$ 159
- B.9 Distribuição dos valores do raio de vizinhança (*RAIO*), obtidos com segmentação em sinais de voz de crianças com grau geral normal (GG1), grau geral leve (GG2) e grau geral moderado (GG3), para os seguintes patamares de taxa de recorrência (*REC*): (a) $REC \leq 1\%$; (b) $REC \leq 2\%$; (c) $REC \leq 3\%$; (d) $REC \leq 4\%$; (e) $REC \leq 5\%$ 161
- B.10 Distribuição dos valores da taxa de recorrência (*REC*), obtidos com segmentação em sinais de voz de crianças com grau geral normal (GG1), grau geral leve (GG2) e grau geral moderado (GG3), para os seguintes patamares dessa medida: (a) $REC \leq 1\%$; (b) $REC \leq 2\%$; (c) $REC \leq 3\%$; (d) $REC \leq 4\%$; (e) $REC \leq 5\%$ 163
- B.11 Distribuição dos valores da transitividade (*TRANS*), obtidos com segmentação em sinais de voz de crianças com grau geral normal (GG1), grau geral leve (GG2) e grau geral moderado (GG3), para os seguintes patamares de taxa de recorrência (*REC*): (a) $REC \leq 1\%$; (b) $REC \leq 2\%$; (c) $REC \leq 3\%$; (d) $REC \leq 4\%$; (e) $REC \leq 5\%$ 164
- B.12 Distribuição dos valores do determinismo (*DET*), obtidos com segmentação em sinais de voz de crianças com grau geral normal (GG1), grau geral leve (GG2) e grau geral moderado (GG3), para os seguintes patamares de taxa de recorrência (*REC*): (a) $REC \leq 1\%$; (b) $REC \leq 2\%$; (c) $REC \leq 3\%$; (d) $REC \leq 4\%$; (e) $REC \leq 5\%$ 166
- B.13 Distribuição dos valores da relação entre o determinismo e a taxa de recorrência (*RATIO*), obtidos com segmentação em sinais de voz de crianças com grau geral normal (GG1), grau geral leve (GG2) e grau geral moderado (GG3), para os seguintes patamares de taxa de recorrência (*REC*): (a) $REC \leq 1\%$; (b) $REC \leq 2\%$; (c) $REC \leq 3\%$; (d) $REC \leq 4\%$; (e) $REC \leq 5\%$ 167
- B.14 Distribuição dos valores do comprimento médio das linhas diagonais (L_{med}), obtidos com segmentação em sinais de voz de crianças com grau geral normal (GG1), grau geral leve (GG2) e grau geral moderado (GG3), para os seguintes patamares de taxa de recorrência (*REC*): (a) $REC \leq 1\%$; (b) $REC \leq 2\%$; (c) $REC \leq 3\%$; (d) $REC \leq 4\%$; (e) $REC \leq 5\%$ 168

- B.15 Distribuição dos valores do comprimento máximo das linhas diagonais (L_{max}), obtidos com segmentação em sinais de voz de crianças com grau geral normal (GG1), grau geral leve (GG2) e grau geral moderado (GG3), para os seguintes patamares de taxa de recorrência (REC): (a) $REC \leq 1\%$; (b) $REC \leq 2\%$; (c) $REC \leq 3\%$; (d) $REC \leq 4\%$; (e) $REC \leq 5\%$. . . 170
- B.16 Distribuição dos valores da divergência (DIV), obtidos com segmentação em sinais de voz de crianças com grau geral normal (GG1), grau geral leve (GG2) e grau geral moderado (GG3), para os seguintes patamares de taxa de recorrência (REC): (a) $REC \leq 1\%$; (b) $REC \leq 2\%$; (c) $REC \leq 3\%$; (d) $REC \leq 4\%$; (e) $REC \leq 5\%$ 171
- B.17 Distribuição dos valores da entropia de Shannon ($ENTR$), obtidos com segmentação em sinais de voz de crianças com grau geral normal (GG1), grau geral leve (GG2) e grau geral moderado (GG3), para os seguintes patamares de taxa de recorrência (REC): (a) $REC \leq 1\%$; (b) $REC \leq 2\%$; (c) $REC \leq 3\%$; (d) $REC \leq 4\%$; (e) $REC \leq 5\%$ 173
- B.18 Distribuição dos valores da laminaridade (LAM), obtidos com segmentação em sinais de voz de crianças com grau geral normal (GG1), grau geral leve (GG2) e grau geral moderado (GG3), para os seguintes patamares de taxa de recorrência (REC): (a) $REC \leq 1\%$; (b) $REC \leq 2\%$; (c) $REC \leq 3\%$; (d) $REC \leq 4\%$; (e) $REC \leq 5\%$ 174
- B.19 Distribuição dos valores do tempo de permanência (TT), obtidos com segmentação em sinais de voz de crianças com grau geral normal (GG1), grau geral leve (GG2) e grau geral moderado (GG3), para os seguintes patamares de taxa de recorrência (REC): (a) $REC \leq 1\%$; (b) $REC \leq 2\%$; (c) $REC \leq 3\%$; (d) $REC \leq 4\%$; (e) $REC \leq 5\%$ 176
- B.20 Distribuição dos valores do comprimento máximo das linhas verticais (V_{max}), obtidos com segmentação em sinais de voz de crianças com grau geral normal (GG1), grau geral leve (GG2) e grau geral moderado (GG3), para os seguintes patamares de taxa de recorrência (REC): (a) $REC \leq 1\%$; (b) $REC \leq 2\%$; (c) $REC \leq 3\%$; (d) $REC \leq 4\%$; (e) $REC \leq 5\%$. . . 177
- B.21 Distribuição dos valores do tempo de recorrência do tipo 1 (T^1), obtidos com segmentação em sinais de voz de crianças com grau geral normal (GG1), grau geral leve (GG2) e grau geral moderado (GG3), para os seguintes patamares de taxa de recorrência (REC): (a) $REC \leq 1\%$; (b) $REC \leq 2\%$; (c) $REC \leq 3\%$; (d) $REC \leq 4\%$; (e) $REC \leq 5\%$ 179
- B.22 Distribuição dos valores do tempo de recorrência do tipo 2 (T^2), obtidos com segmentação em sinais de voz de crianças com grau geral normal (GG1), grau geral leve (GG2) e grau geral moderado (GG3), para os seguintes patamares de taxa de recorrência (REC): (a) $REC \leq 1\%$; (b) $REC \leq 2\%$; (c) $REC \leq 3\%$; (d) $REC \leq 4\%$; (e) $REC \leq 5\%$ 180
- B.23 Distribuição dos valores da entropia do tempo de recorrência do tipo 1 ($RPDE$), obtidos com segmentação em sinais de voz de crianças com grau geral normal (GG1), grau geral leve (GG2) e grau geral moderado (GG3), para os seguintes patamares de taxa de recorrência (REC): (a) $REC \leq 1\%$; (b) $REC \leq 2\%$; (c) $REC \leq 3\%$; (d) $REC \leq 4\%$; (e) $REC \leq 5\%$. . . 182

Lista de Tabelas

4.1	Matriz de confusão em um teste de detecção da presença/ausência de doença.	64
5.1	Medidas de quantificação de recorrência com potencial discriminativo no Estudo de Caso 1, com segmentação.	68
5.2	Medidas de quantificação de recorrência com potencial discriminativo no Estudo de Caso 2, sem segmentação.	69
5.3	Medidas de quantificação de recorrência com potencial discriminativo no Estudo de Caso 2, com segmentação.	70
5.4	Melhor desempenho na classificação dos sinais de voz de laringes saudáveis e patológicas com as medidas de quantificação de recorrência empregadas sem segmentação.	71
5.5	Melhor desempenho da classificação dos sinais de voz de laringes saudáveis e patológicas com as medidas de quantificação de recorrência combinadas, extraídas sem segmentação, por patamar de taxa de recorrência.	72
5.6	Melhor desempenho na classificação dos sinais de voz de laringes saudáveis e sinais de voz de laringes afetadas por paralisia com as medidas de quantificação de recorrência empregadas sem segmentação.	73
5.7	Melhor desempenho da classificação dos sinais de voz de laringes saudáveis e laringes afetadas por paralisia com as medidas de quantificação de recorrência combinadas, extraídas sem segmentação, por patamar de taxa de recorrência.	73
5.8	Melhor desempenho na classificação dos sinais de voz de laringes saudáveis e sinais de voz de laringes afetadas por edema com as medidas de quantificação de recorrência empregadas sem segmentação.	74
5.9	Melhor desempenho da classificação dos sinais de voz de laringes saudáveis e laringes afetadas por edema com as medidas de quantificação de recorrência combinadas, extraídas sem segmentação, por patamar de taxa de recorrência.	75
5.10	Melhor desempenho na classificação dos sinais de voz de laringes saudáveis e sinais de voz de laringes afetadas por nódulos com as medidas de quantificação de recorrência empregadas sem segmentação.	75
5.11	Melhor desempenho da classificação dos sinais de voz de laringes saudáveis e laringes afetadas por nódulos com as medidas de quantificação de recorrência combinadas, extraídas sem segmentação, por patamar de taxa de recorrência.	76

5.12 Melhor desempenho na classificação dos sinais de voz de laringes afetadas por paralisia e sinais de voz de laringes afetadas por edema com as medidas de quantificação de recorrência empregadas sem segmentação.	77
5.13 Melhor desempenho da classificação dos sinais de voz de laringes afetadas por paralisia e laringes afetadas por edema com as medidas de quantificação de recorrência combinadas, extraídas sem segmentação, por patamar de taxa de recorrência.	78
5.14 Melhor desempenho na classificação dos sinais de voz de laringes afetadas por paralisia e sinais de voz de laringes afetadas por nódulos com as medidas de quantificação de recorrência empregadas sem segmentação.	79
5.15 Melhor desempenho da classificação dos sinais de voz de laringes afetadas por paralisia e laringes afetadas por nódulos com as medidas de quantificação de recorrência combinadas, extraídas sem segmentação, por patamar de taxa de recorrência.	79
5.16 Melhor desempenho na classificação dos sinais de voz de laringes afetadas por edema e sinais de voz de laringes afetadas por nódulos com as medidas de quantificação de recorrência empregadas sem segmentação.	80
5.17 Melhor desempenho da classificação dos sinais de voz de laringes afetadas por edema e laringes afetadas por nódulos com as medidas de quantificação de recorrência combinadas, extraídas sem segmentação, por patamar de taxa de recorrência.	81
5.18 Resumo com os melhores resultados de classificação obtidos no Estudo de Caso 1, sem segmentação.	82
5.19 Melhor desempenho na classificação dos sinais de voz de laringes saudáveis e sinais de voz de laringes patológicas com as medidas de quantificação de recorrência empregadas com segmentação.	83
5.20 Melhor desempenho da classificação dos sinais de voz de laringes saudáveis e patológicas com as medidas de quantificação de recorrência combinadas, extraídas com segmentação, por patamar de taxa de recorrência.	84
5.21 Melhor desempenho na classificação dos sinais de voz de laringes saudáveis e sinais de voz de laringes afetadas por paralisia com as medidas de quantificação de recorrência empregadas com segmentação.	84
5.22 Melhor desempenho da classificação dos sinais de voz de laringes saudáveis e laringes afetadas por paralisia com as medidas de quantificação de recorrência combinadas, extraídas com segmentação, por patamar de taxa de recorrência.	85
5.23 Melhor desempenho na classificação dos sinais de voz de laringes saudáveis e sinais de voz de laringes afetadas por edema com as medidas de quantificação de recorrência empregadas com segmentação.	86
5.24 Melhor desempenho da classificação dos sinais de voz de laringes saudáveis e laringes afetadas por edema com as medidas de quantificação de recorrência combinadas, extraídas com segmentação, por patamar de taxa de recorrência.	86
5.25 Melhor desempenho na classificação dos sinais de voz de laringes saudáveis e sinais de voz de laringes afetadas por nódulos com as medidas de quantificação de recorrência empregadas com segmentação.	87

5.26 Melhor desempenho da classificação dos sinais de voz de laringes saudáveis e laringes afetadas por nódulos com as medidas de quantificação de recorrência combinadas, extraídas com segmentação, por patamar de taxa de recorrência.	87
5.27 Melhor desempenho na classificação dos sinais de voz de laringes afetadas por paralisia e sinais de voz de laringes afetadas por edema com as medidas de quantificação de recorrência empregadas com segmentação.	88
5.28 Melhor desempenho da classificação dos sinais de voz de laringes afetadas por paralisia e laringes afetadas por edema com as medidas de quantificação de recorrência combinadas, extraídas com segmentação, por patamar de taxa de recorrência.	89
5.29 Melhor desempenho na classificação dos sinais de voz de laringes afetadas por paralisia e sinais de voz de laringes afetadas por nódulos com as medidas de quantificação de recorrência empregadas com segmentação.	89
5.30 Melhor desempenho da classificação dos sinais de voz de laringes afetadas por paralisia e laringes afetadas por nódulos com as medidas de quantificação de recorrência combinadas, extraídas com segmentação, por patamar de taxa de recorrência.	90
5.31 Melhor desempenho na classificação dos sinais de voz de laringes afetadas por edema e sinais de voz de laringes afetadas por nódulos com as medidas de quantificação de recorrência empregadas com segmentação.	90
5.32 Melhor desempenho da classificação dos sinais de voz de laringes afetadas por edema e laringes afetadas por nódulos com as medidas de quantificação de recorrência combinadas, extraídas com segmentação, por patamar de taxa de recorrência.	91
5.33 Resumo com os melhores resultados de classificação obtidos no Estudo de Caso 1, com segmentação.	92
5.34 Melhores resultados da classificação realizada por Costa [3] com as medidas de quantificação de recorrência, extraídas sem segmentação, combinadas.	92
5.35 Resultados da classificação realizada nesta pesquisa, com a combinação das mesmas medidas empregadas por Costa [3], desta vez extraídas com segmentação, no patamar de taxa de recorrência de 1%.	93
5.36 Melhor desempenho na classificação com a rede MLP para 15 medidas de quantificação de recorrência analisadas individualmente.	94
5.37 Desempenho na classificação com a rede MLP para 15 medidas de quantificação de recorrência.	94
5.38 Melhor desempenho na classificação dos sinais de voz de crianças com grau geral normal e crianças com vozes alteradas (grau geral leve e grau geral moderado) com as medidas de quantificação de recorrência empregadas sem segmentação.	96
5.39 Melhor desempenho da classificação dos sinais de voz de crianças com grau geral normal e crianças com vozes alteradas (grau geral leve e grau geral moderado) com as medidas de quantificação de recorrência combinadas, extraídas sem segmentação, por patamar de taxa de recorrência.	97

5.40	Melhor desempenho na classificação dos sinais de voz de crianças com grau geral normal e crianças com grau geral leve com as medidas de quantificação de recorrência empregadas sem segmentação.	97
5.41	Melhor desempenho da classificação dos sinais de voz de crianças com grau geral normal e crianças com grau geral leve com as medidas de quantificação de recorrência combinadas, extraídas sem segmentação, por patamar de taxa de recorrência.	97
5.42	Melhor desempenho na classificação dos sinais de voz de crianças com grau geral normal e crianças com grau geral moderado com as medidas de quantificação de recorrência empregadas sem segmentação.	98
5.43	Melhor desempenho da classificação dos sinais de voz de crianças com grau geral normal e crianças com grau geral moderado com as medidas de quantificação de recorrência combinadas, extraídas sem segmentação, por patamar de taxa de recorrência.	98
5.44	Melhor desempenho na classificação dos sinais de voz de crianças com grau geral leve e crianças com grau geral moderado com as medidas de quantificação de recorrência empregadas sem segmentação.	99
5.45	Melhor desempenho da classificação dos sinais de voz de crianças com grau geral leve e crianças com grau geral moderado com as medidas de quantificação de recorrência combinadas, extraídas sem segmentação, por patamar de taxa de recorrência.	99
5.46	Resumo com os melhores resultados de classificação obtidos no Estudo de Caso 2, sem segmentação.	100
5.47	Melhor desempenho na classificação dos sinais de voz de crianças com grau geral normal e crianças com vozes alteradas (grau geral leve e grau geral moderado) com as medidas de quantificação de recorrência empregadas com segmentação.	101
5.48	Melhor desempenho da classificação dos sinais de voz de crianças com grau geral normal e crianças com vozes alteradas (grau geral leve e grau geral moderado) com as medidas de quantificação de recorrência combinadas, extraídas com segmentação, por patamar de taxa de recorrência.	101
5.49	Melhor desempenho na classificação dos sinais de voz de crianças com grau geral normal e crianças com grau geral leve com as medidas de quantificação de recorrência empregadas com segmentação.	102
5.50	Melhor desempenho da classificação dos sinais de voz de crianças com grau geral normal e crianças com grau geral leve com as medidas de quantificação de recorrência combinadas, extraídas com segmentação, por patamar de taxa de recorrência.	103
5.51	Melhor desempenho na classificação dos sinais de voz de crianças com grau geral normal e crianças com grau geral moderado com as medidas de quantificação de recorrência empregadas com segmentação.	103
5.52	Melhor desempenho da classificação dos sinais de voz de crianças com grau geral normal e crianças com grau geral moderado com as medidas de quantificação de recorrência combinadas, extraídas com segmentação, por patamar de taxa de recorrência.	104

5.53 Melhor desempenho na classificação dos sinais de voz de crianças com grau geral leve e crianças com grau geral moderado com as medidas de quantificação de recorrência empregadas com segmentação.	104
5.54 Melhor desempenho da classificação dos sinais de voz de crianças com grau geral leve e crianças com grau geral moderado com as medidas de quantificação de recorrência combinadas, extraídas com segmentação, por patamar de taxa de recorrência.	105
5.55 Resumo com os melhores resultados de classificação obtidos no Estudo de Caso 2, com segmentação.	105
A.1 Valores de média (μ) e desvio-padrão (σ) da medida raio de vizinhança (<i>RAIO</i>) para os grupos saudável (SDL), patológica (PTL), paralisia (PRL), edema (EDM) e nódulos (NDL), com a variação da taxa de recorrência (<i>REC</i>) de 1% a 5%.	127
A.2 Potencial discriminativo da medida <i>RAIO</i> na discriminação entre os grupos de sinais de voz.	128
A.3 Valores de média (μ) e desvio-padrão (σ) da taxa de recorrência (<i>REC</i>) para os grupos saudável (SDL), patológica (PTL), paralisia (PRL), edema (EDM) e nódulos (NDL), com a variação dessa mesma medida nos patamares de 1% a 5%.	129
A.4 Potencial discriminativo da medida <i>REC</i> na discriminação entre os grupos de sinais de voz.	129
A.5 Valores de média (μ) e desvio-padrão (σ) da medida transitividade (<i>TRANS</i>) para os grupos saudável (SDL), patológica (PTL), paralisia (PRL), edema (EDM) e nódulos (NDL), com a variação da taxa de recorrência (<i>REC</i>) de 1% a 5%.	130
A.6 Potencial discriminativo da medida <i>TRANS</i> na discriminação entre os grupos de sinais de voz.	131
A.7 Valores de média (μ) e desvio-padrão (σ) da medida determinismo (<i>DET</i>) para os grupos saudável (SDL), patológica (PTL), paralisia (PRL), edema (EDM) e nódulos (NDL), com a variação da taxa de recorrência (<i>REC</i>) de 1% a 5%.	132
A.8 Potencial discriminativo da medida <i>DET</i> na discriminação entre os grupos de sinais de voz.	132
A.9 Valores de média (μ) e desvio-padrão (σ) da relação entre determinismo e taxa de recorrência (<i>RATIO</i>) para os grupos saudável (SDL), patológica (PTL), paralisia (PRL), edema (EDM) e nódulos (NDL), com a variação da taxa de recorrência (<i>REC</i>) de 1% a 5%.	133
A.10 Potencial discriminativo da medida <i>RATIO</i> na discriminação entre os grupos de sinais de voz.	134
A.11 Valores de média (μ) e desvio-padrão (σ) do comprimento médio das linhas diagonais (L_{med}) para os grupos saudável (SDL), patológica (PTL), paralisia (PRL), edema (EDM) e nódulos (NDL), com a variação da taxa de recorrência (<i>REC</i>) de 1% a 5%.	135
A.12 Potencial discriminativo da medida L_{med} na discriminação entre os grupos de sinais de voz.	135
A.13 Valores de média (μ) e desvio-padrão (σ) do comprimento máximo das linhas diagonais (L_{max}) para os grupos saudável (SDL), patológica (PTL), paralisia (PRL), edema (EDM) e nódulos (NDL), com a variação da taxa de recorrência (<i>REC</i>) de 1% a 5%.	136
A.14 Potencial discriminativo da medida L_{max} na discriminação entre os grupos de sinais de voz.	136
A.15 Valores de média (μ) e desvio-padrão (σ) da divergência (<i>DIV</i>) para os grupos saudável (SDL), patológica (PTL), paralisia (PRL), edema (EDM) e nódulos (NDL), com a variação da taxa de recorrência (<i>REC</i>) de 1% a 5%.	138
A.16 Potencial discriminativo da medida <i>DIV</i> na discriminação entre os grupos de sinais de voz.	138

A.17	Valores de média (μ) e desvio-padrão (σ) da entropia de Shannon ($ENTR$) para os grupos saudável (SDL), patológica (PTL), paralisia (PRL), edema (EDM) e nódulos (NDL), com a variação da taxa de recorrência (REC) de 1% a 5%.	139
A.18	Potencial discriminativo da medida $ENTR$ na discriminação entre os grupos de sinais de voz.	139
A.19	Valores de média (μ) e desvio-padrão (σ) da Laminaridade (LAM) para os grupos saudável (SDL), patológica (PTL), paralisia (PRL), edema (EDM) e nódulos (NDL), com a variação da taxa de recorrência (REC) de 1% a 5%.	140
A.20	Potencial discriminativo da medida LAM na discriminação entre os grupos de sinais de voz.	141
A.21	Valores de média (μ) e desvio-padrão (σ) do tempo de permanência (TT) para os grupos saudável (SDL), patológica (PTL), paralisia (PRL), edema (EDM) e nódulos (NDL), com a variação da taxa de recorrência (REC) de 1% a 5%.	142
A.22	Potencial discriminativo da medida TT na discriminação entre os grupos de sinais de voz.	142
A.23	Valores de média (μ) e desvio-padrão (σ) do comprimento máximo das linhas verticais (V_{max}) para os grupos saudável (SDL), patológica (PTL), paralisia (PRL), edema (EDM) e nódulos (NDL), com a variação da taxa de recorrência (REC) de 1% a 5%.	143
A.24	Potencial discriminativo da medida V_{max} na discriminação entre os grupos de sinais de voz.	143
A.25	Valores de média (μ) e desvio-padrão (σ) do tempo de recorrência do tipo 1 (T^1) para os grupos saudável (SDL), patológica (PTL), paralisia (PRL), edema (EDM) e nódulos (NDL), com a variação da taxa de recorrência (REC) de 1% a 5%.	145
A.26	Potencial discriminativo da medida T^1 na discriminação entre os grupos de sinais de voz. . .	145
A.27	Valores de média (μ) e desvio-padrão (σ) do tempo de recorrência do tipo 2 (T^2) para os grupos saudável (SDL), patológica (PTL), paralisia (PRL), edema (EDM) e nódulos (NDL), com a variação da taxa de recorrência (REC) de 1% a 5%.	146
A.28	Potencial discriminativo da medida T^2 na discriminação entre os grupos de sinais de voz. . .	146
A.29	Valores de média (μ) e desvio-padrão (σ) da entropia do tempo de recorrência do tipo 2 ($RPDE$) para os grupos saudável (SDL), patológica (PTL), paralisia (PRL), edema (EDM) e nódulos (NDL), com a variação da taxa de recorrência (REC) de 1% a 5%.	147
A.30	Potencial discriminativo da medida $RPDE$ na discriminação entre os grupos de sinais de voz.	148
B.1	Valores de média (μ) e desvio-padrão (σ) dos valores do raio de vizinhança ($RAIO$), obtidos sem segmentação em sinais de voz de crianças com grau geral normal (GG1), grau geral leve (GG2), e grau geral moderado (GG3), com a variação da taxa de recorrência (REC) de 1% a 5%.	150
B.2	Potencial discriminativo da medida $RAIO$, obtida sem segmentação, na discriminação entre os grupos de sinais de vozes infantis.	150
B.3	Valores de média (μ) e desvio-padrão (σ) dos valores do determinismo (DET), obtidos sem segmentação em sinais de voz de crianças com grau geral normal (GG1), grau geral leve (GG2), e grau geral moderado (GG3), com a variação da taxa de recorrência (REC) de 1% a 5%.	151
B.4	Potencial discriminativo da medida DET , obtida sem segmentação, na discriminação entre os grupos de sinais de vozes infantis.	152

B.5	Valores de média (μ) e desvio-padrão (σ) dos valores do comprimento máximo das linhas diagonais (L_{max}), obtidos sem segmentação em sinais de voz de crianças com grau geral normal (GG1), grau geral leve (GG2), e grau geral moderado (GG3), com a variação da taxa de recorrência (REC) de 1% a 5%.	153
B.6	Potencial discriminativo da medida L_{max} , obtida sem segmentação, na discriminação entre os grupos de sinais de vozes infantis.	153
B.7	Valores de média (μ) e desvio-padrão (σ) dos valores da entropia de Shannon ($ENTR$), obtidos sem segmentação em sinais de voz de crianças com grau geral normal (GG1), grau geral leve (GG2), e grau geral moderado (GG3), com a variação da taxa de recorrência (REC) de 1% a 5%.	154
B.8	Potencial discriminativo da medida $ENTR$, obtida sem segmentação, na discriminação entre os grupos de sinais de vozes infantis.	155
B.9	Valores de média (μ) e desvio-padrão (σ) dos valores da tendência ($TREND$), obtidos sem segmentação em sinais de voz de crianças com grau geral normal (GG1), grau geral leve (GG2), e grau geral moderado (GG3), com a variação da taxa de recorrência (REC) de 1% a 5%.	156
B.10	Potencial discriminativo da medida $TREND$, obtida sem segmentação, na discriminação entre os grupos de sinais de vozes infantis.	156
B.11	Valores de média (μ) e desvio-padrão (σ) dos valores da laminaridade (LAM), obtidos sem segmentação em sinais de voz de crianças com grau geral normal (GG1), grau geral leve (GG2), e grau geral moderado (GG3), com a variação da taxa de recorrência (REC) de 1% a 5%.	157
B.12	Potencial discriminativo da medida LAM , obtida sem segmentação, na discriminação entre os grupos de sinais de vozes infantis.	157
B.13	Valores de média (μ) e desvio-padrão (σ) dos valores do tempo de permanência (TT), obtidos sem segmentação em sinais de voz de crianças com grau geral normal (GG1), grau geral leve (GG2), e grau geral moderado (GG3), com a variação da taxa de recorrência (REC) de 1% a 5%.	158
B.14	Potencial discriminativo da medida TT , obtida sem segmentação, na discriminação entre os grupos de sinais de vozes infantis.	159
B.15	Valores de média (μ) e desvio-padrão (σ) dos valores do comprimento máximo das linhas verticais (V_{max}), obtidos sem segmentação em sinais de voz de crianças com grau geral normal (GG1), grau geral leve (GG2), e grau geral moderado (GG3), com a variação da taxa de recorrência (REC) de 1% a 5%.	160
B.16	Potencial discriminativo da medida V_{max} , obtida sem segmentação, na discriminação entre os grupos de sinais de vozes infantis.	160
B.17	Valores de média (μ) e desvio-padrão (σ) dos valores do raio de vizinhança ($RAIO$), obtidos sem segmentação em sinais de voz de crianças com grau geral normal (GG1), grau geral leve (GG2), e grau geral moderado (GG3), com a variação da taxa de recorrência (REC) de 1% a 5%.	162

B.18 Potencial discriminativo da medida <i>RAIO</i> , obtida com segmentação, na discriminação entre os grupos de sinais de vozes infantis.	162
B.19 Valores de média (μ) e desvio-padrão (σ) dos valores da taxa de recorrência (<i>REC</i>), obtidos sem segmentação em sinais de voz de crianças com grau geral normal (GG1), grau geral leve (GG2), e grau geral moderado (GG3), com a variação dessa medida de 1% a 5%.	163
B.20 Potencial discriminativo da medida <i>REC</i> , obtida com segmentação, na discriminação entre os grupos de sinais de vozes infantis.	164
B.21 Valores de média (μ) e desvio-padrão (σ) dos valores da transitividade (<i>TRANS</i>), obtidos sem segmentação em sinais de voz de crianças com grau geral normal (GG1), grau geral leve (GG2), e grau geral moderado (GG3), com a variação da taxa de recorrência (<i>REC</i>) de 1% a 5%.	165
B.22 Potencial discriminativo da medida <i>TRANS</i> , obtida com segmentação, na discriminação entre os grupos de sinais de vozes infantis.	165
B.23 Valores de média (μ) e desvio-padrão (σ) dos valores do determinismo (<i>DET</i>), obtidos sem segmentação em sinais de voz de crianças com grau geral normal (GG1), grau geral leve (GG2), e grau geral moderado (GG3), com a variação da taxa de recorrência (<i>REC</i>) de 1% a 5%.	166
B.24 Potencial discriminativo da medida <i>DET</i> , obtida com segmentação, na discriminação entre os grupos de sinais de vozes infantis.	166
B.25 Valores de média (μ) e desvio-padrão (σ) dos valores da relação entre o determinismo e a taxa de recorrência (<i>RATIO</i>), obtidos sem segmentação em sinais de voz de crianças com grau geral normal (GG1), grau geral leve (GG2), e grau geral moderado (GG3), com a variação da taxa de recorrência (<i>REC</i>) de 1% a 5%.	168
B.26 Potencial discriminativo da medida <i>RATIO</i> , obtida com segmentação, na discriminação entre os grupos de sinais de vozes infantis.	168
B.27 Valores de média (μ) e desvio-padrão (σ) dos valores do comprimento médio das linhas diagonais (L_{med}), obtidos sem segmentação em sinais de voz de crianças com grau geral normal (GG1), grau geral leve (GG2), e grau geral moderado (GG3), com a variação da taxa de recorrência (<i>REC</i>) de 1% a 5%.	169
B.28 Potencial discriminativo da medida L_{med} , obtida com segmentação, na discriminação entre os grupos de sinais de vozes infantis.	169
B.29 Valores de média (μ) e desvio-padrão (σ) dos valores do comprimento máximo das linhas diagonais (L_{max}), obtidos sem segmentação em sinais de voz de crianças com grau geral normal (GG1), grau geral leve (GG2), e grau geral moderado (GG3), com a variação da taxa de recorrência (<i>REC</i>) de 1% a 5%.	170
B.30 Potencial discriminativo da medida L_{max} , obtida com segmentação, na discriminação entre os grupos de sinais de vozes infantis.	171
B.31 Valores de média (μ) e desvio-padrão (σ) dos valores da divergência (<i>DIV</i>), obtidos sem segmentação em sinais de voz de crianças com grau geral normal (GG1), grau geral leve (GG2), e grau geral moderado (GG3), com a variação da taxa de recorrência (<i>REC</i>) de 1% a 5%.	172

B.32	Potencial discriminativo da medida DIV , obtida com segmentação, na discriminação entre os grupos de sinais de vozes infantis.	172
B.33	Valores de média (μ) e desvio-padrão (σ) dos valores da entropia de Shannon ($ENTR$), obtidos sem segmentação em sinais de voz de crianças com grau geral normal (GG1), grau geral leve (GG2), e grau geral moderado (GG3), com a variação da taxa de recorrência (REC) de 1% a 5%.	173
B.34	Potencial discriminativo da medida $ENTR$, obtida com segmentação, na discriminação entre os grupos de sinais de vozes infantis.	173
B.35	Valores de média (μ) e desvio-padrão (σ) dos valores da laminaridade (LAM), obtidos sem segmentação em sinais de voz de crianças com grau geral normal (GG1), grau geral leve (GG2), e grau geral moderado (GG3), com a variação da taxa de recorrência (REC) de 1% a 5%.	175
B.36	Potencial discriminativo da medida LAM , obtida com segmentação, na discriminação entre os grupos de sinais de vozes infantis.	175
B.37	Valores de média (μ) e desvio-padrão (σ) dos valores do tempo de permanência (TT), obtidos sem segmentação em sinais de voz de crianças com grau geral normal (GG1), grau geral leve (GG2), e grau geral moderado (GG3), com a variação da taxa de recorrência (REC) de 1% a 5%.	176
B.38	Potencial discriminativo da medida TT , obtida com segmentação, na discriminação entre os grupos de sinais de vozes infantis.	176
B.39	Valores de média (μ) e desvio-padrão (σ) dos valores do comprimento máximo das linhas verticais (V_{max}), obtidos sem segmentação em sinais de voz de crianças com grau geral normal (GG1), grau geral leve (GG2), e grau geral moderado (GG3), com a variação da taxa de recorrência (REC) de 1% a 5%.	178
B.40	Potencial discriminativo da medida V_{max} , obtida com segmentação, na discriminação entre os grupos de sinais de vozes infantis.	178
B.41	Valores de média (μ) e desvio-padrão (σ) dos valores do tempo de recorrência do tipo 1 (T^1), obtidos sem segmentação em sinais de voz de crianças com grau geral normal (GG1), grau geral leve (GG2), e grau geral moderado (GG3), com a variação da taxa de recorrência (REC) de 1% a 5%.	179
B.42	Potencial discriminativo da medida T^1 , obtida com segmentação, na discriminação entre os grupos de sinais de vozes infantis.	180
B.43	Valores de média (μ) e desvio-padrão (σ) dos valores do tempo de recorrência do tipo 2 (T^2), obtidos sem segmentação em sinais de voz de crianças com grau geral normal (GG1), grau geral leve (GG2), e grau geral moderado (GG3), com a variação da taxa de recorrência (REC) de 1% a 5%.	181
B.44	Potencial discriminativo da medida T^2 , obtida com segmentação, na discriminação entre os grupos de sinais de vozes infantis.	181

B.45 Valores de média (μ) e desvio-padrão (σ) dos valores da entropia do tempo de recorrência do tipo 1 (<i>RPDE</i>), obtidos sem segmentação em sinais de voz de crianças com grau geral normal (GG1), grau geral leve (GG2), e grau geral moderado (GG3), com a variação da taxa de recorrência (<i>REC</i>) de 1% a 5%.	182
B.46 Potencial discriminativo da medida <i>RPDE</i> , obtida com segmentação, na discriminação entre os grupos de sinais de vozes infantis.	183

Lista de Quadros

2.1	Pesquisas realizadas correlacionadas à avaliação de distúrbios da voz por meio de análise acústica.	20
2.2	Pesquisas realizadas correlacionadas à avaliação de distúrbios da voz por meio de análise acústica em conjunto com análise perceptivo-auditiva.	24
4.1	Relação das medidas medidas de sensibilidade e especificidade com as classes envolvidas nos casos de discriminação.	65

Sumário

1	Introdução	1
1.1	Motivação	1
1.2	Justificativa	3
1.3	Objetivos	6
1.3.1	Objetivo Geral	6
1.3.2	Objetivos Específicos	6
1.4	Organização do Trabalho	6
2	Distúrbios da Voz	8
2.1	Introdução	8
2.2	Aspectos Relacionados a Distúrbios da Voz	8
2.3	Patologias na Laringe	9
2.3.1	Patologias Relacionadas a Distúrbios Orgânicos	11
2.3.2	Patologias Relacionadas a Distúrbios Neurológicos	14
2.4	Avaliação de Distúrbios da Voz	16
2.5	Estado da Arte	20
2.6	Discussão	26
3	Análise de Quantificação de Recorrência	27
3.1	Introdução	27
3.2	Sistemas Dinâmicos e Espaço de Fase	27
3.2.1	Determinação da Dimensão de Imersão	29
3.2.2	Determinação do Passo de Reconstrução	30
3.3	Gráficos de Recorrência	30
3.3.1	Formação de Estruturas nos Gráficos de Recorrência	32
3.4	Gráficos de Recorrência de Sinais de Voz	47
3.5	Medidas de Quantificação de Recorrência	52
3.6	Discussão	55
4	Material e Métodos	57
4.1	Introdução	57

4.2	Estudo de Caso 1: Análise Acústica em Sinais de Laringes Saudáveis e em Sinais de Laringes Afetadas por Patologias	58
4.2.1	Base de Dados	58
4.2.2	Análise sem Segmentação	58
4.2.3	Análise com Segmentação	59
4.3	Estudo de Caso 2: Análise Acústica do Grau de Intensidade de Distúrbios da Voz em Crianças	60
4.3.1	Base de Dados	60
4.3.2	Análise sem Segmentação	60
4.3.3	Análise com Segmentação	61
4.4	Descrição dos Classificadores	61
4.4.1	Análise Discriminante	62
4.4.2	Redes Neurais MLP	63
4.5	Análise de Desempenho da Classificação	64
4.6	Discussão	66
5	Resultados	67
5.1	Introdução	67
5.2	Análise Estatística	67
5.2.1	Análise Estatística no Estudo de Caso 1	67
5.2.2	Análise Estatística no Estudo de Caso 2	69
5.3	Classificação no Estudo de Caso 1	70
5.3.1	Classificação com as Medidas Extraídas sem Segmentação	70
5.3.2	Classificação com as Medidas Extraídas com Segmentação	82
5.4	Classificação no Estudo de Caso 2	95
5.4.1	Classificação com as Medidas Extraídas sem Segmentação	96
5.4.2	Classificação com as Medidas Extraídas com Segmentação	100
5.5	Discussão	106
6	Considerações Finais	109
6.1	Aspectos Relacionados ao Estudo de Caso 1	109
6.2	Aspectos Relacionados ao Estudo de Caso 2	111
6.3	Contribuições da Pesquisa	112
6.4	Sugestões para Trabalhos Futuros	112
	Referências Bibliográficas	124
	APÊNDICES	125
A	Caracterização dos Sinais de Voz Avaliados no Estudo de Caso 1	126
A.1	Caracterização e Análise Estatística	126

A.1.1	Raio de vizinhança (<i>RAIO</i>)	126
A.1.2	Taxa de Recorrência (<i>REC</i>)	128
A.1.3	Transitividade (<i>TRANS</i>)	129
A.1.4	Determinismo (<i>DET</i>)	131
A.1.5	Relação entre Determinismo e Taxa de Recorrência (<i>RATIO</i>)	132
A.1.6	Comprimento Médio das Linhas Diagonais (L_{med})	134
A.1.7	Comprimento Máximo das Linhas Diagonais (L_{max})	135
A.1.8	Divergência (<i>DIV</i>)	137
A.1.9	Entropia de Shannon (<i>ENTR</i>)	138
A.1.10	Laminaridade (<i>LAM</i>)	139
A.1.11	Tempo de Permanência (<i>TT</i>)	141
A.1.12	Comprimento Máximo das Linhas Verticais (V_{max})	142
A.1.13	Tempo de Recorrência do Tipo 1 (T^1)	144
A.1.14	Tempo de Recorrência do Tipo 2 (T^2)	145
A.1.15	Entropia do Tempo de Recorrência do Tipo 1 (<i>RPDE</i>)	146
B	Caracterização dos Sinais de Voz Avaliados no Estudo de Caso 2	149
B.1	Caracterização e Análise Estatística com as Medidas Extraídas sem Segmentação .	149
B.1.1	Raio de vizinhança (<i>RAIO</i>)	149
B.1.2	Determinismo (<i>DET</i>)	151
B.1.3	Comprimento Máximo das Linhas Diagonais (L_{max})	152
B.1.4	Entropia de Shannon (<i>ENTR</i>)	153
B.1.5	Tendência (<i>TREND</i>)	154
B.1.6	Laminaridade (<i>LAM</i>)	156
B.1.7	Tempo de Permanência (<i>TT</i>)	157
B.1.8	Comprimento Máximo das Linhas Verticais (V_{max})	159
B.2	Caracterização e Análise Estatística com as Medidas Extraídas com Segmentação .	161
B.2.1	Raio de vizinhança (<i>RAIO</i>)	161
B.2.2	Taxa de Recorrência (<i>REC</i>)	162
B.2.3	Transitividade (<i>TRANS</i>)	164
B.2.4	Determinismo (<i>DET</i>)	165
B.2.5	Relação entre Determinismo e Taxa de Recorrência (<i>RATIO</i>)	167
B.2.6	Comprimento Médio das Linhas Diagonais (L_{med})	168
B.2.7	Comprimento Máximo das Linhas Diagonais (L_{max})	169
B.2.8	Divergência (<i>DIV</i>)	171
B.2.9	Entropia de Shannon (<i>ENTR</i>)	172
B.2.10	Laminaridade (<i>LAM</i>)	174
B.2.11	Tempo de Permanência (<i>TT</i>)	175
B.2.12	Comprimento Máximo das Linhas Verticais (V_{max})	177

B.2.13 Tempo de Recorrência do Tipo 1 (T^1)	178
B.2.14 Tempo de Recorrência do Tipo 2 (T^2)	180
B.2.15 Entropia do Tempo de Recorrência do Tipo 1 ($RPDE$)	181

1.1 – Motivação

A voz, considerada principal ferramenta de comunicação humana, contém informações a respeito do falante, tais como identidade, estado emocional e humor. A qualidade do sistema de produção vocal também pode ser avaliada por meio da análise acústica do sinal de voz, empregando técnicas de processamento digital de sinais [1-3]. A qualidade vocal está relacionada à frequência, à amplitude e à composição dos harmônicos da onda sonora produzida, bem como ao modo de vibração das pregas vocais, o tamanho e o formato do trato vocal, a tensão e o tônus das paredes faríngeas, podendo ser modificada por fatores anatômicos ou patológicos [4].

O sinal de voz oriundo do sistema de produção vocal é resultado da ação conjunta dos seguintes subsistemas [5]:

- ▣ Sistema Respiratório – Fonte de energia (pulmões);
- ▣ Sistema Fonatório – Fonte vibratória (pregas vocais);
- ▣ Sistema de Ressonância – Fonte de Ressonância (cavidades oral e nasal);
- ▣ Sistema Articulatorio – Articuladores (língua, lábios, mandíbula, palato, dentes);
- ▣ Sistema Nervoso Central e Periférico – Coordenação dos demais sistemas (córtex, estruturas sub-corticais e nervos).

Uma representação simplificada do sistema de produção vocal é apresentada na Figura 1.1. Os pulmões e os músculos associados atuam como uma fonte de ar para excitar a ação conjunta da laringe e das cavidades oral e nasal, a fim de tornar o fluxo de ar em sinal de voz, por meio da atuação dos articuladores. Esse conjunto de fatores é controlado pelo sistema nervoso central [5-7].

Distúrbios da voz podem afetar diferentes faixas etárias. Muitos desses distúrbios acompanham o ser humano desde a fase da infância, sendo diagnosticadas após o nascimento (por meio da identificação de dificuldades respiratórias ou choro anormal) ou de forma tardia, por meio de manifestações sutis que ocorrem ao longo do crescimento [7,8].

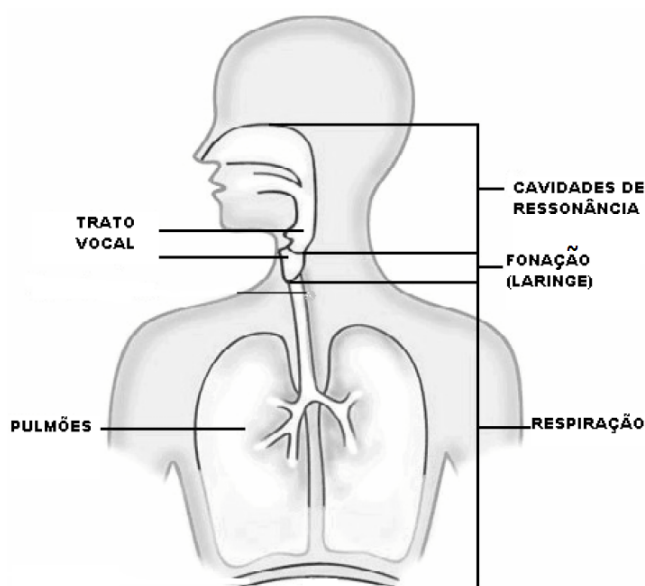


Figura 1.1 – Esquema das Estruturas do Aparelho Fonador (Adaptado de [6]).

Em crianças, órgãos como a laringe ainda estão em formação. Dessa forma, o sistema de produção vocal infantil possui uma complexidade estrutural menor que o adulto [7]. Dentre os fatores causadores de distúrbios da voz em crianças estão: patologias (de origem orgânica, neurológica ou genética), abuso vocal (gritos, cantos excessivos, fala excessiva, entre outros comportamentos inerentes à faixa etária) e fatores psicogênicos, tais como distúrbios emocionais, problemas familiares e traumas físicos [8].

Na fase adulta, em uma voz considerada normal, características acústicas, tais como a frequência fundamental, atingem um estágio no qual permanecem por muitos anos. Devido à maturação anatômica e fisiológica do sistema de produção vocal, é possível ter mais controle da intensidade da fonação, fazendo com que a voz seja adequada de acordo com a demanda da situação. Além dos fatores que também podem estar associados a distúrbios da voz em crianças, maus hábitos como tabagismo e alcoolismo afetam a voz de adultos [7, 9].

A avaliação de distúrbios da voz contempla, de uma maneira geral, cinco metodologias [7]:

1. Autoavaliação;
2. Análise otorrinolaringológica;
3. Avaliação aerodinâmica;
4. Análise perceptivo-auditiva da voz;
5. Análise acústica da voz.

A autoavaliação refere-se à percepção do paciente em relação ao seu problema vocal. A partir de alguns sintomas, o paciente tenta identificar as possíveis causas do distúrbio da voz [5,7].

A análise otorrinolaringológica é, geralmente, constituída por um ou mais procedimentos invasivos que podem causar desconforto ao paciente [1]. Exames como laringoscopia e estroboscopia são realizados por profissionais que devem estar cientes dos riscos dos procedimentos, com instrumentos que são introduzidos na cavidade oral ou nasal do paciente [7].

De acordo com Colton *et al.* [7], a estroboscopia, por exemplo, é um exame difícil de ser realizado em crianças. Devido à anatomia e fisiologia infantil, o tempo de vibração das pregas vocais é insuficiente para capturar uma boa imagem estroboscópica, seja em crianças com voz saudável ou em crianças com distúrbios da voz.

A avaliação aerodinâmica é um método clínico que obtém medidas de vazão e de pressão de acordo com a modificação do fluxo de ar que passa na laringe e no trato vocal. Adução inadequada das pregas vocais pode ser notada por meio dessa avaliação [7, 10].

A análise perceptivo-auditiva é realizada por um profissional treinado para ouvir e identificar características presentes no sinal de voz que indiquem se há alterações ou não na qualidade do sistema de produção vocal. Por meio dessa avaliação, o clínico pode identificar a possível etiologia¹ do distúrbio e alguns sinais não observados pelo paciente [7].

Apesar de ser um método comum, a escuta da voz do paciente traz subjetividade ao diagnóstico, e nem sempre consegue identificar com certeza a presença de patologias na laringe. Segundo Colton *et al.* [7], é apropriado que após a análise perceptivo-auditiva seja verificado o diagnóstico com dados objetivos.

A análise acústica da voz emprega técnicas de processamento digital de sinais para extrair características observáveis a partir da forma de onda do sinal de voz. Digitalizada, essa forma de onda torna-se uma série temporal que traz consigo informações relevantes do sistema de produção vocal [11]. Técnicas de análise acústica proporcionam a obtenção parâmetros da série temporal (sinal de voz) que podem ou não identificar a presença de um distúrbio da voz. Além disso, a análise acústica é um método não invasivo de avaliação [2].

O diagnóstico e/ou acompanhamento de distúrbios da voz requer a investigação de muitos componentes individuais, dentre os quais estão os sintomas e o histórico do paciente, bem como um conjunto de sinais que podem ser observados ou mensurados. Assim, para examinar de forma completa um sistema de produção vocal, se faz necessário que haja interdisciplinaridade nos procedimentos de avaliação [7, 12].

1.2 – Justificativa

Há uma busca incessante por parte dos clínicos e pesquisadores para o desenvolvimento de métodos não invasivos utilizando medidas que apresentem grande poder

¹ Etiologia é o estudo das causas. Neste trabalho refere-se às possíveis causas de distúrbios da voz.

discriminatório e que possibilitem a triagem, a avaliação, o diagnóstico e o monitoramento dos distúrbios da voz [13, 14].

A análise acústica faz uso de técnicas de processamento digital de sinais de voz para extrair características medidas a partir do sinal de voz do paciente. Tais técnicas são não invasivas e podem servir como ferramenta de apoio ao diagnóstico de patologias laringeas, bem como na avaliação da qualidade vocal, de forma objetiva.

O acompanhamento da qualidade vocal por meio de programas computacionais de fácil acesso e baixo custo pode proporcionar, ainda, um tratamento à distância. O método pode ser aplicado em redes de Telemedicina que permitem o compartilhamento de arquivos de prontuários, consultas, exames e segunda opinião. É possível a adoção de medidas simples e de baixo custo, com diagnósticos remotos, que podem contribuir muito para diminuir, por exemplo, a carência de especialistas [15, 16].

Além de sua aplicação na área clínica, a análise acústica pode ser empregada no controle da qualidade vocal de profissionais que trabalham com a voz, tais como cantores, locutores, professores, entre outros.

Algumas técnicas, baseadas na análise acústica, proporcionam parâmetros, os quais são geralmente calculados pela média de perturbações temporais medidas da voz, a fim de avaliar o seu grau de normalidade. Entre estes parâmetros usuais estão: frequência fundamental², *jitter* (perturbação da frequência fundamental), *shimmer* (perturbação em amplitude), quociente de perturbação de amplitude (*APQ – Amplitude Perturbation Quotient*), quociente de perturbação do *pitch* (*PPQ – Pitch Perturbation Quotient*), relação harmônica-ruído (*HNR – Harmonic-Noise Ratio*), energia de ruído normalizada (*NNE – Normalized Noise Energy*), índice de turbulência vocal (*VTI – Vocal Turbulence Index*), excitação do ruído glotal (*GNE – Glottal-to-Noise Excitation*), entre outras [1, 17-26].

Medidas como frequência fundamental, *jitter* e *shimmer* carregam grandes limitações, principalmente nos casos de patologias severas, que causam distúrbios da voz de maior grau. Nesses casos, o sinal de voz pode apresentar características acentuadas de ruído, dificultando a obtenção destes parâmetros acústicos [1]. Estes parâmetros são obtidos a partir de segmentos sonoros³ do sinal de voz. A emissão de uma vogal sustentada faz vibrar as pregas vocais numa determinada frequência, específica para cada locutor. Na presença de um distúrbio da voz, o seu valor se altera, e a emissão vocal pode perder seu padrão de sonoridade [7].

Métodos baseados no modelo linear de produção da voz têm sido investigados ao longo dos anos, como uma forma de superar as dificuldades de obtenção da frequência fundamental e as medidas derivadas da mesma como *jitter*, *shimmer*, entre outras já citadas. Entre as técnicas mais comumente empregadas estão a estimação do ruído glotal, análise tempo-frequência, análise de predição linear, análise cepstral e no modelo auditivo [2, 21, 27, 28].

²Frequência fundamental corresponde à frequência de vibração das pregas vocais [7].

³Segmentos sonoros dos sinais de voz são aqueles constituídos dos chamados sons sonoros, os quais são produzidos pela vibração das pregas vocais com a passagem do ar pela glote.

A hipótese de que a voz é produzida por um sistema de fonte-filtro (modelo linear de produção da voz), no entanto, carrega intrinsecamente suas limitações. A presença de patologias na laringe acarreta, dependendo da severidade, alterações no padrão anatômico ou no padrão de vibração das pregas vocais [5].

Técnicas não lineares são baseadas em fatores que indicam a presença de não linearidades no sistema de produção da voz, tais como a variação temporal da forma do trato vocal, as ressonâncias associadas à sua fisiologia, as perdas devido ao atrito viscoso nas paredes internas do trato vocal, a suavidade dessas paredes internas, a radiação do som nos lábios, o acoplamento nasal e a flexibilidade (comportamento dinâmico) associada à vibração das pregas vocais [29].

Os métodos de dinâmica não linear são capazes de analisar comportamentos irregulares e podem ser importantes em diferentes estudos da produção vocal, incluindo estudos de avaliação da efetividade do tratamento oferecido, classificação das vozes em diferentes graus de alteração e, até mesmo, na diferenciação entre laringes saudáveis e patológicas. O estudo de técnicas não lineares para representar a produção da voz tem se destacado em diversas pesquisas [3, 30-43].

Apesar de haver muitos trabalhos relacionados à identificação de distúrbios da voz, não há uma confirmação precisa de um método que seja capaz de encontrar os parâmetros mais adequados para modelagem de uma patologia em particular. Muitas dessas pesquisas são focadas na discriminação entre laringes saudáveis e patológicas, sem discriminar uma patologia de outra [1, 36, 37, 44-48]. A discriminação de distúrbios da voz ainda é objeto de investigação mais precisa por parte dos pesquisadores. Portanto, o estudo de técnicas de análise acústica é uma área bastante promissora, uma vez que a interdisciplinaridade dos procedimentos pode proporcionar a investigação com mais precisão de um distúrbio da voz.

No contexto da análise dinâmica não linear, medidas tradicionais tem sido empregadas nos últimos anos, tais como dimensão de correlação, expoente de Lyapunov, entropia aproximada, entropia de segunda ordem, entre outras [36, 37, 45, 49]. A análise de quantificação de recorrência é uma técnica de análise dinâmica não linear que permite a extração de características (as medidas de quantificação de recorrência) de séries temporais não estacionárias [50]. Essas medidas de quantificação de recorrência têm demonstrado potencial discriminativo para identificar sinais de voz como sendo oriundos de laringes saudáveis e laringes afetadas por patologias [3, 33, 34, 51].

Costa [3], em sua Tese de Doutorado, empregou a análise de quantificação de recorrência em trechos considerados não estacionários de sinais de voz (400 ms) de pacientes com laringes saudáveis e pacientes com laringes patológicas (nódulos, edema e paralisia nas pregas vocais), e extraiu oito medidas de quantificação de recorrência: taxa de recorrência, determinismo, comprimento máximo das linhas diagonais, entropia de Shannon da distribuição das linhas diagonais, tendência, laminaridade, tempo de permanência e comprimento máximo das linhas verticais. Com a taxa de recorrência fixada no patamar de 1%, as medidas foram utilizadas na classificação dos sinais de voz. Não foi avaliado, entretanto, o potencial das medidas em outros

patamares de taxa de recorrência. Além disso, não foi realizada uma análise a curto intervalo de tempo (intervalos de até 32 ms, em que os sinais de voz são considerados estacionários). Esta análise é relevante para determinar se a técnica empregada, quando se trata do uso em sinais de voz, é mais eficiente em séries longas ou em séries curtas e estacionárias.

No tocante à aplicação de técnicas de processamento de digital de sinais voz no monitoramento da qualidade vocal, não foi encontrada na literatura nenhuma pesquisa que relacione as medidas de quantificação de recorrência com a avaliação do grau de desvio fonatório.

1.3 – Objetivos

1.3.1 – Objetivo Geral

Avaliar o desempenho da análise de quantificação de recorrência na classificação de distúrbios da voz.

1.3.2 – Objetivos Específicos

- ▣▶ Caracterizar os sinais de voz de pacientes saudáveis e de pacientes com patologias na laringe por meio de medidas de quantificação de recorrência;
- ▣▶ Caracterizar o grau de desvio vocal em crianças por meio das medidas de quantificação de recorrência;
- ▣▶ Avaliar o potencial discriminativo das medidas de quantificação de recorrência na classificação entre laringes saudáveis e patológicas (edema, paralisia, nódulos) e entre os graus de desvio fonatório dos sinais de vozes infantis;
- ▣▶ Empregar técnicas de classificação de padrões tais como análise discriminante e redes neurais artificiais, para discriminar entre laringes saudáveis e patológicas e entre os graus de desvio vocal em vozes infantis;
- ▣▶ Identificar uma medida ou um conjunto de medidas de recorrência que melhor caracterizem os distúrbios da voz considerados.

1.4 – Organização do Trabalho

Além deste Capítulo introdutório, este trabalho está estruturado como descrito a seguir. No Capítulo 2, são apresentados aspectos relacionados aos distúrbios da voz, bem como são descritas algumas patologias que afetam a laringe. Em seguida, são apresentados alguns métodos de análise de distúrbios vocais e o estado da arte, em que são apresentados os principais resultados de algumas pesquisas encontradas na literatura, as quais tratam da investigação de métodos de avaliação dos distúrbios da voz.

No Capítulo 3, é abordada a análise de quantificação de recorrência (técnica empregada neste trabalho para análise acústica dos sinais de voz). São apresentados, brevemente, conceitos como sistemas dinâmicos e espaço de fase. Ainda, são apresentados aspectos relacionados à formação de estruturas nos gráficos de recorrência, em que são apresentados alguns tipos de sinais como exemplos. Em seguida, são apresentados gráficos de recorrência obtidos de sinais de voz e, por fim, as medidas de quantificação de recorrência, as quais foram utilizadas nesta pesquisa.

No Capítulo 4, é apresentada a metodologia utilizada nesta pesquisa, sendo analisados dois estudos de caso: 1) Análise acústica de sinais de vozes de laringes saudáveis e de laringes afetadas por patologias (paralisia, edema e nódulos vocais); e 2) Análise acústica do grau de intensidade de distúrbios da voz em crianças. Para cada estudo de caso, são apresentados os métodos empregados para uma análise com as medidas extraídas sem segmentação e outra análise com as medidas extraídas com segmentação.

No Capítulo 5, são apresentados os resultados obtidos dos processos de análise estatística e classificação nos dois estudos de caso abordados. No Capítulo 6, são apresentadas as considerações finais sobre cada estudo de caso, bem como as contribuições da pesquisa e as sugestões para trabalhos futuros.

No APÊNDICE A, é apresentada a caracterização dos sinais de voz do primeiro estudo de caso, com mais detalhes para os resultados dos testes estatísticos e relacionando o comportamento de cada medida de quantificação de recorrência aos sinais de voz avaliados. No APÊNDICE B, os resultados mais detalhados do processo de caracterização são apresentados para o segundo estudo de caso.

2.1 – Introdução

Distúrbios da voz podem ser entendidos como sendo processos patológicos¹ que afetam a produção da voz, geralmente causados por fatores anatômicos ou funcionais (emocionais ou psicológicos), levando ao que são comumente chamados, na literatura, de disfonia (emissão da voz sem harmonia ou com dificuldade) e afonia (perda parcial ou total da voz), e ainda resultar em alterações na qualidade da voz, na altura e no tom [52].

Neste Capítulo, são apresentados aspectos relacionados à presença de distúrbios da voz, bem como são abordadas algumas patologias que afetam a laringe. Além da compreensão sobre fatores responsáveis pelos distúrbios da voz, é importante o conhecimento de alguns métodos utilizados na avaliação desses distúrbios e das pesquisas que buscam técnicas para melhorar essa avaliação. Tais tópicos também são abordados.

2.2 – Aspectos Relacionados a Distúrbios da Voz

Entre os aspectos relacionados aos distúrbios da voz estão as suas possíveis causas e consequências. No tocante às possíveis causas, podem ser elencados: o uso inadequado da voz, o abuso vocal, o uso de drogas e as patologias na laringe. As possíveis consequências podem ser observadas por meio da auto-avaliação do paciente ou por análise clínica (Seção 2.4), ou mesmo serem refletidas no comportamento social do paciente [5, 7, 53, 54].

O uso inadequado da voz refere-se a comportamentos de produção vocal que não atingem um desempenho vocal eficiente. Assim, a voz destoa do que seria considerada uma emissão acústica normal. O que pode influenciar este comportamento é a falta de conhecimento vocal por parte do indivíduo [5, 7]. Alguns fatores estão ligados ao uso inadequado da voz, tais como:

- ▣ Aumento de tensão ou esforço: para atingir certo resultado vocal (por exemplo, aumentar a intensidade da voz), é possível que haja tensão nos músculos ligados ao sistema de produção vocal. Em alguns casos, este comportamento pode ser refletido em dores ao

¹ Processos patológicos são formas e mecanismos anormais envolvidos nas disfunções de tecidos e órgãos [52].

falar. Contudo, um paciente pode ser considerado disfônico quando a sua produção vocal requer mais esforço que o suficiente [5, 7];

- ▣ Uso inadequado de frequência: a frequência fundamental é um parâmetro que difere para vozes masculinas, femininas e infantis. A média da frequência fundamental encontrada no português brasileiro é de 113 Hz para homens, 220 Hz para mulheres, e 240 Hz para crianças [55]. Uma alteração vocal pode ser percebida quando a frequência fundamental do indivíduo difere da média do gênero/idade [7];
- ▣ Distúrbios psicogênicos: os aspectos psicológicos que podem contribuir para o surgimento de afonia ou disфонia geralmente surgem na infância. Distúrbios emocionais causados por traumas físicos ou por conflitos familiares, e até mesmo a relação com outras crianças podem ser fatores de incidência de distúrbios da voz que podem acompanhar o indivíduo ao longo dos anos [8].

O abuso vocal compreende um conjunto de comportamentos que podem ou não ocorrer de forma isolada, e que podem causar danos mais severos ao sistema de produção vocal do que o uso inadequado. Entre os comportamentos abusivos que podem ser identificados estão: intensidade excessiva por tempo prolongado (que é caracterizado pela tentativa de exceder, com a voz, os níveis de ruído ambiental); uso excessivo e tenso da voz durante períodos de inchaço, inflamação ou patologias laríngeas sem o devido tratamento; tosse e pigarro em excesso; e fala com aspecto barulhento (típico de crianças em idade escolar) [7, 8].

Em relação ao uso de drogas, este não é necessariamente um comportamento vocal. Porém, seus efeitos podem ser prejudiciais à fisiologia da fonação. A dosagem de drogas diferem de um indivíduo para outro e, conseqüentemente, as alterações no sistema de produção vocal são diferentes de uma pessoa para outra, seja ela paciente ou viciada. Alguns dos efeitos do uso de drogas no sistema de produção vocal são: alterações na coordenação da fala, comprometimento do fluxo aéreo, mudanças na estrutura das pregas vocais e irritação do tecido laringeo [7].

As patologias na laringe, relacionadas aos fatores anatômicos dos distúrbios vocais, são descritas resumidamente a seguir.

2.3 – Patologias na Laringe

A Laringe é um órgão localizado na garganta, mais precisamente no plano superior da traqueia e no plano inferior da faringe (Figura 2.1). A fala não é a principal função da laringe [7]. Funções biológicas básicas, como a proteção e a respiração, estão, em ordem de importância, acima da fonação. Na função de proteção, a laringe funciona como uma válvula que permite apenas a passagem de ar para o pulmão. Na função de respiração, as pregas vocais, com seus movimentos de abdução (abertura) e adução (fechamento), controlam as trocas gasosas com o pulmão. Na função da fonação, as mudanças de tensão e longitude das pregas vocais, ampliação

da abertura glótica² e a intensidade do esforço respiratório provocam variações no tom da voz, tom que resulta da vibração das pregas vocais, modificado pelos movimentos da faringe, língua e lábios para a fala [57, 58].

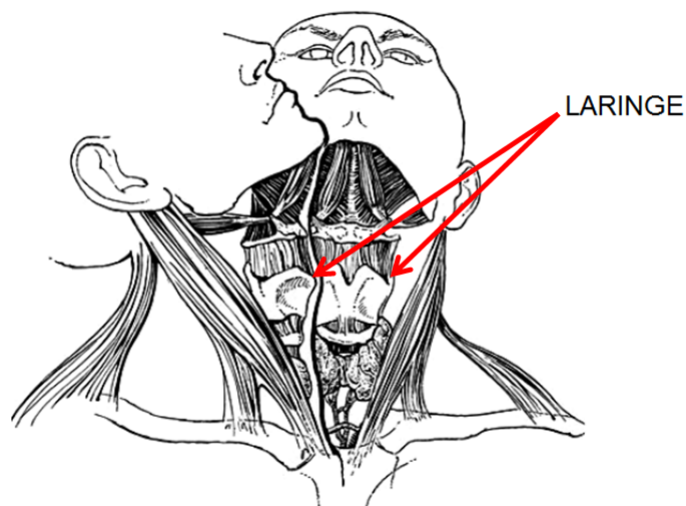


Figura 2.1 – Posição da laringe no pescoço (Adaptado de [57]).

As pregas vocais são estruturas multilaminadas, constituídas por dobras de músculos e mucosas que se estendem horizontalmente na laringe [58]. Na Figura 2.2 está apresentada uma laringe saudável com as pregas vocais em posição de abdução e adução.

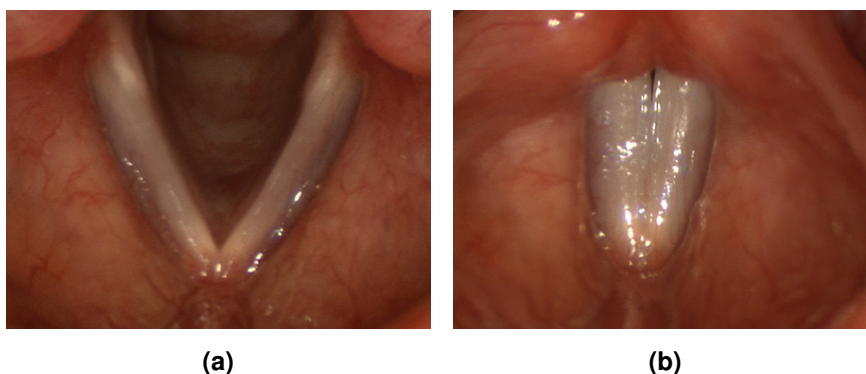


Figura 2.2 – Pregas Vocais Saudáveis: (a) Abdução e (b) Adução [59].

Patologias na laringe causam alterações na estrutura histológica das pregas vocais, e seu padrão de vibração pode ser afetado por mudanças nas camadas da mucosa, uma vez que a massa, o tamanho, a rigidez e a tensão do mecanismo de vibração estão comprometidos. A qualidade vocal, dessa forma, pode ser alterada, juntamente com a frequência de vibração das pregas vocais e a intensidade da fonação [3].

Parte das patologias que afetam a laringe estão relacionadas a distúrbios orgânicos ou neurológicos. A seguir, uma breve descrição de algumas patologias encontradas na literatura.

²A glote é o espaço compreendido entre as pregas vocais, quando estas se encontram afastadas uma da outra [56].

2.3.1 – Patologias Relacionadas a Distúrbios Orgânicos

As patologias laríngeas relacionadas a distúrbios orgânicos podem ser consequências de uso inadequado da voz ou de algum tipo de abuso vocal. Por outro lado, esses comportamentos podem ser apenas um componente patológico, ainda que não seja a principal causa [7]. No conjunto de patologias orgânicas, podem ser citadas: os nódulos, os pólipos, os cistos, os edemas e as laringites.

Nódulos

Nódulos vocais são formações benignas localizadas na borda livre e superfície inferior das pregas vocais, geralmente causados por abuso vocal, e tem como principais sintomas a rugosidade e a soproidade. São sempre bilaterais, podendo variar de tamanho, simetria e coloração. Em estágio inicial, pode ser evidente apenas em um dos lados e ser confundido facilmente com um pólipos. Com a continuação do trauma, o tecido torna-se rígido [7, 60].

Nódulos crônicos ou mais antigos são geralmente, duros, brancos, firmes e fibrosados (Figura 2.3). Em crianças, cerca de 80% dos casos de distúrbios vocais são causados por nódulos [60]. Em adultos, o maior número de registros de nódulos são em mulheres [5]. Além disso, profissionais, como cantores, podem ter a laringe afetada por nódulos [59].



Figura 2.3 – Nódulos nas Pregas Vocais [59].

Algumas das queixas de pessoas afetadas por nódulos vocais são: dor na região do pescoço lateral à laringe que pode irradiar em direção da orelha ou em direção ao peito; necessidade de pigarrear; dificuldade de atingir determinadas frequências. A massa excedente por conta da presença da patologia resulta em um aumento da periodicidade de vibração das pregas vocais, maior nível de perturbação de frequência e aumento da rugosidade. Dependendo do tamanho do nódulo, o fechamento glótico também é comprometido [7].

Pólipos

Pólipos são lesões predominantemente unilaterais, embora possam ser encontrados na porção contra-lateral. Esse pólipos contra-lateral pode ser uma lesão criada pelo contato de um pólipos unilateral durante a fonação. Os pólipos são o resultado de um período de abuso vocal, e

tem como principais sintomas a rugosidade ou a soproidade. Em alguns casos, os pólipos podem conter vasos sanguíneos dilatados, tecido fibrótico e pequenas hemorragias (Figura 2.4) [59].

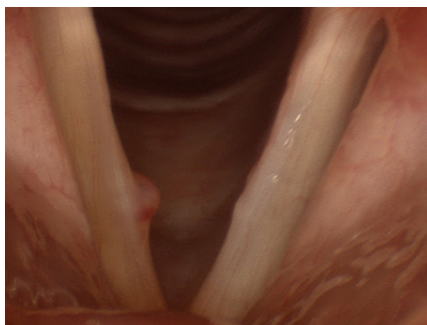


Figura 2.4 – Pólipo nas Pregas Vocais [59].

Um pólipo aumenta a massa da cobertura das pregas vocais, alterando suas propriedades mecânicas. Como resultado, há uma maior periodicidade de vibração, maior perturbação de frequência e rugosidade, assim como ocorre com a presença de nódulos. Se a massa do pólipo impedir o fechamento glótico, é possível a presença de soproidade na fala [7].

Cistos

Cistos são tumores constituídos por secreções amareladas, recobertas por um epitélio claro e transparente. Parecem pequenas esferas nas margens das pregas vocais (Figura 2.5). Em estágio inicial, os cistos podem ser confundidos com nódulos ou pólipos. Contudo, cistos são predominantemente unilaterais e, em alguns casos, podem ocorrer em associação a nódulos [60, 61].

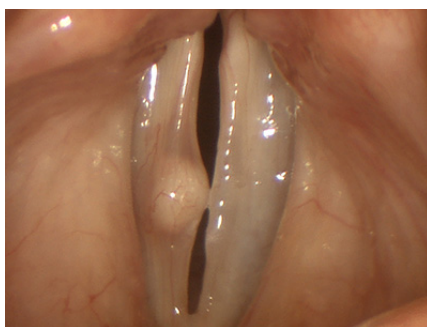


Figura 2.5 – Cistos nas Pregas Vocais [59].

A rugosidade é o principal sintoma da presença de cistos, e os pacientes podem acusar voz “cansada”. A cobertura das pregas vocais tem aumento de massa e rigidez e a fase de fechamento glotal pode estar mais lenta do que o normal [7].

Edema de Reinke

O edema de Reinke refere-se ao preenchimento de fluido que ocorre na camada superficial da lâmina própria (espaço de Reinke) das pregas vocais, resultando em uma expansão, aumento e inchaço das pregas vocais (Figura 2.6). As lesões são geralmente bilaterais e de tamanho assimétrico [59,62].

Em geral, o edema é uma reação natural provocado por uso inadequado ou por abuso vocal. Ainda, pode ser simultâneo a uma infecção ou inflamação. O uso de drogas ou reações alérgicas também podem ser fatores causadores do edema. O crescimento excessivo do edema pode levar à obstrução da glote e, como consequência, pode haver dificuldade de respiração [7, 60].

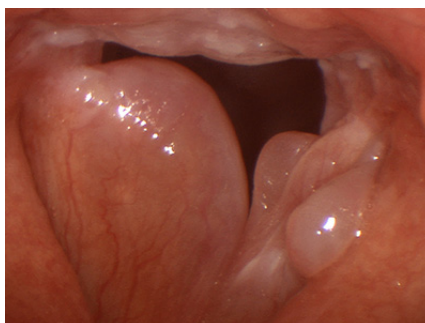


Figura 2.6 – Edema nas Pregas Vocais [59].

Como sintomas perceptivos da presença de edema estão a rugosidade e a diminuição da frequência fundamental (voz torna-se mais grave). Em relação a fatores fisiopatológicos, apesar de a massa da cobertura das pregas vocais aumentar, a tensão da cobertura depende do grau de severidade do edema. A redução da frequência de vibração das pregas vocais está relacionado ao aumento de volume e a redução da tensão na camada superficial das pregas vocais [7, 63].

Laringite

Laringite é uma inflamação das pregas vocais e da laringe. Entre as principais causas dessa patologias estão: exposição a agentes nocivos (tabaco, álcool, drogas), refluxo gastroesofágico, substâncias do meio ambiente (alérgenos, poeira), uso inadequado ou abuso vocal. Ainda, a laringite pode ser resultado de uma infecção das vias aéreas superiores, que afeta a laringe [59].

Laringites acometem a cobertura das pregas vocais, aumentando sua tensão, mas podem ter um pequeno efeito sobre sua massa (Figura 2.7). Entre os principais sintomas estão a rugosidade acompanhada da sensação de ressecamento e desconforto da garganta. O uso constante e intenso da voz piora o quadro e contribui para a permanência da rugosidade. A frequência fundamental tende a ficar alterada (aumenta ou diminui) e torna-se difícil falar em intensidades muito fortes [7].



Figura 2.7 – Laringite nas Pregas Vocais [59].

2.3.2 – Patologias Relacionadas a Distúrbios Neurológicos

A fala é um mecanismo que envolve uma série de sistemas ou partes de sistemas para sua execução. O sistema respiratório, por exemplo, que é responsável pelas trocas gasosas utilizadas pelos tecidos do corpo, também atua na fonação. Outro sistema, o digestivo, atua na produção da voz principalmente com a boca, a mandíbula e os dentes. Os sistemas atuantes na fala são controlados pelo sistema nervoso. É no sistema nervoso, por exemplo, que é decidido se a função do sistema respiratório será de respiração ou de fala [5, 7].

A coordenação dos órgãos presentes no sistema de produção vocal, tais como pulmões, laringe e faringe, é controlada no cérebro. A vibração das pregas vocais depende de um sistema neurológico intacto para que seja mantida uma tensão adequada, um fluxo aéreo adequado e uma pressão aérea adequada para a vocalização. Qualquer alteração do controle neurológico afeta a vibração normal das pregas vocais, prejudicando os movimentos de abdução e adução. Duas patologias relacionadas a distúrbios neurológicos podem ser citadas: paralisia e paresia nas pregas vocais [59].

Paralisia nas Pregas Vocais

Paralisia é a imobilidade das pregas vocais causada por dano ou disfunção do seu principal nervo: o nervo laríngeo recorrente³. Com essa patologia, a espessura do corpo das pregas vocais tem o aspecto reduzido [7].

A paralisia pode ser unilateral ou bilateral. Na paralisia unilateral, a prega vocal afetada não pode mover-se para a linha média e ajudar no fechamento da glote (Figura 2.8a). A paralisia unilateral pode ocorrer por uma de três razões: lesão do nervo durante uma ou mais cirurgias comuns, a pressão sobre o nervo de um tumor que cresce ao lado dele, ou inflamação que interrompe o nervo de trabalhar, geralmente atribuída a uma infecção viral. Na paralisia bilateral, os dois lados tem espessura com aspecto reduzido e não conseguem mover-se totalmente para a linha média (Figura 2.8b). Além das três possíveis causas da paralisia unilateral, o que pode

³O nervo laríngeo recorrente se estende do cérebro para baixo do pescoço e no peito antes de virar para cima de volta para a laringe. É chamado de recorrente por conta disso [59].

causar uma paralisia bilateral é um acidente vascular cerebral. A incidência de paralisia de prega vocal unilateral é bem maior que a de bilateral [59].

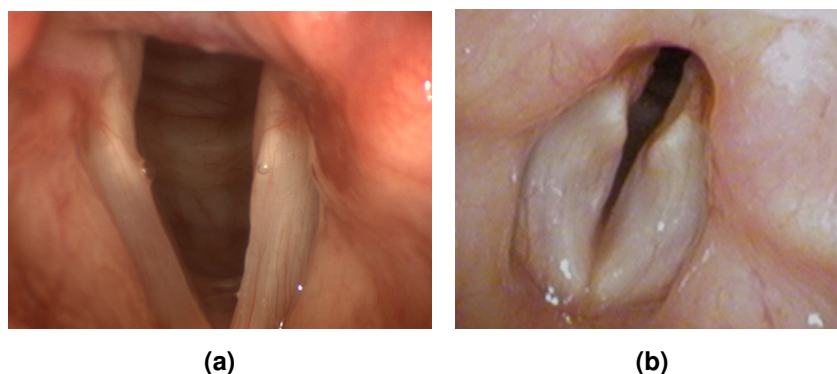


Figura 2.8 – Paralisia nas Pregas Vocais: (a) Unilateral Direita e (b) Bilateral [59].

Além de um fechamento glótico incompleto, podem ser observados na presença de paralisia: diferenças de tensões musculares, resultando em periodicidade aumentada na voz; fluxo aéreo excessivo, notado por soprosidade e/ou rugosidade; afonia (caso de paralisia bilateral severa); fadiga vocal; perda da extensão vocal; entre outros [7, 64].

Paresia nas Pregas Vocais

Paresia pode ser considerada uma paralisia parcial. Assim, paresia de prega vocal se refere a uma prega vocal cujo movimento é prejudicado (mas não ausente – condição de paralisia) por algum dano causado no nervo laríngeo recorrente. Mais comumente, isso acontece como resultado de uma infecção viral de rotina, como um resfriado, apesar de toda a cirurgia, que pode causar paralisia de prega vocal também pode causar paresia. A voz de uma pessoa afetada por paresia pode apresentar rugosidade ou soprosidade. A paresia não é uma patologia severa. Entretanto, pode haver falta de ar e esforço incomum para falar. Além disso, dores durante a fonação podem ser sentidas. Na Figura 2.9 é apresentado um caso de paresia de prega vocal. A seta indica o local em que essa patologia está situada prejudicando a vibração das pregas vocais [59].

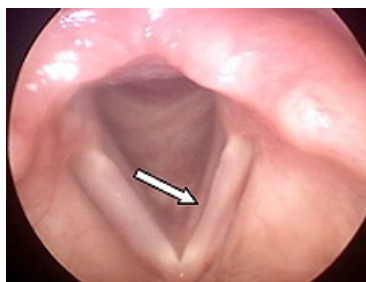


Figura 2.9 – Paresia nas Pregas Vocais [59].

Nesta pesquisa, as patologias levadas em consideração na aplicação da análise de quantificação de recorrência foram: paralisia, edema e nódulos.

2.4 – Avaliação de Distúrbios da Voz

O processo de avaliação de distúrbios da voz funciona como um “quebra-cabeça”. Cada peça precisa ser analisada sob diferentes perspectivas. Existe interrelação entre os sinais fisiológicos, acústicos e perceptivos de um transtorno vocal. Simples posições e movimentos das pregas vocais (fisiologia) criam perturbações na pressão acústica de ar (acústica) que são percebidas na orelha e processadas pelo sistema nervoso (percepção). Assim, a avaliação de distúrbios da voz tem como objetivo inicial identificar os prováveis fatores causais, desencadeantes e mantenedores do distúrbio, descrevendo as características do perfil vocal do indivíduo [5, 7].

Cinco métodos são comumente empregados (em conjunto ou individualmente) para o diagnóstico de distúrbios vocais: autoavaliação, análise visual das pregas vocais, avaliação aerodinâmica, análise perceptivo-auditiva da voz, e análise acústica do sinal de voz [2, 5, 7, 53, 65].

Autoavaliação

Geralmente, um problema vocal é inicialmente identificado pelo paciente a partir de queixas e aspectos relacionados à fonação. Os sintomas de distúrbios da voz nem sempre aparecem isolados, e podem ser classificados [5, 7] como:

- ▣ Rugosidade: alguns pacientes também referem-se a esse sintoma como voz áspera ou rouca. A rugosidade reflete a vibração aperiódica das pregas vocais;
- ▣ Fadiga e esforço vocais: pacientes queixam-se de cansaço ao falar por muito tempo e a necessidade de esforço para continuar falando;
- ▣ Soprosidade: pacientes queixam-se de que não são capazes de pronunciar sentenças completas sem que fiquem sem ar, o qual é emitido em níveis acima do normal durante a produção vocal. Além disso, queixam-se de que não conseguem ser ouvidos em ambientes ruidosos, relatando, também, sensação de garganta seca;
- ▣ Extensão fonatória reduzida: significa a perda de algumas frequências, e é relatado principalmente por cantores que não conseguem atingir determinadas notas;
- ▣ Afonia: paciente fala sussurrando e pode se queixar de garganta ressecada, irritação e muito esforço ao falar, bem como desvios ou quebras de sonorização, representando um descontrole da intensidade vocal;
- ▣ Tremor: paciente relata tremor ou instabilidade na voz. Não se consegue produzir um som estável voluntariamente;
- ▣ Dor e outras sensações físicas desagradáveis: pacientes podem relatar dor na garganta (em um lado ou nos dois), dor que irradia para o peitoral, e, ainda, podem relatar sensação de nó na garganta.

Análise Otorrinolaringológica

A análise otorrinolaringológica constitui-se de procedimentos médicos invasivos que tem por objetivo a investigação da condição da laringe. Em outras palavras, tal análise permite a verificação de mudanças de massa, surgimento de vermelhidões e se o padrão de vibração está alterado (fatores característicos de patologias). Duas técnicas podem ser citadas: a laringoscopia e a estroboscopia [7].

A laringoscopia permite a análise das estruturas da laringe, e pode ser realizada de maneira indireta, direta, ou por meio de fibra óptica flexível. A laringoscopia indireta é a menos invasiva, pois não requer anestesia e não causa traumas ao paciente. Na laringoscopia indireta, a língua do paciente é colocada para fora enquanto um espelho é introduzido na cavidade oral, de modo que possa ser refletida a imagem da laringe. A laringoscopia direta requer que o paciente seja anestesiado, de modo que haja uma avaliação completa da estrutura laríngea. Na laringoscopia direta, cartilagens laríngeas são manipuladas e uma biopsia da lesão pode ser necessária. A laringoscopia por meio de fibra óptica flexível é realizada com um aparelho chamado de fibroscópio⁴, o qual é introduzido na cavidade nasal, permitindo uma análise completa do plano superior da laringe [65].

A estroboscopia, diferentemente da laringoscopia, permite análise da laringe durante a vibração das pregas vocais. Um microfone, normalmente colocado na pele do pescoço que se sobrepõe à laringe, registra a frequência de vozeamento. Ele está ligado a uma luz estroboscópica, que pisca ligeiramente fora de sincronia com essa frequência, oferecendo uma imagem de vídeo da vibração da cobertura da prega vocal, conhecida como a onda mucosa. Uma vez que esta vibração é a fonte de som, estroboscopia é o melhor método para avaliar massas ou irregularidades da prega vocal (em oposição a disfunção neurológica). A estroboscopia é a mais precisa que a laringoscopia para avaliar irregularidades, como pólipos, nódulos, cistos, cicatrizes e outras lesões que afetam a vibração [7, 59].

Avaliação Aerodinâmica

Do ponto de vista da aerodinâmica, a voz é produzida pela modificação do fluxo do ar na sua passagem pela glote e trato vocal. A avaliação aerodinâmica é um método clínico que observa aspectos fisiológicos relacionados à emissão do fluxo de ar que resulta em sinal de voz [7, 10].

Uma fonação normal é tipicamente precedida por uma inalação de ar para os pulmões. No início da fonação, as pregas vocais estão com um nível de tensão apropriada, por meio da atividade muscular laríngea. Medidas aerodinâmicas podem ser interpretadas como o reflexo da atividade “valvular” da laringe, representando a configuração, movimento, estrutura e função das pregas vocais. Entre as medidas de avaliação aerodinâmica, estão o fluxo aéreo e a pressão aérea [10].

⁴Fibroscópio é uma haste de fibras flexíveis, algumas transmitindo luz para o objeto examinado e outras trazendo a imagem de volta para o observador [7].

O fluxo aéreo de uma laringe saudável costuma estar entre 50 e 200 mL/s⁵, aproximadamente, sendo que a medida para homens é maior que para mulheres. A medição costuma ser realizada em um intervalo de 1 a 5 segundos, do qual é extraída uma média do fluxo aéreo. Falantes saudáveis possuem uma pequena quantidade de fluxo aéreo na fase de fechamento das pregas vocais, enquanto que o fluxo aéreo em laringes afetadas por patologias, durante a adução, é maior que o normal. A pressão aérea, durante uma conversação normal, fica em torno de 0,2 e 0,9 kPa⁶. O aumento da pressão aérea pode indicar o funcionamento ineficiente das pregas vocais [7].

Análise Perceptivo-Auditiva da Voz

A análise perceptivo-auditiva da voz é um procedimento realizado por profissionais treinados para avaliar subjetivamente a voz. Geralmente, o paciente relata o histórico dos sintomas do distúrbio da voz ao clínico, que por sua vez mantém contato visual com o paciente de modo a obter informações não apenas audíveis, tais como as expressões e a linguagem corporal. Tosse, pigarros excessivos e pausa vocalizada são alguns dos fatores observáveis [7].

As percepções, nesse método, são subjetivas, individuais e influenciáveis pela preferência pessoal, pela experiência e pela cultura do avaliador. Entre os sinais perceptivos [7], estão:

- ▣ O *pitch* (correlato perceptual da frequência fundamental), com o qual um conjunto de aspectos podem ser observados: monoaltura (variabilidade reduzida de frequência), frequência inadequada, quebras de frequência, e extensão de frequência reduzida;
- ▣ A intensidade da fonação, com a qual podem ser observados: monointensidade (variabilidade reduzida de intensidade), variações de intensidade (suave, alto ou incontrolado), e extensão reduzida de intensidade;
- ▣ A qualidade da voz, que compreende um conjunto de fatores que podem ser observados, tais como rugosidade, sopro, tensão, tremor, voz tensa/estrangulada, quebra de sonoridade, e diplofonia⁷;
- ▣ A afonia, que pode ser consciente (ausência vocal do paciente percebida com um sussurro constante presente) ou ocasional (momentos imprevisíveis de ausência vocal);
- ▣ O estridor, que é um som involuntário que acompanha a inspiração e a expiração.

Um procedimento comum da análise perceptivo-auditiva é a quantificação da avaliação por meio de escalas, com as quais é possível a classificação do grau de severidade dos distúrbios

⁵mL/s significa mililitros por segundo, e é uma unidade de vazão aérea.

⁶kPa significa quilopascal, e é uma unidade de pressão do sistema MQS (metro–quilograma–segundo) [7].

⁷Existe diplofonia quando dois sons distintos são ouvidos simultaneamente durante a fonação [7].

da voz. Além dessa aplicação, escalas são comumente empregadas em análises clínicas para mensurar subjetivamente fenômenos como dor, ansiedade, náusea, fadiga e dispneia [66].

Na literatura relacionada à avaliação de distúrbios da voz por meio de análise perceptivo auditiva, é comum encontrar as seguintes escalas: CAPE-V (*Consensus Auditory-Perceptual Evaluation of Voice*) [67], GRBAS (*Grade, Roughness, Breathiness, Asthenia, Strain*) [68], GRBASI (*Grade, Roughness, Breathiness, Asthenia, Strain, Instability*) [69, 70], e EAV (Escala Analógico-Visual) [66, 71].

Neste trabalho, dois estudos de caso são considerados. Em um deles, a análise acústica é relacionada com a análise perceptivo-auditiva, realizada com a EAV. Essa escala constitui de um intervalo de 100 milímetros, dentro do qual há três pontos de corte definidos a partir de estudos clínicos realizados no Brasil [66].

Os pontos de corte da EAV estão em 35,5 mm, 50,5 mm e em 90,5 mm (Figura 2.10). Caso o profissional, treinado, marque na escala algum valor entre 0 e 35,5 mm, a voz é considerada normal. Valores entre 35,5 e 50,5 mm indicam uma voz com desvio leve. Valores entre 50,5 e 90,5 mm indicam uma voz com desvio moderado. Se o profissional marcar algum valor entre 90,5 e 100 mm, o desvio vocal é considerado intenso [66]. Esses quatro intervalos são denotados como grau 1, grau 2, grau 3 e grau 4, respectivamente.

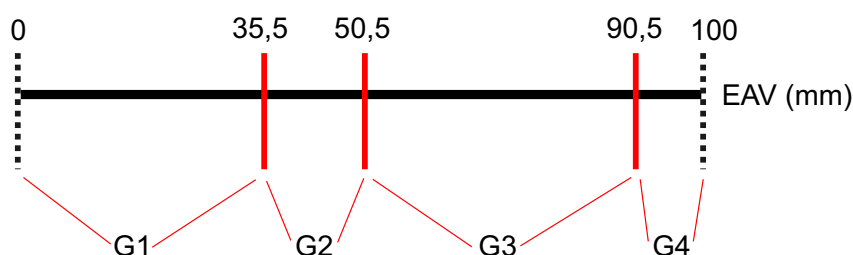


Figura 2.10 – Escala Analógico-Visual (EAV), dada em milímetros. G1 (Grau 1) = Grau normal; G2 (Grau 2) = Grau leve; G3 (Grau 3) = Grau moderado; G4 (Grau 4) = Grau intenso.

Análise Acústica do Sinal de Voz

A análise acústica compreende métodos computacionais, não invasivos, que operam na extração de características do sinal de voz que são inerentes ao sistema de produção vocal. A depender da técnica, a análise acústica pode ser realizada com um microfone (para captação do sinal de voz), um computador (para o processamento do sinal) e um ambiente acusticamente controlado (para garantir a imunidade a ruídos externos) [7].

A utilização de técnicas de análise acústica não trata de eliminar o uso dos exames laringoscópicos, como também não questiona a sua eficiência. No entanto, como muitos pacientes consideram o exame invasivo e, muitas vezes, se recusam a fazê-lo, a análise acústica pode ser utilizada para diminuir o número de exames laringoscópicos. Além disso, a

análise acústica pode ser utilizada para terapia vocal em pessoas com problemas na fala e por profissionais da voz [1,2].

A presença de distúrbios da voz, provocadas por um simples fonotrauma ou por alguma patologia, resulta em alterações no sistema de produção vocal. Com isso, medidas acústicas podem ser obtidas com o objetivo de quantificar as alterações nas pregas vocais, tais como medidas de perturbação de frequência, de amplitude, de energia, medidas baseadas no modelo linear de produção da voz, medidas baseadas em técnicas não lineares, entre outras [2,3].

2.5 – Estado da Arte

Nesta Seção são apresentadas, de forma sucinta, recortes de algumas pesquisas encontradas na literatura que buscam desenvolver novos métodos para dar mais robustez à análise de distúrbios da voz. No Quadro 2.1, são apresentadas informações de pesquisas que relacionam a análise acústica ao diagnóstico por inspeção da laringe. No Quadro 2.2, são apresentadas informações pesquisas que relacionam a análise acústica ao diagnóstico por escuta da voz por meio da análise perceptivo-auditiva.

Quadro 2.1 – Pesquisas realizadas correlacionadas à avaliação de distúrbios da voz por meio de análise acústica.

Autoria	Características Extraídas	Metodologia	Resultados Alcançados
Godino-Llorente <i>et al.</i> [1]	1 - coeficientes cepstrais; 2 - coeficientes delta-cepstrais; 3 - energia.	Base de dados: 53 pacientes saudáveis; 173 pacientes com patologias na laringe. Base da Kay Elemetrics [72]. Classificador baseado em modelos de misturas gaussianas.	Acurácia da classificação: saudável x patologias – 94,07% ± 3,28%.
Jiang <i>et al.</i> [35]	1 - <i>jitter</i> ; 2 - <i>shimmer</i> ; 3 - dimensão de correlação; 4 - entropia de segunda ordem.	Base de dados: 19 pacientes com pólipos vocais. Base construída na pesquisa. Comparação da qualidade vocal antes e depois da cirurgia. Teste estatístico de Mann-Whitney com nível de significância de 5%.	Potencial discriminativo: pré x pós cirurgia – medidas 1, 3 e 4 ($P < 0,001$).
Little <i>et al.</i> [40]	1 - entropia do tempo de recorrência do tipo 1; 2 - fator de escala fractal; 3 - <i>jitter</i> ; 4 - <i>shimmer</i> ; 5 - relação harmônica-ruído; 6 - quociente de perturbação de energia; 7 - quociente de perturbação do <i>pitch</i> ; 8 - excitação do ruído glotal	Base de dados: 53 pacientes saudáveis; 653 pacientes com patologias na laringe. Base da Kay Elemetrics [72]. Classificação com análise discriminante quadrática.	Acurácia da classificação: saudável x patologias – 91,8% ± 2%, com as medidas 1 e 2.

Continuação do Quadro 2.1

Autoria	Características Extraídas	Metodologia	Resultados Alcançados
Costa [2]	Coeficientes de predição linear (LPC – <i>Linear Predictive Coding</i>) e cepstrais.	Base de dados: 53 pacientes saudáveis; 44 casos de edema; 23 casos de outras patologias (nódulos, cistos e paralisia). Base da Kay Elemetrics [72]. Pré-classificação paramétrica e modelagem estatística por meio de modelos de Markov escondidos de densidades discretas.	Acurácia da classificação: saudável x edema – 100%; edema x outras patologias – 96%. OBS: sem validação cruzada.
Zhang e Jiang [36]	1 - <i>jitter</i> ; 2 - <i>shimmer</i> ; 3 - relação sinal-ruído; 4 - dimensão de correlação; 5 - entropia de segunda ordem.	Base de dados: 23 pacientes saudáveis; 23 pacientes com patologias laringeas. Base construída na pesquisa. Análise com vogal sustentada e fala contínua. Teste estatístico de Mann-Whitney com nível de significância de 5%.	Potencial discriminativo: saudável x patologias (vogal sustentada) – todas as medidas ($P < 0,001$); saudável x patologias (fala contínua) – medidas 3, 4 e 5 ($P < 0,001$).
Fonseca e Pereira [73]	<i>jitter</i> , extraído de sub-bandas de coeficientes wavelet.	Base de dados: 30 pacientes saudáveis; 25 casos de nódulos; 16 casos de edema. Base construída na pesquisa. Classificação com máquinas de vetor de suporte.	Acurácia da classificação: saudável x patologias – 88,2%; saudável x edema – 85,3%; saudável x nódulos – 90%; edema x nódulos – 82,4%. OBS: sem validação cruzada.
Arias-Lodoño [45]	1 - entropia aproximada; 2 - entropia da amostra; 3 - entropia aproximada de kernel gaussiano; 4 - entropia do processo de Markov; 5 - entropia empírica; 6 - entropia de Rényi.	Base de dados: 53 pacientes saudáveis; 173 pacientes com patologias na laringe. Base da Kay Elemetrics [72]. Classificador baseado em modelos de Markov escondidos de densidades discretas.	Acurácia da classificação: saudável x patologias – 88,84%, com a medida 6. OBS: sem validação cruzada.
Arias-Lodoño <i>et al.</i> [74]	1 - Coeficientes mel-cepstrais; 2 - energia de ruído normalizada; 3 - relação harmônica-ruído; 4 - excitação do ruído glotal; 5 - maior expoente de Lyapunov; 6 - dimensão de correlação; 7 - entropia aproximada; 8 - entropia da amostra; 9 - entropia aproximada de kernel gaussiano; 10 - entropia da amostra de kernel gaussiano; 11 - entropia do processo de Markov; 12 - entropia empírica; 13 - entropia de Rényi; 14 - entropia de Kolmogorov-Sinai. 15 - entropia do tempo de recorrência do tipo 1.	Base de dados: 53 pacientes saudáveis; 173 pacientes com patologias na laringe. Base da Kay Elemetrics [72]. Combinação de classificadores baseados em modelos de misturas gaussianas e máquinas de vetor de suporte.	Acurácia da classificação: saudável x patologias – 98,23% \pm 0,001%.

Continuação do Quadro 2.1

Autoria	Características Extraídas	Metodologia	Resultados Alcançados
Vaziri <i>et al.</i> [46]	1 - Quociente de perturbação de amplitude; 2 - quociente de perturbação de frequência; 3- dimensão de correlação; 4 - maior expoente de Lyapunov; 5 - entropia aproximada; 6 - dimensão fractal; 7 - medida de Ziv-Lempel.	Base de dados: 51 pacientes saudáveis; 112 casos de patologias laringeas. Base construída na pesquisa. Classificação com máquinas de vetor de suporte.	Acurácia da classificação: saudável x patologias – 94,44% (melhor desempenho com a medida 3). OBS: sem validação cruzada.
Henríquez <i>et al.</i> (parte 1) [37]	1 - entropia de Rényi de primeira ordem; 2 - entropia de Rényi de segunda ordem; 3 - entropia de segunda ordem; 4 - dimensão de correlação; 5 - entropia de Shannon; 6 - primeiro mínimo da função de informação mútua média.	Base de dados: 53 pacientes saudáveis; 173 pacientes com patologias na laringe. Base da Kay Elemetrics [72]. Classificação com redes neurais <i>multilayer perceptron</i> .	Acurácia da classificação: saudável x patologias – 99,69% ± 0,2%.
Wang <i>et al.</i> [47]	Coeficientes mel-cepstrais.	Base de dados: 53 pacientes saudáveis; 173 casos de patologias laringeas. Base da Kay Elemetrics [72]. Classificação com modelos de misturas gaussianas e máquinas de vetor de suporte.	Acurácia da classificação: saudável x patologias – 96,1% ± 2,51%.
Tavares <i>et al.</i> [75]	1 - Coeficientes cepstrais; 2 - coeficientes delta cepstrais; 3 - coeficientes cepstrais ponderados; 4 - coeficientes delta cepstrais ponderados;	Base de dados: 53 pacientes saudáveis; 44 casos de edema; 55 casos de paralisia. Base da Kay Elemetrics [72]. Classificação com distância média de mínimos quadrados.	Acurácia da classificação: saudável x edema – 97% (medidas 1, 3 e 4 combinadas); saudável x paralisia – 87% (medidas 1 e 2 combinadas). OBS: sem validação cruzada.
Vieira <i>et al.</i> [27]	1 - Coeficientes cepstrais; 2 - coeficientes delta cepstrais; 3 - coeficientes cepstrais ponderados; 4 - coeficientes delta cepstrais ponderados; 5 - entropia de Shannon; 6 - entropia relativa; 7 - entropia de Tsallis.	Base de dados: 53 pacientes saudáveis; 44 casos de edema; 55 casos de paralisia. Base da Kay Elemetrics [72]. Classificação com distância média de mínimos quadrados.	Acurácia da classificação: saudável x edema – 98% (medidas 1, 2, 3 e 5 combinadas); saudável x paralisia – 99% (medidas 1 e 6 combinadas). OBS: sem validação cruzada.
Lima <i>et al.</i> [76]	Parâmetro de Hurst por: 1 - estatística R/S; 2 - método de Higuchi; 3 - método da variância no tempo.	Base de dados: 53 pacientes saudáveis; 44 casos de edema; 52 casos de paralisia. Base da Kay Elemetrics [72]. Classificação com análise discriminante linear	Acurácia da classificação: saudável x patologias – 94,92% saudável x paralisia – 98,39% (ambas com método 3); saudável x edema – 90,10% (método 2). OBS: sem validação cruzada.

Continuação do Quadro 2.1

Autoria	Características Extraídas	Metodologia	Resultados Alcançados
Arjmandi e Pooyan [77]	energia e entropia de Shannon dos coeficientes da transformada Wavelet.	Base de dados: 53 pacientes saudáveis; 63 casos de patologias laringeas. Base da Kay Elemetrics [72]. Classificadores empregados: 1 - Análise de componentes principais; 2 - análise discriminante linear; 3 - análise discriminante quadrática; 4 - <i>K-nearest neighbors</i> ; 5 - <i>Nearest mean classifier</i> ; 6 - <i>Parzen classifier</i> ; 7 - redes neurais <i>multilayer perceptron</i> ; 8 - máquinas de vetor de suporte.	Acurácia da classificação: saudável x patologias (com energia) – 99%; saudável x patologias (com entropia) – 100%; (ambas com classificadores 2 e 8). OBS: sem validação cruzada.
Costa [3]	1 - Dimensão de correlação; 2 - entropia de correlação; 3 - entropia de Shannon; 4 - entropia aproximada; 5 - entropia de Tsallis; 6 - maior expoente de Lyapunov; 7 - primeiro mínimo da função de informação mútua; 8 - expoente de Hurst; 9 - determinismo; 10 - comprimento máximo das linhas diagonais; 11 - entropia de Shannon da distribuição das linhas diagonais; 12 - tendência; 13 - laminaridade; 14 - tempo de permanência; 15 - comprimento máximo das linhas verticais; 16 - coeficientes LPC.	Base de dados: 53 pacientes saudáveis; 55 casos de paralisia; 44 casos de edema; 18 casos de nódulos. Base da Kay Elemetrics [72]. Classificação com análise e discriminante linear (LDA) análise discriminante quadrática (QDA).	Acurácia da classificação: saudável x patologias – 98,11% ± 0,43% (LDA); saudável x paralisia – 97,74% ± 1,10% (LDA); saudável x edema – 99,72% ± 0,27% (QDA); saudável x nódulos – 99,95% ± 0,15% (QDA); paralisia x edema – 99,88% ± 0,25% (QDA); paralisia x nódulos – 99,92% ± 0,26% (QDA); edema x nódulos – 99,86% ± 0,31% (QDA). OBS: principais resultados.
Salhi e Cherif [48]	1 - Frequência fundamental; 2 - taxa de cruzamentos por zero; 3 - log da energia; 4 - coeficientes mel-cepstrais; 5 - coeficientes delta mel-cepstrais; 6 - coeficientes PLP (<i>Perceptual Linear Prediction</i>); 7 - RASTA-PLP (<i>RelAtive SpecTrAl</i> - PLP)	Base de dados: 5 pacientes saudáveis e 15 casos de patologias laringeas. Base construída na pesquisa. Classificação com redes neurais <i>multilayer perceptron</i> ;	Acurácia da classificação: saudável x patologias – 90,38% OBS: sem validação cruzada.
Correia <i>et al.</i> [78]	energia dos coeficientes da transformada Wavelet.	Base de dados: 53 pacientes saudáveis; 44 casos de edema; 18 casos de nódulos. Base da kay Elemetrics [72]. Classificação com análise discriminante quadrática.	Acurácia da classificação: saudável x edema – 95% ± 7,07%; saudável x nódulos – 97,32% ± 5,66%. OBS: principais resultados.

Quadro 2.2 – Pesquisas realizadas correlacionadas à avaliação de distúrbios da voz por meio de análise acústica em conjunto com análise perceptivo-auditiva.

Autoria	Características Extraídas	Metodologia	Resultados Alcançados
Wertzner <i>et al.</i> [79]	1 - Frequência fundamental (F_0); 2 - <i>jitter</i> ; 3 - <i>shimmer</i> ; 4 - intensidade.	Base de dados: 20 crianças com voz considerada normal; 20 crianças com distúrbios vocais. Análise perceptivo-auditiva com o teste de linguagem infantil ABFW (Andrade, Befi-Lopes, Fernandes, Wertzner) [80]. Base construída na pesquisa. Teste estatístico de Mann-Whitney com nível de significância de 5%.	Potencial discriminativo: frequência fundamental ($P < 0,001$) e intensidade ($P = 0,002$). OBS: Principais resultados com o nível de significância P .
Bonastre <i>et al.</i> (parte 1) [81]	1 - Frequência fundamental (F_0); 2 - maior e 3 - menor F_0 possível; 4 - expoente de Lyapunov; 5 - pressão supraglótica; 6 - fluxo de ar; 7 - relação sinal-ruído; 8 - intensidade; 9 - máximo tempo de fonação.	Base de dados: 58 pacientes saudáveis; 391 casos de patologias laringeas. Base construída na pesquisa. Análise perceptivo-auditiva realizada com a escala GRBAS. Classificação realizada com análise discriminante.	Acurácia da classificação: 82% de concordância entre análise acústica e análise perceptivo-auditiva. OBS: sem validação cruzada.
Bonastre <i>et al.</i> (parte 2) [81]	Coefficientes mel-cepstrais.	Base de dados: 40 mulheres sem distúrbios da voz; 40 mulheres com distúrbios da voz. Base construída na pesquisa. Análise perceptivo-auditiva realizada com a escala GRBAS. Classificação realizada com modelos de misturas gaussianas.	Acurácia da classificação: 69% de concordância entre análise acústica e análise perceptivo-auditiva. OBS: sem validação cruzada.
Henríquez <i>et al.</i> (parte 2) [37]	1 - entropia de Rényi de primeira ordem; 2 - entropia de Rényi de segunda ordem; 3 - entropia de segunda ordem; 4 - dimensão de correlação; 5 - entropia de Shannon; 6 - primeiro mínimo da função de informação mútua média.	Base de dados: 85 pacientes saudáveis; 57 pacientes com patologias na laringe. Base construída no hospital espanhol "Doctor Negrín" [82]. Análise perceptivo-auditiva realizada com a escala GRBAS. Classificação com redes <i>multilayer perceptron</i> .	Acurácia da classificação: saudável x patologias – 82,47% \pm 3,1%.
Torres <i>et al.</i> [83]	densidade espectral de potência.	Base de dados: 400 sinais sintetizados (200 sinais de vozes sem distúrbios e 200 sinais de vozes com distúrbios); 53 sinais de pacientes saudáveis e 53 sinais de pacientes com distúrbios da voz (sinais reais). Base construída na pesquisa. Análise perceptivo-auditiva para descrever os sinais reais. Classificação com <i>K-nearest neighbors</i> .	Acurácia da classificação: 99% de concordância para sinais sintetizados; 93% de concordância para sinais reais. OBS: sem validação cruzada.

Continuação do Quadro 2.2

Autoria	Características Extraídas	Metodologia	Resultados Alcançados
Oliveira <i>et al.</i> [84]	1 - Frequência fundamental (F_0); 2 - quociente de perturbação de frequência; 3 - quociente de perturbação de amplitude; 4 - relação harmônica-ruído.	Base de dados: 44 crianças sem distúrbios da voz e 26 crianças com distúrbios da voz. Base construída na pesquisa. Análise perceptivo-auditiva realizada com a escala GRBASI. Teste estatístico <i>t-student</i> com nível de significância de 5%.	Potencial discriminativo: medidas 2, 3 e 4 (todas com $P=0,001$).
Uloza <i>et al.</i> [85]	1 - medidas de frequência; 2 - medidas de perturbação de amplitude e 3 - de frequência; 4 - coeficientes mel-cepstrais; 5 - energia espectral; 6 - medidas de autocorrelações; 7 - relação harmônico-ruído no domínio espectral; 8 - relação harmônico-ruído no domínio cepstral; 9 - coeficientes LPC; 10 - coeficientes da transformada do cosseno de predição linear.	Base de dados: 69 pacientes saudáveis; 79 casos de patologias laringeas. Base construída na pesquisa. Análise perceptivo-auditiva realizada para classificar os sinais. Classificação com as medidas de análise acústica realizada com algoritmos genéticos e máquinas de vetor de suporte.	Acurácia da classificação: 92,6% com análise acústica; 79,3% com análise perceptivo-auditiva.
Solomon <i>et al.</i> [86]	1 - <i>jitter</i> ; 2 - <i>shimmer</i> ; 3 - relação harmônica-ruído; 4 - proeminência de pico cepstral; 5 - relação entre energia espectral alta e baixa; 6 - desvio padrão da relação entre energia espectral alta e baixa; 7 - desvio padrão da proeminência de pico cepstral.	Base de dados: 70 adultos em tratamento após tireoidectomia (remoção cirúrgica da glândula tireoide [52]). Base construída na pesquisa. Análise perceptivo-auditiva realizada com a escala CAPE-V; Teste estatístico RM-ANOVA com correção de Bonferroni e nível de significância de 0,007, a fim de identificar diferenças entre os sinais de voz dos pacientes duas semanas, três meses e seis meses após a cirurgia.	Potencial discriminativo: medidas: 2 ($P=0,003$), 3 e 4 (ambas com $P<0,001$).
Simões-Zenari <i>et al.</i> [87]	1 - Frequência fundamental; 2 - excitação do ruído glotal. 3 - ruído.	Base de dados: 50 crianças sem distúrbios da voz e 50 crianças com distúrbios da voz. Base construída na pesquisa. Análise perceptivo-auditiva realizada com a escala GRBAS. Teste estatístico de Mann-Whitney com nível de significância de 5%.	Potencial discriminativo: Todas as três medidas ($P<0,001$).
Lopes <i>et al.</i> [71]	1 - Média e 2 - desvio-padrão da frequência fundamental (F_0); 3 - <i>jitter</i> ; 4 - <i>shimmer</i> ; 5 - excitação do ruído glotal.	Base de dados: 9 crianças sem distúrbios da voz; 60 crianças com grau leve de distúrbio vocal; 2 crianças com grau moderado de distúrbio da voz. Base construída na pesquisa. Análise perceptivo-auditiva realizada com a escala EAV. teste estatístico de Kruskal-Wallis com nível de significância de 5%.	Potencial discriminativo: medidas: 1 ($P=0,001$), 2 ($P=0,002$), 4 ($P=0,003$) e 5 ($P<0,001$).

Dentre as pesquisas encontradas na literatura, algumas realizam apenas análise estatística com as medidas de análise acústica. E, nem todas as pesquisas que realizaram classificação utilizaram validação cruzada, que é um procedimento em que são variados os conjuntos de treino e teste do classificador com os sinais da base de dados.

Algumas dessas pesquisas se baseiam no modelo linear de produção da voz, outras em medidas oriundas da análise dinâmica não linear. Há, ainda, técnicas híbridas, contendo medidas de ambos os métodos, além das pesquisas que fazem uso de medidas tradicionais como frequência fundamental, *jitter* e *shimmer*. Além disso, não foi encontrada na literatura nenhuma pesquisa que relacione as medidas de quantificação de recorrência (método empregado neste trabalho) à análise acústica de vozes infantis.

2.6 – Discussão

Distúrbios da voz são consequências de alterações no sistema de produção vocal. Essas alterações podem decorrer de patologias ou de fatores não patológicos, tais como o uso inadequado da voz. Além disso, comportamentos abusivos podem agravar a situação patológica, seja o dano orgânico ou neurológico.

Embora exista mais de um método de avaliação de distúrbios da voz, quanto mais completa a análise da voz mais preciso pode ser o tratamento. Por outro lado, nem sempre é possível ter acesso a todos os tipos de exames e tratamentos. A análise acústica pode ser uma ferramenta de auxílio a outros métodos, como a avaliação otorrinolaringológica e a avaliação perceptivo-auditiva.

Diversas pesquisas têm buscado novas medidas de análise acústica que tenham mais precisão no diagnóstico dos distúrbios vocais. O principal objetivo é que as medidas identifiquem, a partir do sinal de voz, o comportamento do sistema de produção vocal quando saudável ou alterado.

Neste trabalho, a análise acústica é empregada de acordo com outros dois métodos: a análise otorrinolaringológica das pregas vocais e a análise perceptivo-auditiva. Na primeira abordagem, a análise acústica é associada ao diagnóstico da laringe, no objetivo de investigar a discriminação entre sinais de pacientes saudáveis e sinais de pacientes com patologias laríngeas (paralisia, edema e nódulos). Na outra abordagem, a análise acústica é associada ao diagnóstico da voz (perceptivo-auditiva), em que é investigado a discriminação entre os graus de intensidade do distúrbio vocal em crianças.

A técnica de análise acústica proposta neste trabalho é baseada na Análise de Quantificação de Recorrência, descrita no capítulo seguinte.

Análise de Quantificação de Recorrência

3.1 – Introdução

Neste trabalho, para avaliação de distúrbios vocais, é empregada a análise de quantificação de recorrência. No presente Capítulo são apresentados os fundamentos teóricos desse método.

A ideia de recorrência surgiu no século XIX, com o desenvolvimento da matemática moderna. A recorrência é uma propriedade de muitos sistemas dinâmicos dissipativos [88]. Poincaré [89] lançou o Teorema da Recorrência, no qual certifica que, para um conjunto grande de sistemas dinâmicos, as trajetórias retornam infinitas vezes arbitrariamente próximas a quase todos os pontos iniciais, formando um conjunto infinito de instantes de retorno [90]. A palavra recorrência é derivada do latim *recurrence* e significa retorno, repetição.

A análise de quantificação de recorrência constitui de um método de análise subjetiva (gráficos de recorrência) e de um método de análise objetiva (medidas de quantificação de recorrência). Antes de apresentar esses métodos, se faz necessária uma breve descrição do que vem a ser um sistema dinâmico e um espaço de fase.

3.2 – Sistemas Dinâmicos e Espaço de Fase

Um sistema dinâmico pode ser definido como um modelo matemático, comumente empregado em sistemas físicos, biológicos, financeiros, entre outros [91, 92]. A dinâmica dos sistemas é caracterizada por estados (grandezas) que mudam com o tempo [93].

A quantidade de variáveis de estado corresponde à dimensão do sistema dinâmico, ou seja, ao número de graus de liberdade do sistema [91, 92]. A partir das variáveis de estado, pode-se investigar o comportamento da dinâmica dos sistemas, por meio do chamado espaço de fase.

Espaço de fase (ou espaço de estados) é um espaço abstrato que representa a evolução do sistema dinâmico, cujas dimensões são as variáveis de estado. Cada estado do sistema representa um ponto nesse espaço (uma solução do modelo matemático). A sequência de estados constitui a trajetória do espaço de fase, a qual também pode ser chamada de atrator [91-93]. Na Figura 3.1 é apresentado um exemplo de espaço de fase. Os N estados do

sistema estão distribuídos ao longo da trajetória no espaço bidimensional, das grandezas $y(t)$ e $x(t)$, em que t representa o tempo. É retratada a evolução temporal dessas grandezas, com estado inicial $\vec{\xi}_1$ e estado final $\vec{\xi}_N$.

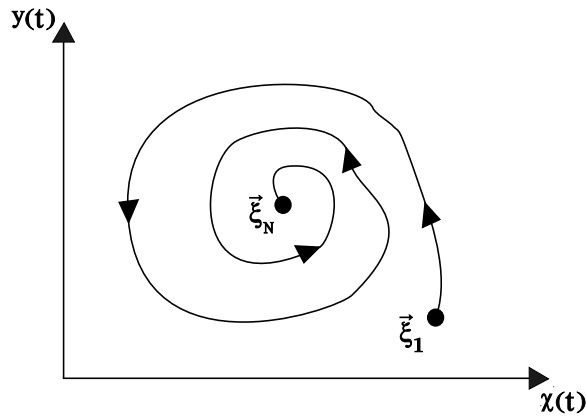


Figura 3.1 – Trajetória no espaço de fase bidimensional de um sistema dinâmico arbitrário.

Um exemplo de sistema dinâmico é o sistema de Lorenz [94]. Tal sistema é empregado nas ciências atmosféricas, mais precisamente na previsão meteorológica [93]. O sistema de Lorenz constitui de três graus de liberdade:

$$\begin{aligned}\frac{dx(t)}{dt} &= -\sigma x(t) + \sigma y(t); \\ \frac{dy(t)}{dt} &= -x(t)z(t) + rx(t) - y(t); \\ \frac{dz(t)}{dt} &= x(t)y(t) - bz(t),\end{aligned}\tag{3.1}$$

em que $x(t)$, $y(t)$ e $z(t)$ são as variáveis de estado, e σ , r e b são parâmetros de controle [91]. O atrator de Lorenz para uma solução do sistema é apresentado na Figura 3.2.

Geralmente, nem todas as variáveis do sistema podem ser observáveis, e no caso de séries temporais, tais como sinais de voz, estas apresentam a evolução no tempo de apenas uma variável de estado, $x(t)$, representando a trajetória do espaço de fase do sistema dinâmico. Dessa forma, a análise do comportamento dos sistemas dinâmicos pode ser realizada por meio de técnicas de reconstrução do espaço de fase [92].

Na reconstrução da dinâmica de um sistema, as variáveis, até então intrínsecas, são projetadas. A ideia é que a série temporal contém informações sobre as variáveis de estado não observáveis que podem ser usadas para prever um estado presente [92]. Um método comumente utilizado para essa reconstrução é baseado no teorema de imersão de Takens [95],

o qual permite reconstruir um espaço de estados m -dimensional similar ao espaço de estados original, d -dimensional¹, a partir da variável medida, $x(t)$ [92].

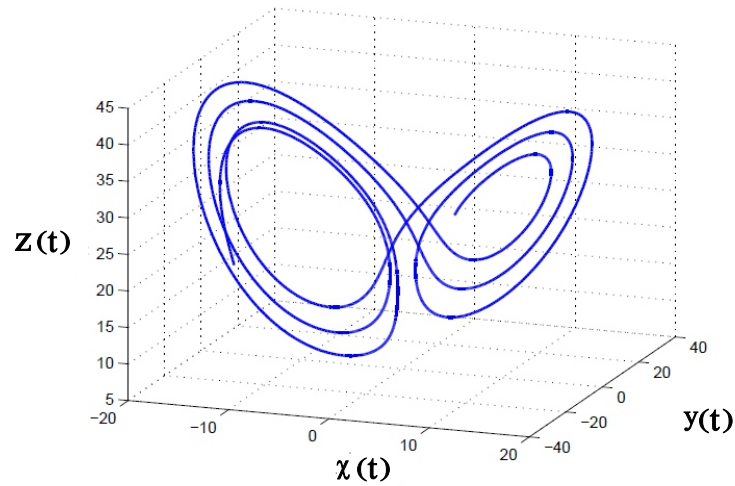


Figura 3.2 – Atrator de Lorenz com parâmetros $\sigma = 10$, $r = 28$ e $b = 8/3$ (Adaptado de [96]).

Com o método de Takens, são construídos N vetores $\vec{\xi}_i$, m -dimensionais a partir da série temporal $x(t)$ de tamanho T , e de suas $m-1$ versões defasadas no tempo,

$$\vec{\xi}_i = \{x(t_i), x(t_i + \tau), \dots, x(t_i + (m-1)\tau)\}, \quad (3.2)$$

em que m é a chamada dimensão de imersão, τ é o passo de reconstrução ou tempo de defasagem, e $i = 1, 2, \dots, T$.

A quantidade N de estados $\vec{\xi}_i$, a partir do teorema de Takens, é dada por:

$$N = T - (m-1)\tau. \quad (3.3)$$

3.2.1 – Determinação da Dimensão de Imersão

Considerações teóricas estabelecem que a dimensão de imersão, m , deve respeitar a condição $m \geq 2d + 1$, em que d é a dimensão fractal do atrator [97]. Como nem sempre se sabe qual a dimensão fractal, tornando difícil a aplicação da relação entre m e d , recorre-se a duas hipóteses: uma é a investigação do comportamento do sistema quando se aumenta gradativamente a dimensão de imersão. A outra é através de um método o qual encontra os chamados “falsos vizinhos”, no qual é alterado gradativamente o valor de m e constatado quais os pontos que se distanciam (vizinhos verdadeiros sempre permanecem vizinhos) [91]. Neste trabalho é considerado o método dos “falsos vizinhos”, em que a dimensão de imersão ideal é considerada como sendo o menor valor para o qual se tenha o menor percentual de falsa vizinhança.

¹ d é a dimensão fractal, que representa a dimensão real do espaço de estados.

3.2.2 – Determinação do Passo de Reconstrução

Para encontrar o passo de reconstrução, τ , é comum a utilização do método da informação mútua média [98], que é baseado na teoria da informação. Segundo esse método, pode-se garantir a reconstrução de vetores com o menor nível de informação redundante (linearmente independentes), mas, ainda, correlacionados. A teoria da informação procura identificar o quanto de informação se pode ter de uma medida realizada em um determinado instante de tempo t , quando se observa outra medida, do mesmo sinal, em um tempo posterior $t + \tau$ [91].

A informação mútua média entre $x(t)$ e sua versão defasada $x(t + \tau)$ é obtida a partir de um histograma de b intervalos de classe (*bins*), criado para estimar a distribuição de probabilidade dos dados do sinal $x(t)$:

$$I(\tau) = \sum_{i=1}^b \sum_{j=1}^b P_{i,j}(x(t), x(t + \tau)) \log_2 \left[\frac{P_{i,j}(x(t), x(t + \tau))}{P_i(x(t))P_j(x(t + \tau))} \right], \quad (3.4)$$

em que $P_i(x(t))$ é a probabilidade de que o sinal $x(t)$ assuma um valor dentro do i -ésimo intervalo do histograma, $P_j(x(t + \tau))$ é a probabilidade de que $x(t + \tau)$ esteja no j -ésimo intervalo e $P_{i,j}(x(t), x(t + \tau))$ é a probabilidade de que, simultaneamente, $x(t)$ esteja no i -ésimo intervalo e $x(t + \tau)$ no j -ésimo intervalo [99]. O tempo de defasagem, então, é o valor de τ para o qual a função de informação mútua média atinge seu primeiro mínimo local [98].

3.3 – Gráficos de Recorrência

Baseados no Teorema de Poincaré, Eckmann *et al.* [100], em 1987, desenvolveram uma ferramenta chamada Gráfico de Recorrência (*RP – Recurrence Plot*), utilizada nos dias de hoje, para revelar propriedades dinâmicas de sistemas tanto estacionários quanto não estacionários [88].

Os Gráficos de Recorrência permitem uma análise bidimensional do comportamento de sistemas dinâmicos unidimensionais ou multidimensionais. É uma vantagem em relação à análise visual do espaço de fase, que apesar de poder ser multidimensional, permite apenas uma visualização de sua trajetória em até três dimensões (limitação do olho humano) [91, 101]. A informação contida em um gráfico de recorrência é se há ou não retorno na trajetória do espaço de fase (Figura 3.3).

Por definição, o Gráfico de Recorrência de uma série temporal de T pontos $x(t)$, em que t é o índice temporal, é uma matriz quadrada de ordem N , em que N é o número de vetores (estados do sistema) de dimensão m , preenchida por pontos brancos e pretos. O ponto preto, chamado de ponto recorrente, é colocado na matriz de recorrência com coordenadas i e j somente se o estado $\vec{\xi}_i$ for suficientemente próximo ao estado $\vec{\xi}_j$, ou seja, se a distância entre o

estado corrente do sistema e o estado a ser comparado for menor que certa distância (raio) ε , fixada no centro do estado corrente [100].

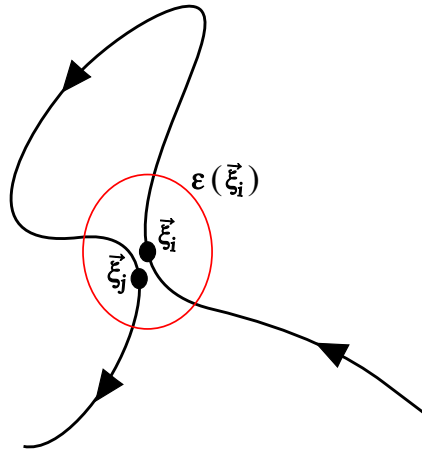


Figura 3.3 – Trajetória no espaço de fase de um sistema dinâmico arbitrário. O estado ξ_j passa na vizinhança ε de ξ_i , sendo assim um ponto recorrente.

Uma definição alternativa comumente utilizada para o Gráfico de Recorrência é dada por [50]:

$$\mathcal{R}_{i,j}^{m,\varepsilon} = \Theta(\varepsilon - \|\xi_i - \xi_j\|), \quad \xi_i \in R^m, \quad i, j = 1 \dots N, \quad (3.5)$$

em que:

- ▣ N é o número de estados ξ_i considerados;
- ▣ ε é o raio da vizinhança (*threshold*) no ponto ξ_i ;
- ▣ $\|\cdot\|$ é a norma da vizinhança, comumente a norma euclidiana;
- ▣ $\Theta(\cdot)$ é a função de degrau unitário;
- ▣ m é a dimensão de imersão (graus de liberdade).

Uma interpretação para a Equação 3.5 é a seguinte: com os estados do sistema formados, é calculada a distância entre eles, por meio de alguma norma (geralmente a norma Euclidiana). A partir daí, é formada a chamada Matriz Distância, onde seus elementos podem ser re-escalonados ou não. Conhecendo os valores das distâncias entre os vetores formados, aplica-se o raio de vizinhança para estabelecer o limiar que define os pontos recorrentes a serem esboçados no gráfico. A função de degrau unitário transforma a Matriz Distância em Matriz de Recorrência. Se $\mathcal{R}_{i,j}^{m,\varepsilon} = 1$, o estado é dito recorrente e como consequência, um ponto preto é marcado no RP. Caso $\mathcal{R}_{i,j}^{m,\varepsilon} = 0$, significa que o estado é não recorrente e um ponto branco é inserido no RP [50].

O raio de vizinhança é um parâmetro crucial no gráfico de recorrência e sua escolha requer atenção. Se for escolhido um valor muito pequeno, quase nenhum ponto recorrente pode ser observado e pouca informação a respeito da estrutura recorrente do sistema dinâmico é obtida. Se for escolhido um valor muito alto, falsas recorrências podem ser detectadas [88]. Na literatura, alguns métodos para obtenção do raio de vizinhança são sugeridos, dentre os quais podem ser citados os seguintes:

1. Em relação ao diâmetro do espaço de fase – o raio de vizinhança é escolhido como um pequeno percentual do máximo diâmetro do espaço de fase (por exemplo, 10%) [102];
2. Em relação à taxa de recorrência – o raio de vizinhança é escolhido como sendo aquele que mantém a taxa de recorrência (Equação 3.7) em um pequeno percentual, garantindo, assim, que o mínimo de informação sobre a recorrência do sistema dinâmico seja obtida [103].
3. Em relação ao desvio padrão do ruído – método indicado em análises de séries temporais afetadas por ruídos conhecidos. O raio é escolhido como sendo, pelo menos, cinco vezes o valor do desvio padrão do ruído observado ($\varepsilon > 5\sigma$) [104].

Neste trabalho, a metodologia empregada (Capítulo 4) leva em consideração a obtenção do raio de vizinhança em relação à taxa de recorrência.

3.3.1 – Formação de Estruturas nos Gráficos de Recorrência

A formação de estruturas nos gráficos de recorrência é um aspecto inerente de cada sistema dinâmico. A distribuição dos pontos recorrentes pode ser analisada por meio de inspeção visual a partir de três elementos: pontos isolados, linhas diagonais, e linhas verticais/horizontais [88, 101].

Um ponto recorrente ocorre quando um estado passa suficientemente próximo a outro estado, como mostrado na Figura 3.3. Se esse retorno foi um caso isolado, esse estado recorrente é um estado raro e pode ter ocorrido aleatoriamente [88].

A formação de uma linha diagonal no gráfico de recorrência representa a evolução dos estados do sistema dinâmico de forma paralela [101]. Um exemplo de formação de linha diagonal é apresentado na Figura 3.4. Dada uma trajetória no espaço de fase de um sistema dinâmico arbitrário (Figura 3.4a), e observando, em detalhe, o trecho no qual há um retorno dessa trajetória (Figura 3.4b), pode ser visto que, no raio de vizinhança ε de cada um dos estados consecutivos $\vec{\xi}_2$, $\vec{\xi}_3$ e $\vec{\xi}_4$, há recorrência com os estados $\vec{\xi}_7$, $\vec{\xi}_8$ e $\vec{\xi}_9$, respectivamente. Essa evolução paralela é retratada no gráfico de recorrência (Figura 3.4c) com uma estrutura diagonal. Devido à simetria do gráfico de recorrência, a estrutura diagonal aparece tanto na diagonal superior quanto na diagonal inferior. A diagonal principal é totalmente preenchida por pontos pretos (pontos recorrentes) pois reflete o cálculo da distância entre um estado e ele mesmo, o que sempre será igual a zero e, por consequência, menor que o raio de vizinhança estabelecido.

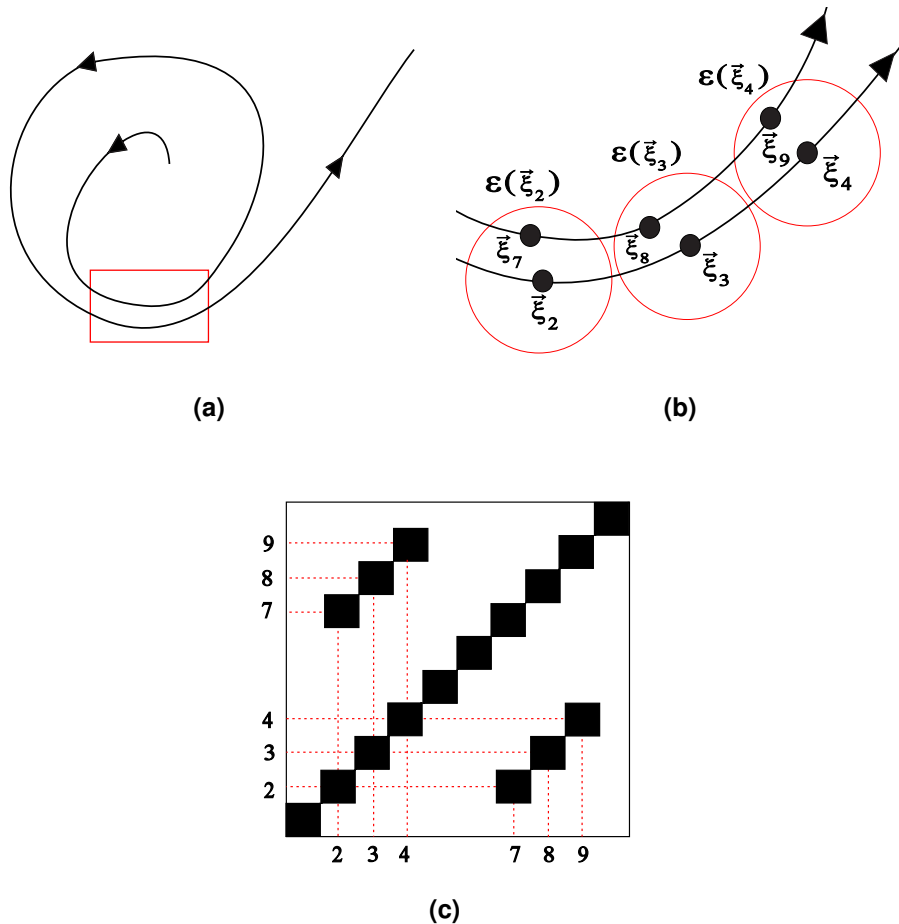


Figura 3.4 – Formação de uma estrutura diagonal no gráfico de recorrência: (a) Espaço de fase; (b) Detalhe do espaço de fase; (c) Gráfico de recorrência obtido.

A formação de uma linha vertical/horizontal no gráfico de recorrência retrata estados que não evoluem ou evoluem lentamente, indicando a presença de estados laminares (comportamento caótico) [88, 101, 105, 106]. Um exemplo de formação de linha vertical/horizontal é apresentado na Figura 3.5. Dado uma trajetória no espaço de fase de um sistema dinâmico arbitrário (Figura 3.5a), e observando, em detalhe, o trecho no qual há estados “presos” dentro do raio de vizinhança do estado anterior (Figura 3.5b). Ou seja, os estados $\vec{\xi}_3$, $\vec{\xi}_4$ e $\vec{\xi}_5$ estão no raio de vizinhança ε do estado $\vec{\xi}_2$. Dessa forma, aparece no gráfico de recorrência (Figura 3.5c) uma estrutura vertical/horizontal (vertical na diagonal superior e horizontal na diagonal inferior, ou vice-versa).

Embora cada sistema dinâmico apresente sua própria formação de estruturas no gráfico de recorrência, algumas dessas estruturas são comuns para alguns tipos de sistema. O entendimento da formação de estruturas nos gráficos de recorrência pode partir do conhecimento de como são distribuídos os pontos recorrentes em sinais conhecidos, tais como um sinal constante, um sinal senoidal, uma onda quadrada, um sinal amortecido, entre outros, apresentados a seguir.

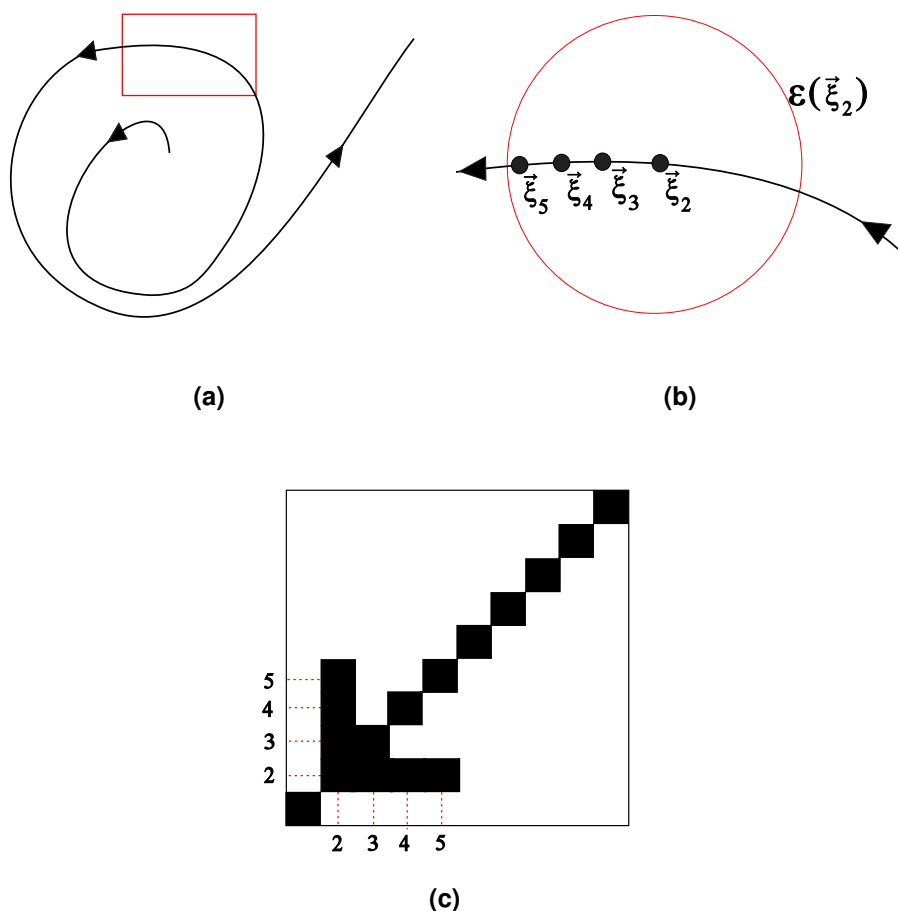


Figura 3.5 – Formação de uma estrutura vertical no gráfico de recorrência: (a) Espaço de fase; (b) Detalhe do espaço de fase; (c) Gráfico de recorrência obtido.

Gráfico de Recorrência para um Sinal Constante

O exemplo mais simples de gráfico de recorrência que pode ser dado é o de uma constante, a exemplo de um nível DC² ou degrau unitário. O sinal, de amplitude constante unitária (Figura 3.6a) tem seu gráfico de recorrência apresentado na Figura 3.6b. Esse tipo de sinal apresenta recorrência completa. Por isso, o gráfico de recorrência é totalmente preenchido por pontos pretos.

Gráficos de Recorrência para Sinais Senoidais

Sistemas oscilantes, que apresentam séries temporais periódicas, apresentam, em seus gráficos de recorrência, linhas diagonais totalmente preenchidas e paralelas à diagonal principal. Na Figura 3.7 é apresentado um exemplo de formação de estrutura no gráfico de recorrência para um sinal senoidal de 1.000 amostras, com frequência de 120 Hz e taxa de amostragem igual a 25.000 amostras/s.

²Nível DC (do inglês *direct current* ou corrente contínua) está relacionado ao valor médio do sinal.

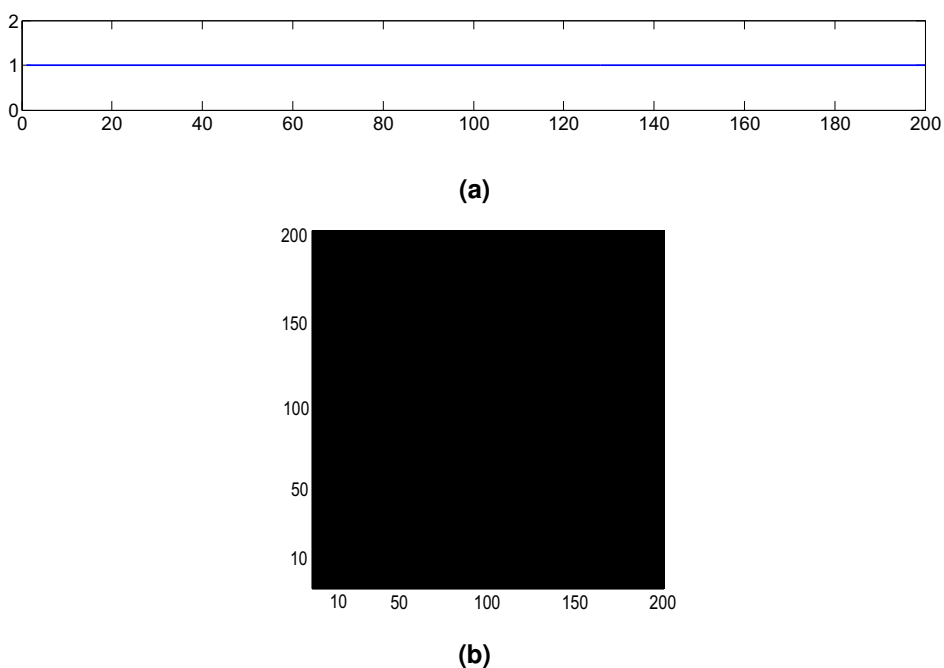


Figura 3.6 – Comportamento de um sinal constante do gráfico de recorrência: (a) série temporal; (b) gráfico de recorrência da série em (a).

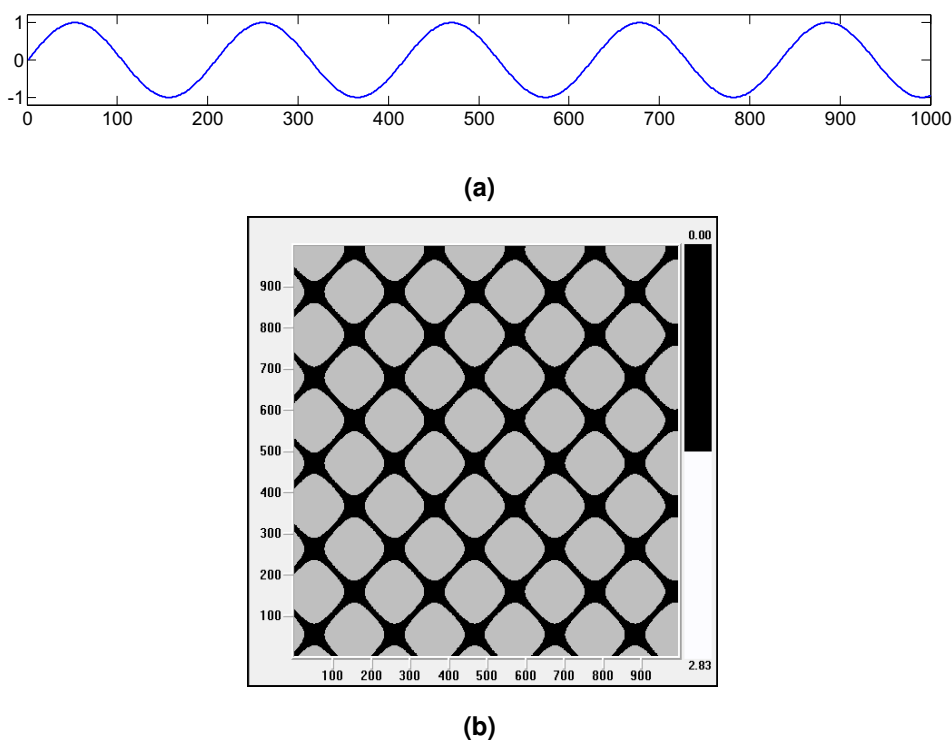


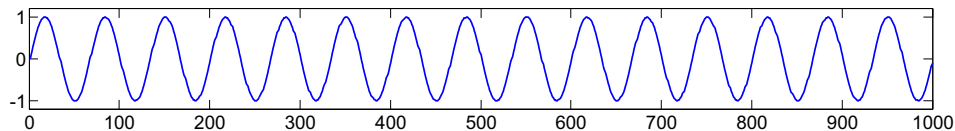
Figura 3.7 – Formação de estruturas no gráfico de recorrência de um sinal senoidal de 120 Hz amostrado a 25.000 amostras/s: (a) série temporal com 1.000 amostras; (b) gráfico de recorrência da série em (a).

Para sinais periódicos, há uma relação entre a frequência do sinal, a taxa de amostragem, e a distância entre as linhas diagonais contadas a partir da diagonal principal para cima (eixo vertical) ou para o lado (eixo horizontal) [107]. Essa relação é dada por:

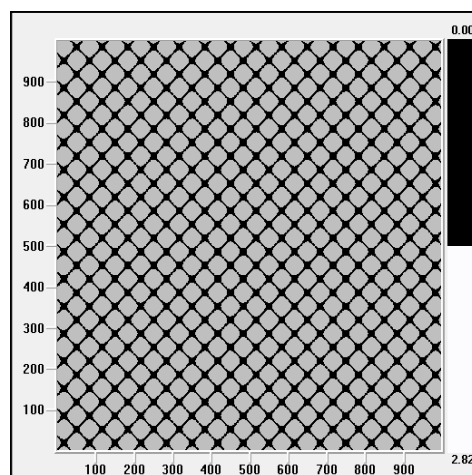
$$D = \frac{Fs}{f}, \quad (3.6)$$

em que D é a distância entre duas linhas diagonais (contada em quantidade de estados para o ciclo se repetir), Fs é a taxa de amostragem (em Hz) e f é a frequência do sinal (em Hz). Do sinal apresentado na Figura 3.7, nota-se que D é aproximadamente igual a 208.

Caso seja mantida a mesma quantidade de 1.000 amostras para o sinal senoidal de 120 Hz apresentado na Figura 3.7, e alterando apenas a taxa de amostragem, pode ser notado que, assim como ocorre na série temporal, o gráfico de recorrência aplica uma espécie de *zoom* à medida em que se aumenta a taxa de amostragem. Na Figura 3.8 é apresentado o gráfico de recorrência para o sinal senoidal de 120 Hz com taxa de amostragem igual a 8.000 amostra/s. Na Figura 3.9, a taxa de amostragem é de 44.100 amostras/s, o que caracteriza uma observação detalhada do sistema dinâmico.



(a)



(b)

Figura 3.8 – Formação de estruturas no gráfico de recorrência de um sinal senoidal de 120 Hz amostrado a 8.000 amostras/s: (a) série temporal com 1.000 amostras; (b) gráfico de recorrência da série em (a).

O aspecto detalhado que se observa ao aumentar a taxa de amostragem deve-se ao fato de, nesse tipo de análise, ser fixada a quantidade de amostras para os três casos. Quando fixado um intervalo de tempo de observação, e considerando a mesma frequência (120 Hz) com diferentes taxas de amostragem, diferenças entre os respectivos gráficos de recorrência podem não ser notadas. Um exemplo disso está na Figura 3.10.

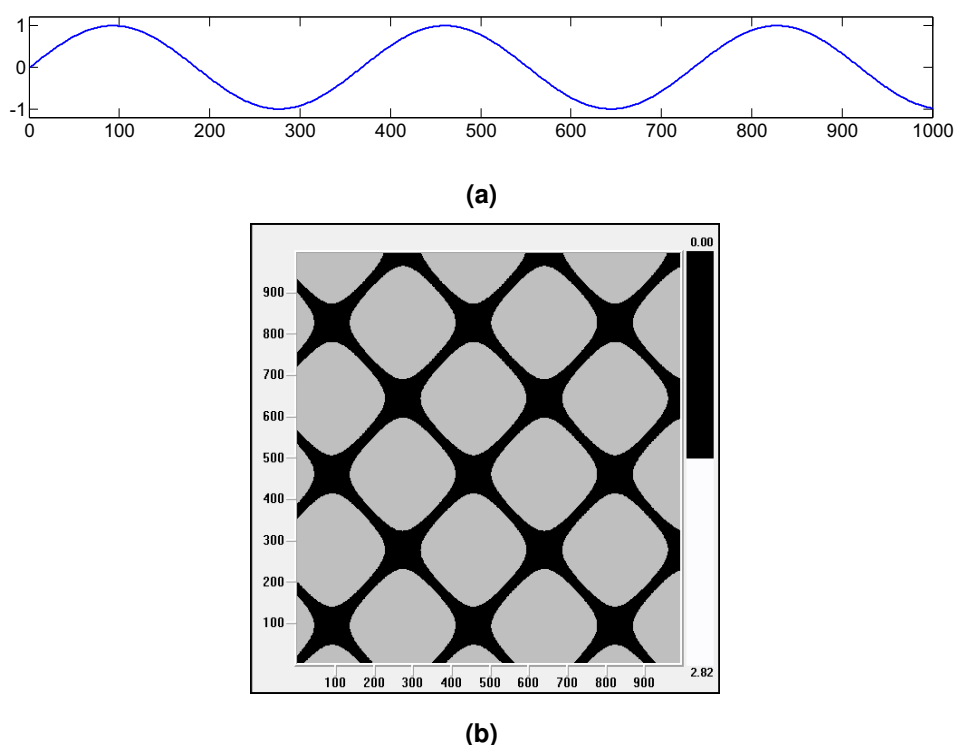


Figura 3.9 – Formação de estruturas no gráfico de recorrência de um sinal senoidal de 120 Hz amostrado a 44.100 amostras/s: (a) série temporal com 1.000 amostras; (b) gráfico de recorrência da série em (a).

Considerando diferentes taxas de amostragem (8.000 amostras/s, 25.000 amostras/s e 44.100 amostras/s) para um mesmo intervalo de tempo (2 segundos) de um sinal com frequência de 120 Hz, não são notadas diferenças visuais significativas na formação de estruturas, exceto a quantidade de amostras usadas para geração de cada gráfico (16.000 amostras na Figura 3.10a, 50.000 amostras na Figura 3.10b e 88.200 amostras na Figura 3.10c).

Gráficos de Recorrência para Sinais Ruidosos

Admitindo que sinais podem ser afetados por ruído, é importante identificar que tipo de estrutura é formada no gráfico de recorrência para sinais ruidosos. Neste trabalho é considerado o ruído branco. Na Figura 3.11, é apresentado o gráfico de recorrência de um ruído branco. A série temporal, aleatória, mostrada na Figura 3.11a, retrata no gráfico de recorrência a presença de pontos isolados e espalhado ao longo de todo o gráfico.

Nas Figuras 3.12, 3.13 e 3.14 estão apresentados os gráficos de recorrência obtidos para o sinal senoidal de 120 Hz, afetado por ruído branco com SNR^3 de 10 dB, para taxas de amostragem de 8.000 amostras/s, 25.000 amostras/s e 44.100 amostras/s, respectivamente. A primeira vista, pode ser notada a perda de continuidade das linhas diagonais.

A ação do ruído apresentada na Figura 3.12b mostra linhas diagonais descontínuas e paralelas à diagonal principal. Por meio da Figura 3.13b é notado que a presença do ruído cria uma espécie de “borrões” ao longo das linhas diagonais descontínuas. Com a visualização com

³SNR é a sigla, em inglês, para relação sinal-ruído (*Signal-to-Noise Ratio*), geralmente dada em decibéis (dB).

mais detalhe a partir da Figura 3.14b, é possível notar que os “borrões” ao longo das linhas diagonais na verdade constituem da formação de estruturas verticais/diagonais, cercados por pontos isolados.

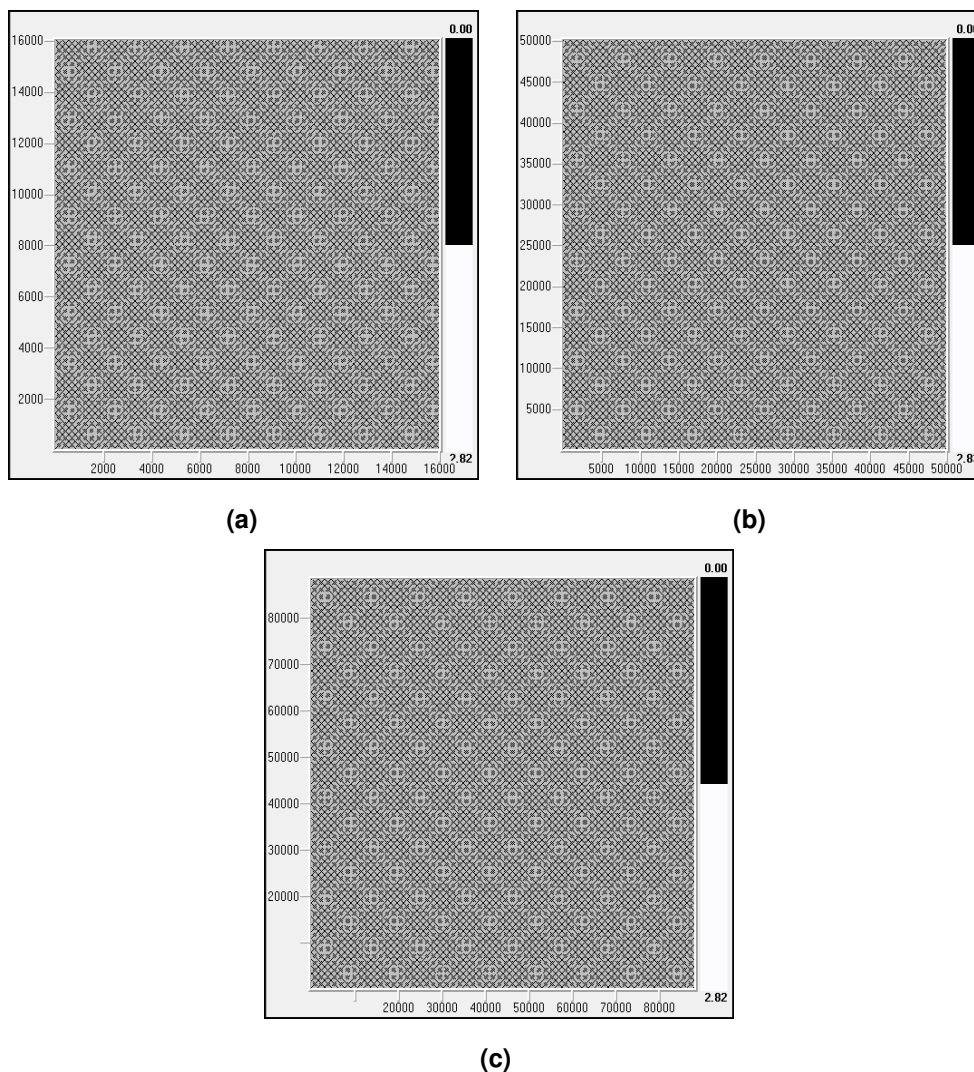
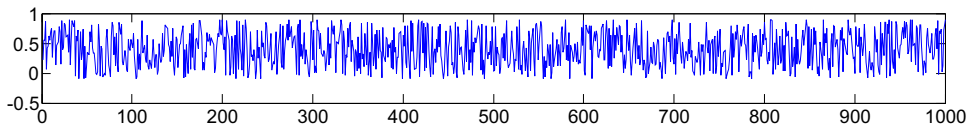


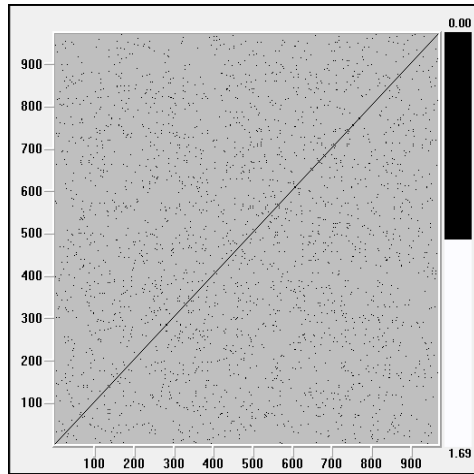
Figura 3.10 – Gráficos de recorrência para 2 s de um sinal senoidal de 120 Hz com diferentes taxas de amostragem: (a) 8.000 amostras/s; (b) 25.000 amostras/s; (c) 44.100 amostras/s.

Quanto menor a relação sinal-ruído, mais degradado fica o sinal e, por consequência, o gráfico de recorrência também perde estruturas características que apresentaria sem a presença do ruído. Nas Figuras 3.15, 3.16 e 3.17 estão apresentados os gráficos de recorrência obtidos para o sinal senoidal de 120 Hz, afetado por ruído branco com SNR de 6 dB, para taxas de amostragem de 8.000 amostras/s, 25.000 amostras/s e 44.100 amostras/s, respectivamente.

O gráfico de recorrência apresentado na Figura 3.15b é semelhante àquele da Figura 3.11b. Não é possível visualizar a formação de linhas diagonais, e apenas constata-se a presença de pontos isolados. Já por meio das Figuras 3.16b e 3.17b nota-se a maior presença de pontos isolados nas regiões do gráfico em que, sem a presença do ruído, continham linhas diagonais contínuas.

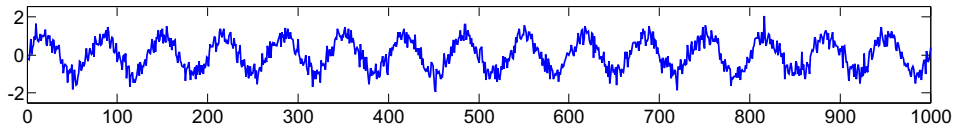


(a)

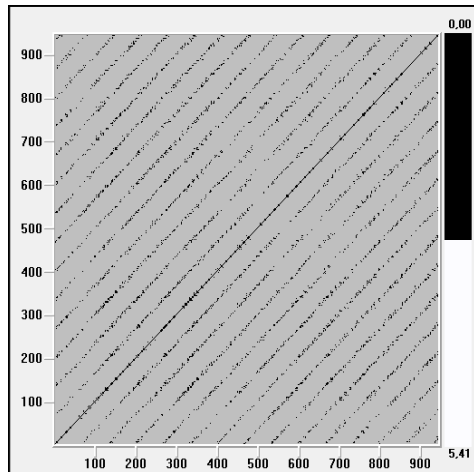


(b)

Figura 3.11 – Formação de estruturas no gráfico de recorrência para o ruído branco: (a) série temporal com 1.000 amostras; (b) gráfico de recorrência da série em (a).

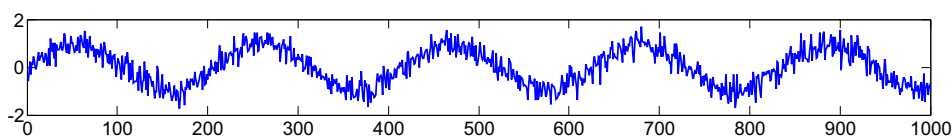


(a)

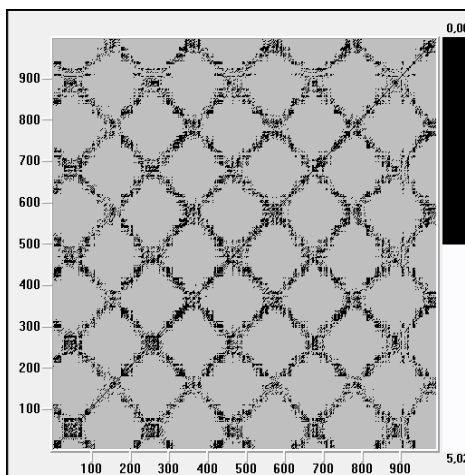


(b)

Figura 3.12 – Formação de estruturas no gráfico de recorrência de um sinal senoidal de 120 Hz, amostrado a 8.000 amostras/s afetado por ruído branco, com SNR = 10 dB: (a) série temporal com 1.000 amostras; (b) gráfico de recorrência da série em (a).

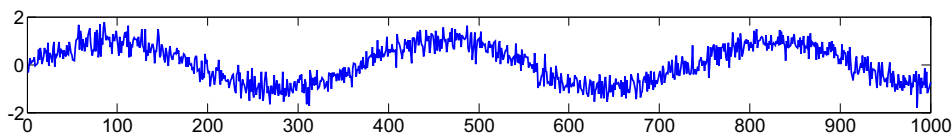


(a)

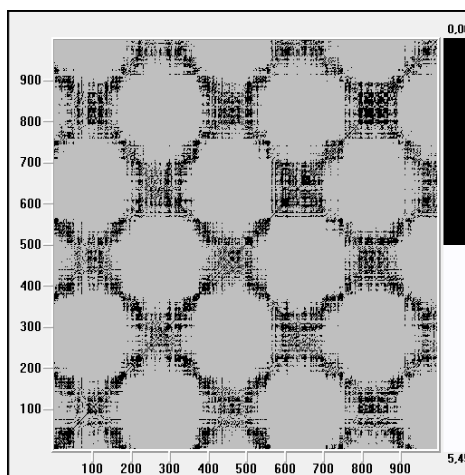


(b)

Figura 3.13 – Formação de estruturas no gráfico de recorrência de um sinal senoidal de 120 Hz, amostrado a 25.000 amostras/s afetado por ruído branco, com SNR = 10 dB: (a) série temporal com 1.000 amostras; (b) gráfico de recorrência da série em (a).

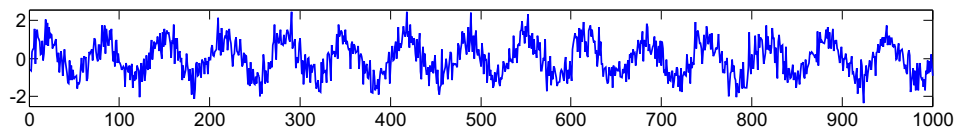


(a)

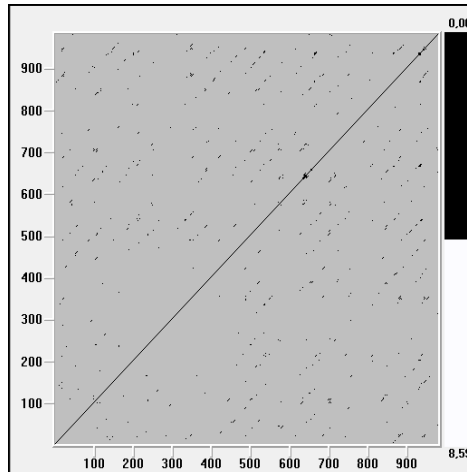


(b)

Figura 3.14 – Formação de estruturas no gráfico de recorrência de um sinal senoidal de 120 Hz, amostrado a 44.100 amostras/s afetado por ruído branco, com SNR = 10 dB: (a) série temporal com 1.000 amostras; (b) gráfico de recorrência da série em (a).

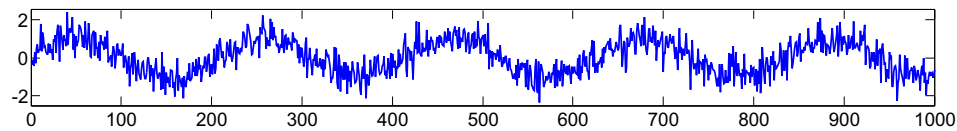


(a)

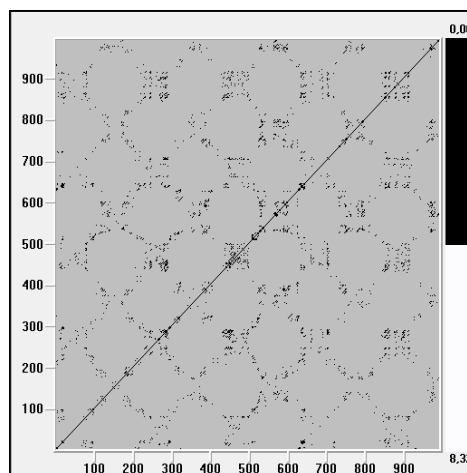


(b)

Figura 3.15 – Formação de estruturas no gráfico de recorrência de um sinal senoidal de 120 Hz, amostrado a 8.000 amostras/s afetado por ruído branco, com SNR = 6 dB: (a) série temporal com 1.000 amostras; (b) gráfico de recorrência da série em (a).



(a)



(b)

Figura 3.16 – Formação de estruturas no gráfico de recorrência de um sinal senoidal de 120 Hz, amostrado a 25.000 amostras/s afetado por ruído branco, com SNR = 6 dB: (a) série temporal com 1.000 amostras; (b) gráfico de recorrência da série em (a).

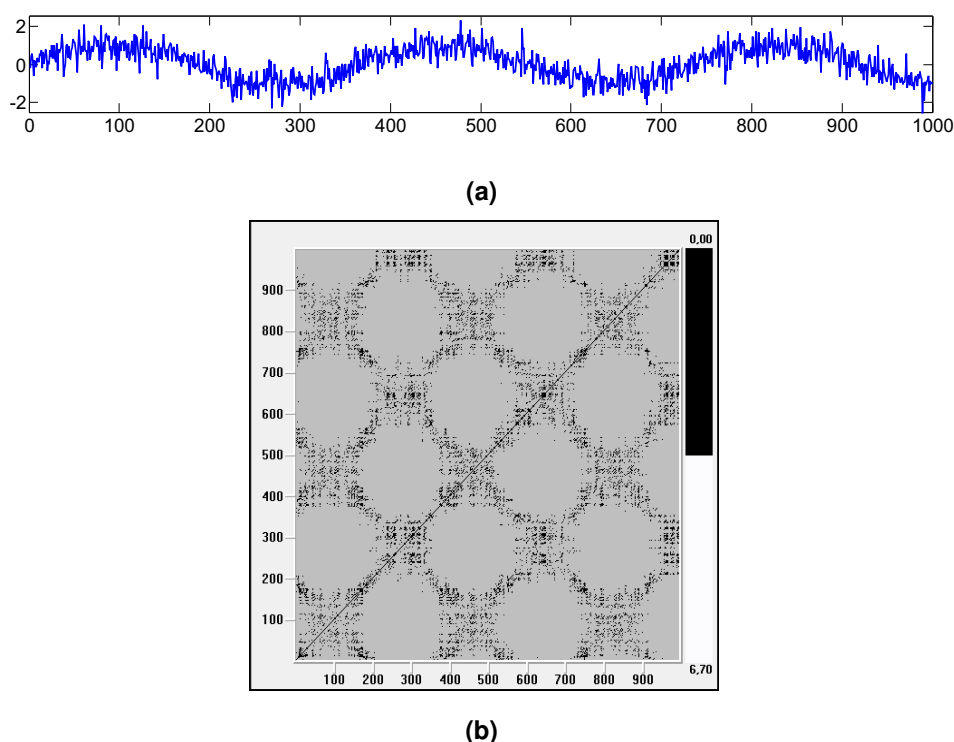


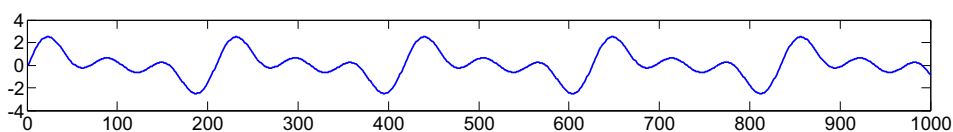
Figura 3.17 – Formação de estruturas no gráfico de recorrência de um sinal senoidal de 120 Hz, amostrado a 44.100 amostras/s afetado por ruído branco, com SNR = 6 dB: (a) série temporal com 1.000 amostras; (b) gráfico de recorrência da série em (a).

Gráficos de Recorrência para Sinais com Diferentes Frequências

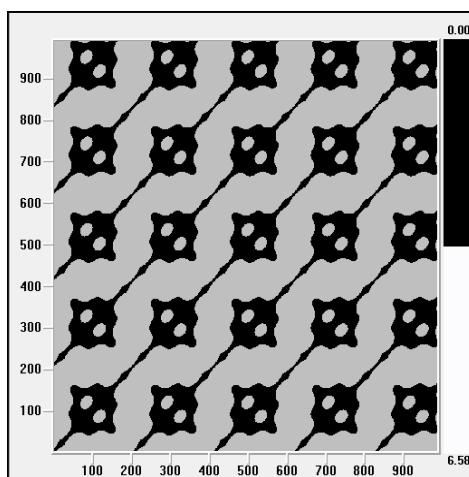
Na Figura 3.18, está apresentado o gráfico de recorrência obtido de uma série temporal constituída de um seno de frequência 120 Hz somada a duas harmônicas: 240 Hz e 360 Hz. A taxa de amostragem é de 25.000 amostras/s. É possível notar que a relação entre a taxa de amostragem, a frequência do sinal e a distância entre duas linhas diagonais (Equação 3.6) permanece para a menor frequência (120 Hz). Com a presença das harmônicas, as estruturas ao longo das linhas diagonais apresentam formas curvadas e, neste caso, a formação de espaços dentro dessas estruturas.

Na Figura 3.19 é apresentado o gráfico de recorrência obtido a partir de uma série temporal que contém frequências harmônicas e não harmônicas, amostrada a 25.000 amostras/s. As frequências que se somaram são de 120 Hz e duas harmônicas (240 Hz e 360 Hz) e a frequência de 220 Hz e duas harmônicas (440 Hz e 660 Hz). A presença de frequências não harmônicas no sinal é retratada no gráfico de recorrência com a falta de linhas diagonais totalmente preenchidas e paralelas à diagonal principal. Além disso, há a presença de estruturas estranhas distribuídas nas regiões em que estariam linhas diagonais, bem como a presença de estruturas verticais/horizontais.

Além de observar a formação de estruturas nos gráficos de recorrência gerados a partir de séries temporais de sinais obtidos com a soma de frequências, pode-se observar o comportamento de cada frequência ao longo do gráfico. Na Figura 3.20, é apresentado o gráfico

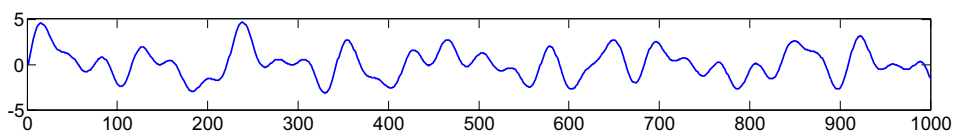


(a)

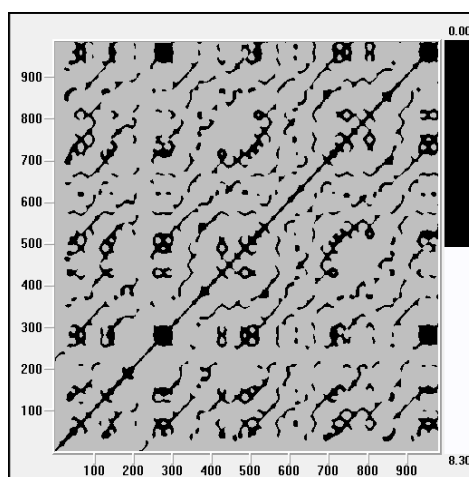


(b)

Figura 3.18 – Formação de estruturas no gráfico de recorrência de um sinal senoidal de 120 Hz e duas harmônicas (240 Hz e 360 Hz), amostrado a 25.000 amostras/s: (a) série temporal com 1.000 amostras; (b) gráfico de recorrência da série em (a).



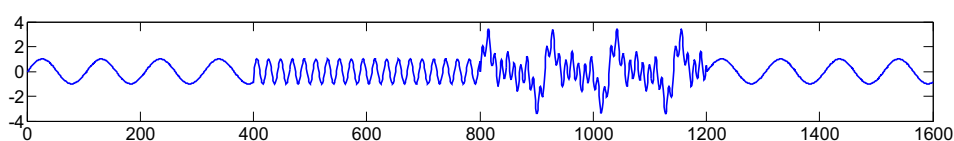
(a)



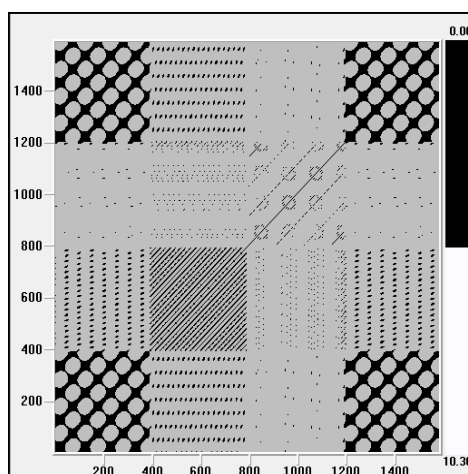
(b)

Figura 3.19 – Formação de estruturas no gráfico de recorrência de um sinal com a soma das frequências 120 Hz, 220 Hz, 240 Hz, 360 Hz, 440 Hz e 660 Hz, amostrados a 25.000 amostras/s: (a) série temporal com 1.000 amostras; (b) gráfico de recorrência da série em (a).

de recorrência obtido de uma série temporal constituída da concatenação de três outras séries: uma série de 240 Hz; uma série de 1.200 Hz; uma série com a soma da frequência 220 Hz com suas harmônicas em 440 Hz, 660 Hz e 2.200 Hz; e, novamente, a série de 240 Hz. Ao longo da diagonal principal (Figura 3.20b) é possível observar o comportamento de cada série temporal usada na concatenação apresentada na Figura 3.20a. A primeira formação é do seno de menor frequência e a segunda é do seno de maior frequência (Daí, é possível notar que, quanto maior a frequência, mais linhas diagonais há no gráfico de recorrência). A terceira formação apresenta as estruturas ao longo das diagonais e a quarta formação é uma repetição da primeira. Nas demais regiões do gráfico, as estruturas representam uma espécie de correlação entre as séries temporais com as diferentes frequências.



(a)



(b)

Figura 3.20 – Formação de estruturas no gráfico de recorrência de um sinal composto por trechos concatenados de sinais senoidais de frequências: 240 Hz; 1.200 Hz; soma das frequências 220 Hz, 440 Hz, 660 Hz e 2.200 Hz; 240 Hz. Trechos amostrados a 25.000 amostras/s: (a) série temporal com 1.600 amostras; (b) gráfico de recorrência da série em (a).

Gráfico de Recorrência para um Sinal Senoidal Amortecido

Gráficos de recorrência obtidos para sinais senoidais amortecidos são apresentados nas Figuras 3.21 e 3.22.

O primeiro destes exemplos é uma série temporal (Figura 3.21a) resultante da multiplicação de um seno de frequência 240 Hz com a exponencial decrescente e^{-50t} . No gráfico de recorrência (Figura 3.21b), os primeiros estados do sistema tendem a formar linhas diagonais. À medida em que o sinal é amortecido, no gráfico de recorrência os pontos recorrentes aparecem em maior quantidade, formando uma região totalmente preenchida por pontos pretos.

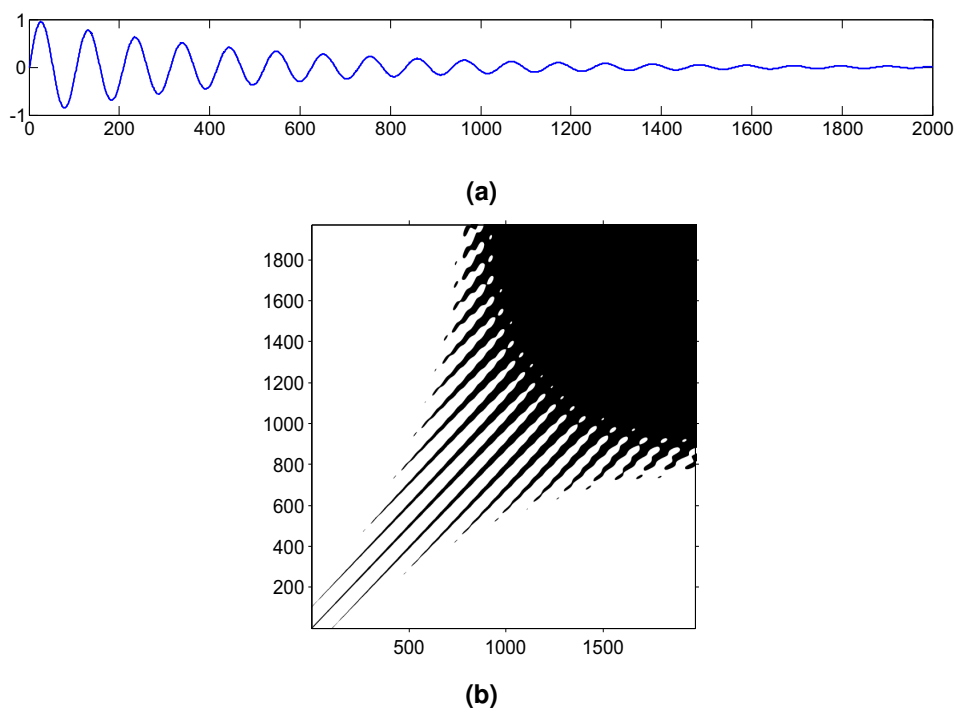


Figura 3.21 – Gráfico de recorrência de um sinal senoidal (240 Hz) amortecido por exponencial decrescente e^{-50t} : (a) série temporal com 2.000 amostras; (b) gráfico de recorrência da série em (a).

Ao multiplicar o sinal senoidal de 240 Hz por uma exponencial crescente e^{50t} (Figura 3.22a), o gráfico de recorrência obtido (Figura 3.22b) aparenta ser uma versão invertida daquele apresentado na Figura 3.21b.

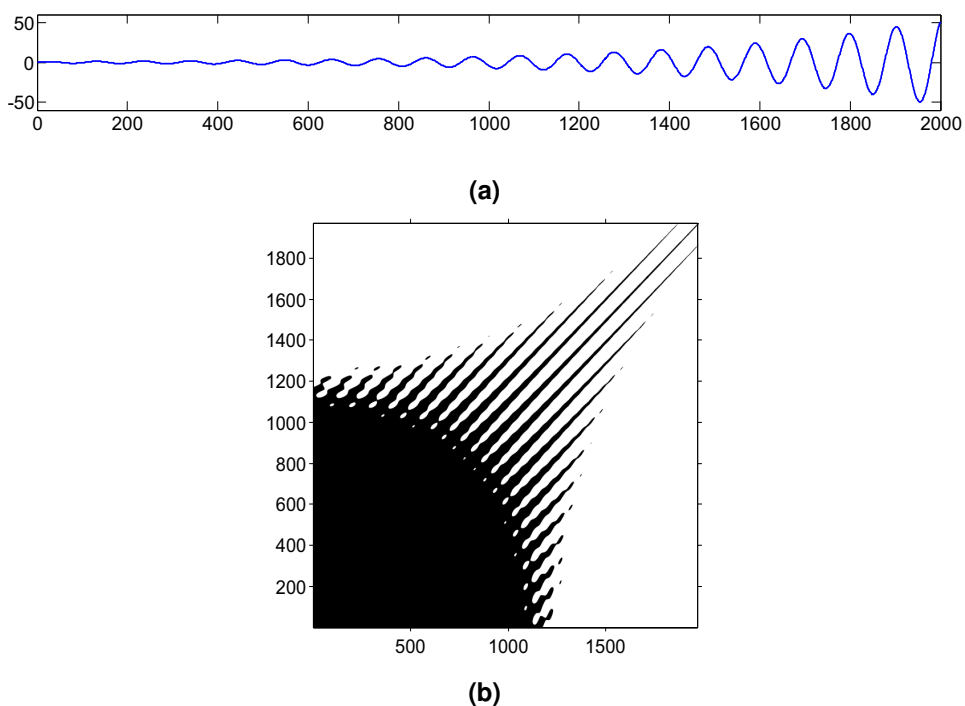


Figura 3.22 – Gráfico de recorrência de um sinal senoidal (240 Hz) amortecido por exponencial crescente e^{50t} : (a) série temporal com 1.600 amostras; (b) gráfico de recorrência da série em (a).

Gráficos de Recorrência para uma Onda Quadrada

Nas Figuras 3.23 e 3.24 estão apresentados gráficos de recorrência obtidos a partir de uma onda quadrada.

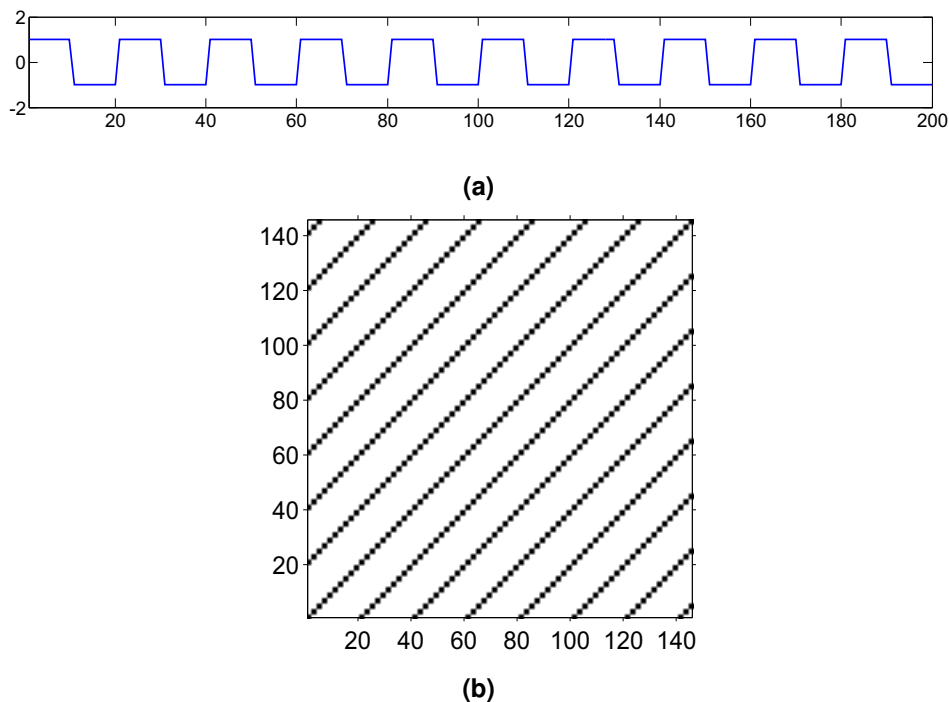


Figura 3.23 – Formação de estruturas no gráfico de recorrência de um sinal de onda quadrada, de amplitudes -1 e 1: (a) série temporal com 200 amostras; (b) gráfico de recorrência da série em (a).

No primeiro caso, uma onda quadrada periódica (Figura 3.23a) tem retratada, no gráfico de recorrência (Figura 3.23b), a formação de estruturas diagonais, tais como um sinal senoidal. Isso é de se esperar, pois qualquer sequência periódica tende a apresentar linhas diagonais preenchidas e paralelas à diagonal principal.

Uma onda multinível periódica é apresentada na Figura 3.24a. O gráfico de recorrência obtido (Figura 3.24b) apresenta, além da formação das estruturas diagonais, a presença de estruturas distribuídas ao longo das diagonais, semelhante ao que ocorre com o sinal senoidal com frequências harmônicas.

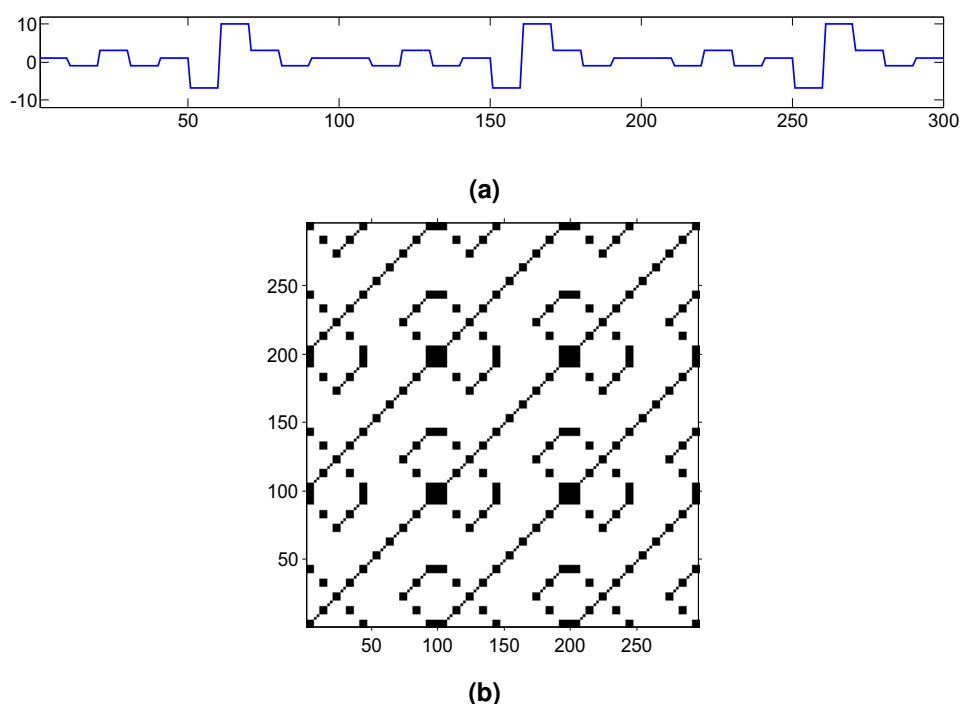


Figura 3.24 – Formação de estruturas no gráfico de recorrência de um sinal de onda quadrada com diferentes níveis de amplitude (1, -1, 3, -7 e 10): (a) série temporal com 300 amostras; (b) gráfico de recorrência da série em (a).

3.4 – Gráficos de Recorrência de Sinais de Voz

Nesta Seção, são apresentados gráficos de recorrência obtidos de 32 ms de sinais de voz (vogal sustentada /a/) de pacientes saudáveis e pacientes diagnosticados com patologias na laringe [72], e de sinais de voz (vogal sustentada /ε/) de crianças diagnosticadas a partir do grau do desvio vocal [71].

Na Figura 3.25, estão apresentados um trecho de 32 ms (800 amostras) da série temporal, o atrator e o gráfico de recorrência obtido do sinal de voz de uma paciente sem patologias na laringe. O gráfico de recorrência desse sinal tem estruturas diagonais totalmente preenchidas e paralelas à diagonal principal, e ainda existem pequenas estruturas diagonais paralelas às diagonais maiores. A ausência de patologias no sistema de produção vocal pode ter influenciado a formação dessas estruturas diagonais, uma vez que o sinal de voz apresenta uma regularidade próxima de uma periodicidade.

Na Figura 3.26, estão apresentados um trecho de 32 ms (800 amostras) da série temporal, o atrator e o gráfico de recorrência obtido do sinal de voz de um paciente com paralisia nas pregas vocais. Embora algumas estruturas diagonais paralelas à diagonal principal estejam presentes no gráfico de recorrência desse sinal, há a formação de estruturas robustas, constituídas por pequenas estruturas diagonais e verticais/horizontais, ao longo das linhas diagonais maiores. A presença da patologia pode ter influenciado a formação dessas estruturas.

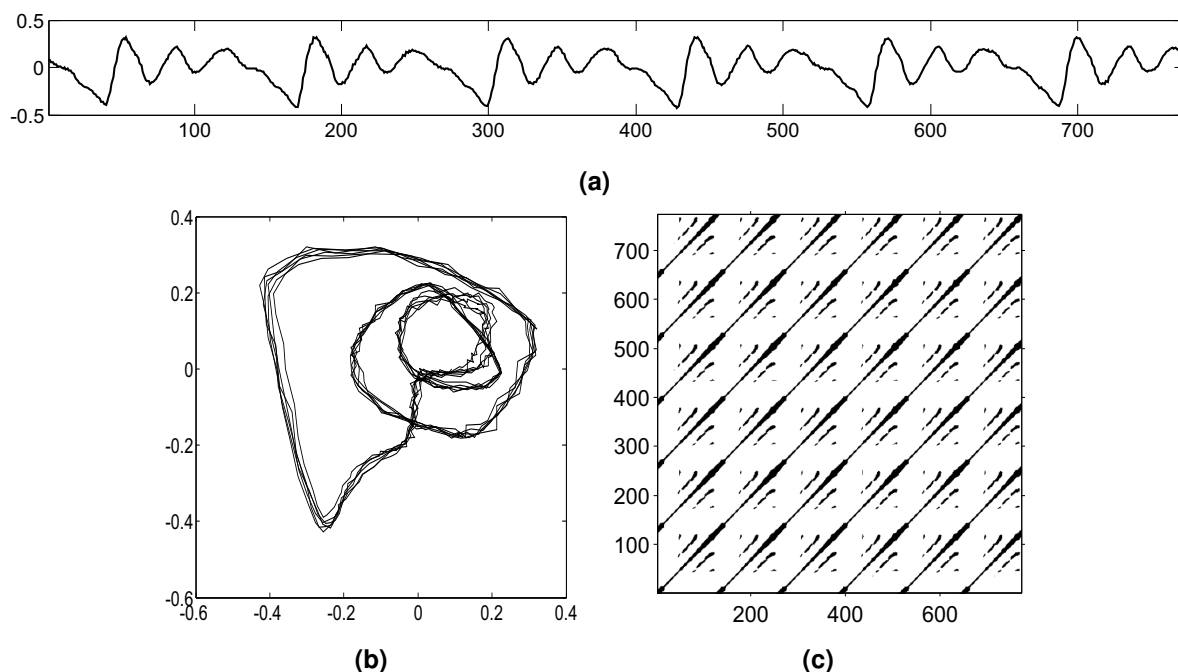


Figura 3.25 – Sinal de voz de paciente saudável (sinal CEB1NAL.wav da base da Kay Elemetrics [72]): (a) série temporal; (b) projeção bidimensional do atrator; (c) gráfico de recorrência da série em (a) para $m = 4$, $\tau = 9$ e $\varepsilon = 20$.

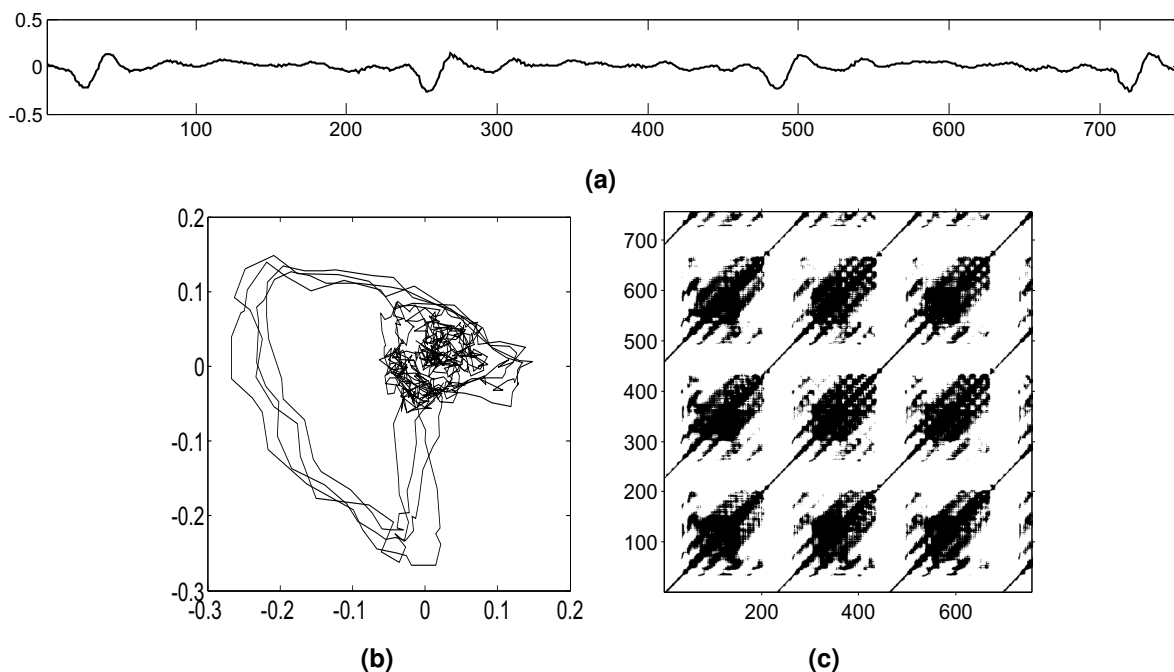


Figura 3.26 – Sinal de voz de paciente com laringe afetada por paralisia (sinal JFN11AN.wav da base da Kay Elemetrics [72]): (a) série temporal; (b) projeção bidimensional do atrator; (c) gráfico de recorrência da série em (a) para $m = 5$, $\tau = 11$ e $\varepsilon = 20$.

Na Figura 3.27, estão apresentados um trecho de 32 ms (800 amostras) da série temporal, o atrator e o gráfico de recorrência obtido do sinal de voz de um paciente com

edema de Reinke. Ao longo das diagonais formadas no gráfico de recorrência, há pequenas estruturas verticais/diagonais agrupadas formando estruturas diagonais com espaços e paralelas às diagonais maiores e totalmente preenchidas. Nas extremidades dessas pequenas estruturas há estruturas preenchidas e com aspecto circular.

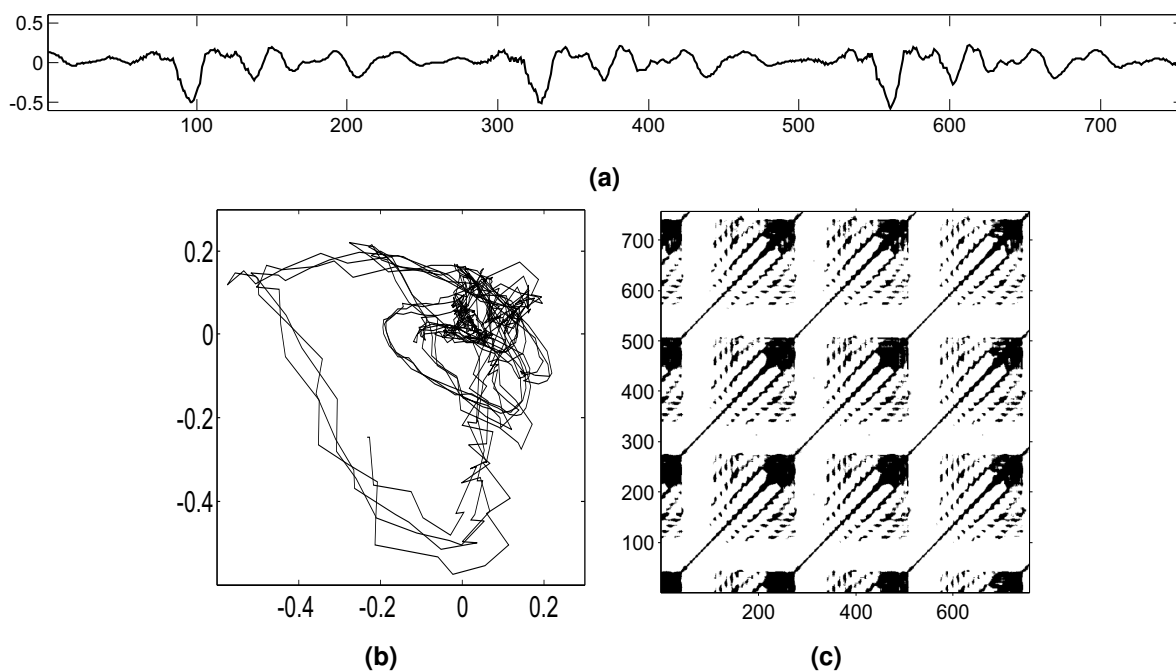


Figura 3.27 – Sinal de voz de paciente com laringe afetada por edema (sinal JXB16AN.wav da base da Kay Elemetrics [72]): (a) série temporal; (b) projeção bidimensional do atrator; (c) gráfico de recorrência da série em (a) para $m = 5$, $\tau = 11$ e $\varepsilon = 20$.

Na Figura 3.28, estão apresentados um trecho de 32 ms (800 amostras) da série temporal, o atrator e o gráfico de recorrência obtido do sinal de voz de uma paciente com nódulos nas pregas vocais. Estruturas diagonais paralelas à diagonal principal são formadas. Além disso, há a formação de estruturas circulares ao longo dessas diagonais contendo pequenos espaços, e são intercaladas por pequenas estruturas circulares.

Na Figura 3.29, estão apresentados um trecho de 32 ms (1.411 amostras) da série temporal, o atrator e o gráfico de recorrência obtido do sinal de voz de uma criança com diagnóstico de ausência de distúrbios da voz. Há, no gráfico de recorrência, a formação de pequenas estruturas em forma de bastonete ao longo das estruturas diagonais paralelas à diagonal principal. Ainda há a formação de pequenas estruturas entre as linhas diagonais.

Na Figura 3.30, estão apresentados um trecho de 32 ms (1.411 amostras) da série temporal, o atrator e o gráfico de recorrência obtido do sinal de voz de uma criança diagnosticada com desvio vocal de grau leve. Pequenas estruturas diagonais estão espalhadas ao longo do gráfico de recorrência, de forma a ficarem paralelas às diagonais maiores. Estruturas verticais/horizontais, também de tamanho pequeno, estão ao longo do gráfico, com a tendência de se agruparem para formar estruturas verticais/horizontais maiores.

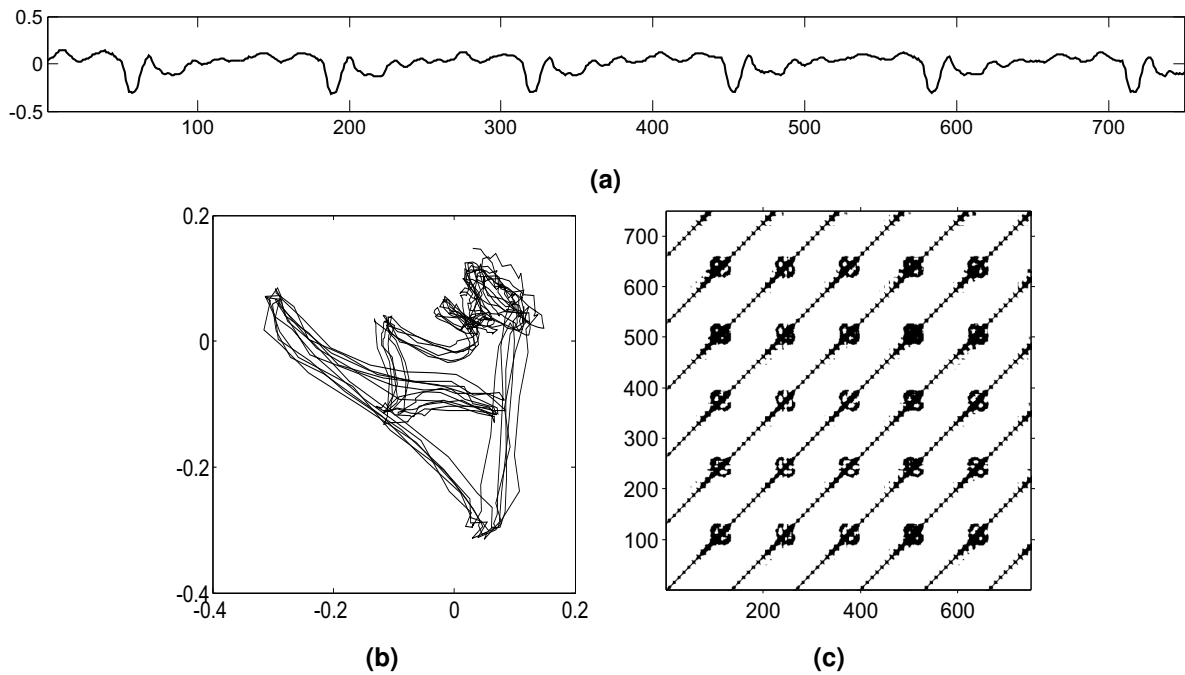


Figura 3.28 – Sinal de voz de paciente com laringe afetada por nódulos (sinal RJZ16AN.wav da base da Kay Elemetrics [72]): (a) série temporal; (b) projeção bidimensional do atrator; (c) gráfico de recorrência da série em (a) para $m = 4$, $\tau = 15$ e $\varepsilon = 20$.

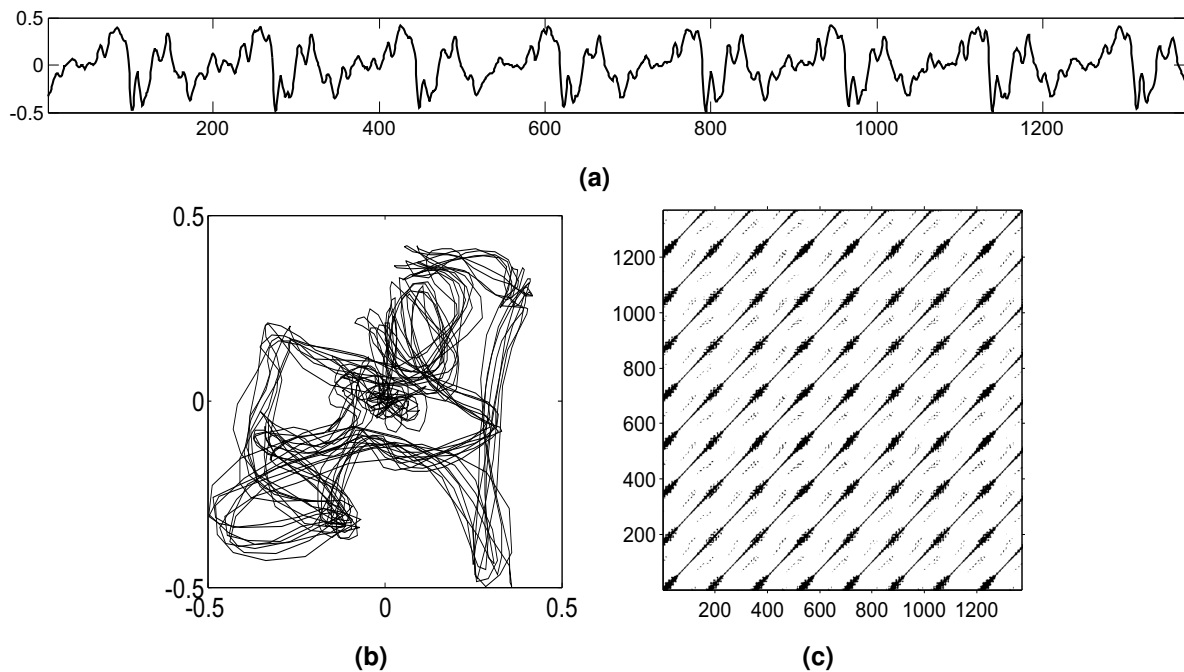


Figura 3.29 – Sinal de voz de criança saudável (sinal C83 É.wav da base do Departamento de Fonoaudiologia da Universidade Federal da Paraíba [71]): (a) série temporal; (b) projeção bidimensional do atrator; (c) gráfico de recorrência da série em (a) para $m = 5$, $\tau = 10$ e $\varepsilon = 20$.

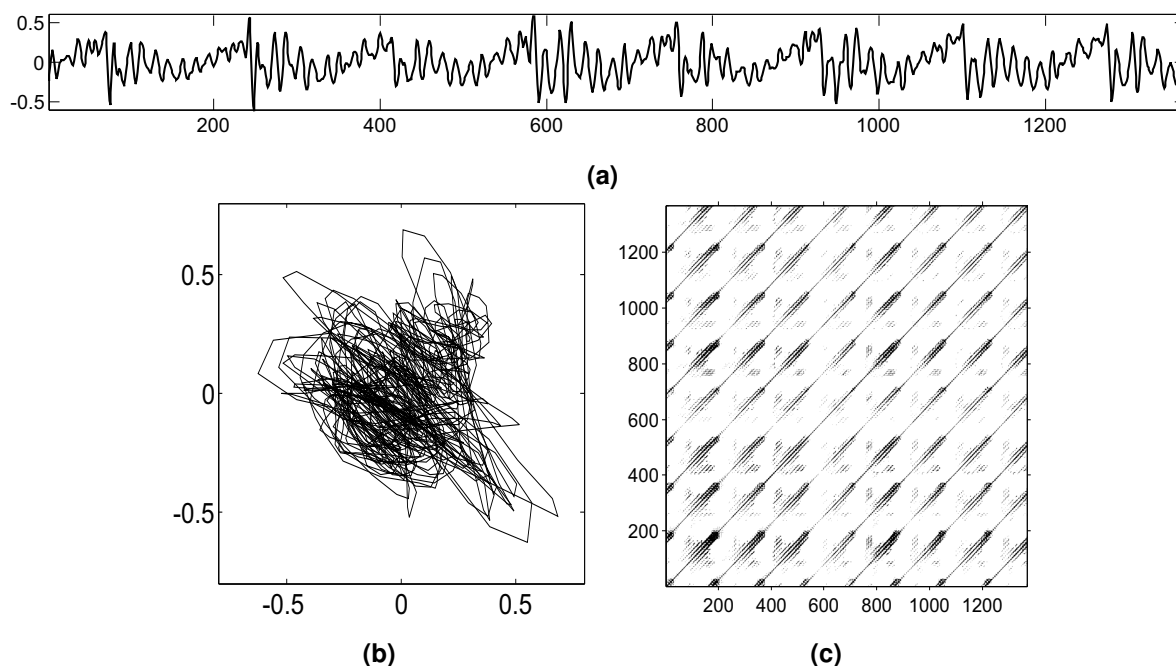


Figura 3.30 – Sinal de voz de criança com desvio vocal de grau leve (sinal C5 É.wav da base do Departamento de Fonoaudiologia da Universidade Federal da Paraíba [71]): (a) série temporal; (b) projeção bidimensional do atrator; (c) gráfico de recorrência da série em (a) para $m = 8$, $\tau = 6$ e $\varepsilon = 20$.

Na Figura 3.31, estão apresentados um trecho de 32 ms (1.411 amostras) da série temporal, o atrator e o gráfico de recorrência obtido do sinal de voz de uma criança diagnosticada com desvio vocal de grau moderado. Pequenas estruturas verticais/horizontais estão espalhadas ao longo das linhas diagonais paralelas à diagonal principal, formando estruturas retangulares. Isso pode indicar que um maior grau do distúrbio da voz pode refletir na formação de estados laminares na dinâmica do sistema de produção da voz, tendo como consequência a formação de linhas verticais/horizontais no gráfico de recorrência.

A investigação do comportamento dinâmico do sistema de produção vocal por meio da observação dos gráficos de recorrência pode ser limitada e depender da experiência do profissional, bem como a formação de estruturas menores pode não ser observável a olho nu. A fim de quantificar a formação de estruturas nos gráficos de recorrência, foram desenvolvidas as chamadas medidas de quantificação de recorrência [108], descritas a seguir.

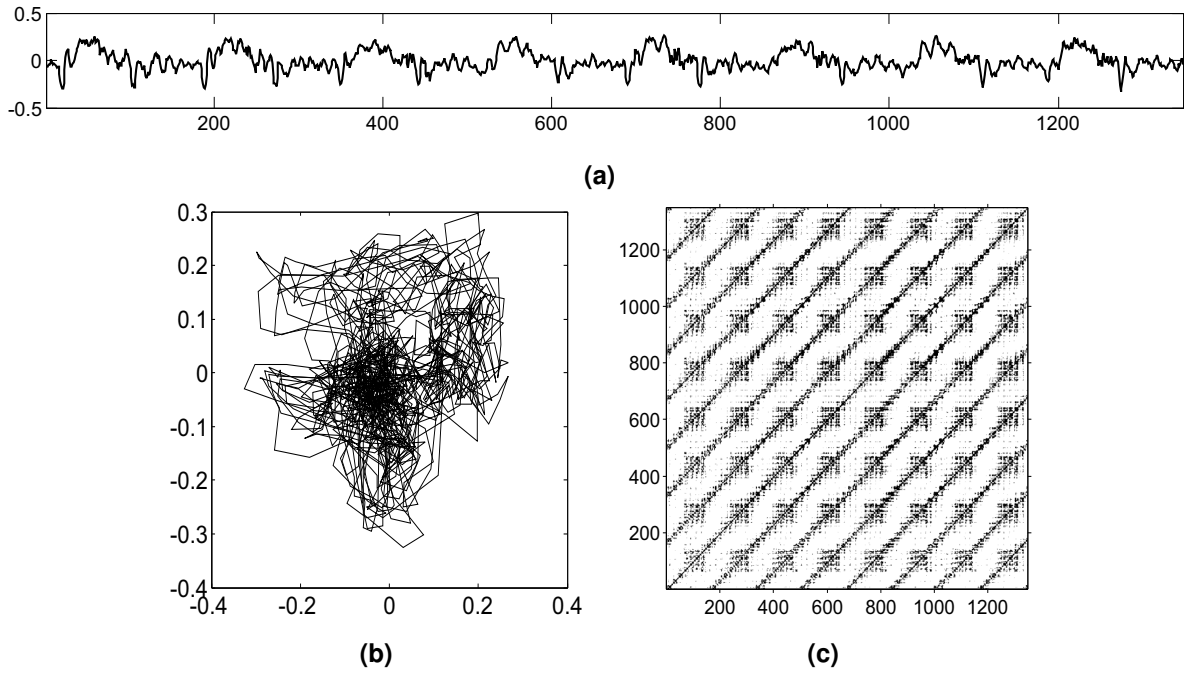


Figura 3.31 – Sinal de voz de criança com desvio vocal de grau moderado (sinal C81 É.wav da base do Departamento de Fonoaudiologia da Universidade Federal da Paraíba [71]): (a) série temporal; (b) projeção bidimensional do atrator; (c) gráfico de recorrência da série em (a) para $m = 4$, $\tau = 21$ e $\varepsilon = 20$.

3.5 – Medidas de Quantificação de Recorrência

As medidas de quantificação de recorrência foram desenvolvidas com o intuito de fornecer uma análise mais robusta e objetiva sobre o comportamento dos sistemas dinâmicos [108]. A primeira delas, conhecida como Taxa de Recorrência (*REC*), mede o percentual de pontos recorrentes presentes no gráfico de recorrência, e é definida como:

$$REC = \frac{1}{N^2} \sum_{i,j=1}^N \mathcal{R}_{i,j;i \neq j}^{m,\varepsilon}, \quad (3.7)$$

em que $i, j = 1, 2, \dots, N$. As variáveis N , m e ε estão definidas na Seção 3.3 (página 31).

A medida Transitividade (*TRANS*) é uma espécie de taxa de recorrência local (*local clustering*), baseada na teoria das redes recorrentes complexas [109], sendo dada por:

$$TRANS = \frac{\sum_{i,j,k=1}^N \mathcal{R}_{i,j}^{m,\varepsilon} \mathcal{R}_{i,k}^{m,\varepsilon} \mathcal{R}_{k,i}^{m,\varepsilon}}{\sum_{i,j,k=1}^N \mathcal{R}_{i,j}^{m,\varepsilon} \mathcal{R}_{k,i}^{m,\varepsilon}}. \quad (3.8)$$

A Taxa de Recorrência pode ser utilizada em conjunto com o raio de vizinhança para a construção do Gráfico de Recorrência [51]. Dessa forma, o raio é escolhido de modo que a Taxa de Recorrência não ultrapasse determinado valor. Essa metodologia é empregada quando

se deseja que outras medidas não tenham valores saturados [103], como é o caso da medida Determinismo (DET), definida por:

$$DET = \frac{\sum_{l=l_{min}}^N l \times P^\varepsilon(l)}{\sum_{i,j}^N \mathcal{R}_{i,j}^{m,\varepsilon}}, \quad (3.9)$$

em que $P^\varepsilon(l) = \{l_i, i = 1 \dots N_l\}$, representa a distribuição de frequência dos comprimentos l das N_l estruturas diagonais e l_{min} o número mínimo de pontos para formar uma linha diagonal dentro do gráfico de recorrência [50]. O Determinismo mede a quantidade dos pontos de recorrência presentes na formação das linhas diagonais em relação a todo o conjunto dos pontos de recorrência.

A relação entre Determinismo e Taxa de Recorrência, $RATIO$, pode descrever transições na dinâmica do sistema [50], e é dada por:

$$RATIO = N^2 \frac{\sum_{l=l_{min}}^N l \times P^\varepsilon(l)}{(\sum_{l=1}^N l \times P^\varepsilon(l))^2}. \quad (3.10)$$

O Comprimento médio das linhas diagonais (L_{med}) é definido como o tempo médio que dois segmentos de uma trajetória estão próximos um do outro, podendo ser interpretado como o tempo médio de predição e é calculado da seguinte maneira:

$$L_{med} = \frac{\sum_{l=l_{min}}^N l \times P^\varepsilon(l)}{\sum_{l=l_{min}}^N P^\varepsilon(l)}. \quad (3.11)$$

O comprimento máximo das estruturas diagonais (L_{max}) é quantificado como:

$$L_{max} = \max(\{l_i; i = 1 \dots N_l\}). \quad (3.12)$$

O recíproco do comprimento máximo é a Divergência (DIV), que está relacionada com o maior expoente de Lyapunov positivo [110], mensurada na análise de quantificação de recorrência como:

$$DIV = \frac{1}{L_{max}}. \quad (3.13)$$

A Tendência ($TREND$) é um coeficiente de regressão linear sobre as densidade dos pontos de recorrência das diagonais paralelas a diagonal principal. É uma medida que fornece informações a respeito da não estacionaridade da série temporal e é definida por:

$$TREN D = \frac{\sum_{i=1}^{\tilde{N}} (i - \tilde{N}/2)(REC_i - \langle REC_i \rangle)}{\sum_{i=1}^{\tilde{N}} (i - \tilde{N}/2)^2}, \quad (3.14)$$

em que a diferença entre N e \tilde{N} deve ser cerca de dez vezes a ordem de magnitude do tempo de autocorrelação [111]. Se a densidade dos pontos de recorrência permanecer constante ao longo do gráfico de recorrência, $TREN D$ tenderá a zero. Se a densidade diminuir quando se afasta da diagonal, $TREN D$ será negativa. Caso contrário, se a densidade aumenta, $TREN D$ será positiva [50].

A Entropia de Shannon ($ENTR$) mede a distribuição de frequência dos comprimentos das linhas diagonais. Ela reflete a complexidade da estrutura determinística no sistema.

$$ENTR = - \sum_{l=l_{min}}^N p(l) \ln p(l), \quad (3.15)$$

$$\text{em que } p(l) = \frac{P^\varepsilon(l)}{\sum_{l=l_{min}}^N P^\varepsilon(l)}.$$

A Laminaridade (LAM) é a razão entre os pontos de recorrência que formam estruturas verticais e todo o conjunto dos pontos de recorrência, definida como:

$$LAM = \frac{\sum_{v=v_{min}}^N v \times P^\varepsilon(v)}{\sum_{v=1}^N v \times P^\varepsilon(v)}, \quad (3.16)$$

em que $P^\varepsilon(v) = \{v_i, i = 1 \dots N_v\}$, representa a distribuição de frequência dos comprimentos v das N_v estruturas verticais e v_{min} o número mínimo de estruturas verticais que se deseja contabilizar dentro do gráfico de recorrência [50].

O Comprimento médio das estruturas verticais (TT), também conhecido como o tempo de permanência em um estado, é definido como:

$$TT = \frac{\sum_{v=v_{min}}^N v \times P^\varepsilon(v)}{\sum_{v=v_{min}}^N P^\varepsilon(v)}. \quad (3.17)$$

A medida TT contém informação acerca da quantidade e do comprimento das estruturas verticais no gráfico de recorrência, medindo o tempo médio que o sistema permanece em um estado específico.

Além do comprimento médio, pode-se utilizar, ainda, como medida de recorrência, o comprimento máximo das estruturas verticais (V_{max}), definida como:

$$V_{max} = \max(\{v_i; i = 1 \dots N_v\}). \quad (3.18)$$

Dentro de uma região definida a partir do raio de vizinhança adotado, existem dois tipos de pontos recorrentes. O conjunto de todos os pontos recorrentes na vizinhança constitui os pontos de recorrência do tipo 1. Os pontos de recorrência do tipo 2 são os primeiros pontos da trajetória do espaço de fases que caem naquela vizinhança. Assim, é possível estimar dois tipos de tempo de recorrência, os quais estão relacionados a transições de energia na dinâmica do sistema [112].

O tempo de recorrência do tipo 1 (T^1) indica a distância entre o ponto recorrente $\vec{\xi}_j$ e o ponto referência do raio de vizinhança, $\vec{\xi}_i$ [50], dado por:

$$T_j^1 = |\{i, j : \vec{\xi}_i, \vec{\xi}_j \in \mathcal{R}_i\}|, \quad (3.19)$$

em que \mathcal{R}_i representa os pontos de recorrência na vizinhança de $\vec{\xi}_i$.

O tempo de recorrência do tipo 2 (T^2) pode indicar com mais precisão do que T^1 transições de energia significativamente baixas [113]. É calculado como a distância entre o primeiro ponto recorrente da trajetória do espaço de fases, $\vec{\xi}_j$, e o ponto referência do raio de vizinhança, $\vec{\xi}_i$, dado por:

$$T_j^2 = |\{i, j : \vec{\xi}_i, \vec{\xi}_j \in \mathcal{R}_i, \vec{\xi}_{j-1} \notin \mathcal{R}_i\}|. \quad (3.20)$$

A entropia do tempo de recorrência do tipo 1, ou *RPDE* (*Recurrence Probability Density Entropy*) [44], é medida por:

$$RPDE = \frac{-\sum_{i=1}^{T_{max}^1} P(i) \ln P(i)}{\ln T_{max}^1}, \quad (3.21)$$

em que $P(i)$ é a densidade de probabilidade do tempo de recorrência do tipo 1, e T_{max}^1 é o tempo máximo de recorrência do tipo 1.

3.6 – Discussão

Os gráficos de recorrência permitem uma análise da dinâmica não linear dos sistemas. Constitui de uma representação bidimensional do comportamento dinâmico que pode até ser multidimensional. A disposição dos pontos no gráfico de recorrência pode formar linhas diagonais ou verticais/horizontais, bem como combinar esses dois tipos de estruturas e formar outras.

Processos determinísticos, a exemplo de sinais senoidais, apresentam gráficos de recorrência com linhas diagonais totalmente preenchidas e paralelas à diagonal principal. Quanto maior a frequência do sinal, mais linhas diagonais são formadas no gráfico. Sinais compostos apenas por frequências harmônicas mantém as linhas diagonais, o que não ocorre quando há frequências não harmônicas no sinal.

Séries temporais aleatórias, como é o caso do ruído branco, apresentam gráficos de recorrência sem a formação de estruturas diagonais ou verticais/horizontais, mas apenas com pontos isolados ao longo do gráfico. Sinais periódicos afetados por ruído apresentam gráficos de recorrência com linhas diagonais descontínuas e que podem desaparecer à medida em que se reduz a relação sinal-ruído.

No que diz respeito a sinais de voz, a quase periodicidade dos sinais de laringes saudáveis é refletida na formação de estruturas diagonais maiores e em maior número no gráfico de recorrência, se comparado ao comportamento dos sinais de laringes patológicas. Ou seja, a evolução da dinâmica de um sistema de produção vocal saudável é mais regular do que a evolução de um sistema de produção vocal patológico. A formação de estruturas verticais maiores e em maior número é uma característica mais presente nos sinais de laringes patológicas, uma vez que esses sinais são mais propícios a estados laminares (comportamento caótico [35, 105, 106]).

Contudo, a formação de estruturas no gráfico de recorrência depende do sistema que esteja sendo analisado, e de acordo com a aplicação do método, não é possível uma completa investigação da dinâmica presente na série temporal submetida à avaliação. Além disso, diferentes sistemas podem apresentar, em uma análise visual dos gráficos de recorrência, comportamentos semelhantes, o que pode dificultar eventuais análises para fins discriminativos. As medidas de recorrência foram desenvolvidas para dar mais robustez à avaliação da dinâmica dos sistemas, uma vez que quantifica estruturas do gráfico de recorrência que podem não ser observadas a olho nu.

O método da análise de quantificação de recorrência foi escolhido como técnica de análise acústica neste trabalho por se tratar de uma técnica que permite observar o comportamento recorrente do sistema de produção vocal, apesar de ainda ser pouco investigada em aplicações envolvendo processamento digital de sinais de voz. A análise de quantificação de recorrência tem apresentado resultados promissores em pesquisas anteriores [3, 11, 51, 114]. Costa [3], em sua Tese de Doutorado, utilizou algumas medidas de recorrência para classificar sinais de voz oriundos de laringes saudáveis e patológicas, com resultados relevantes. Este trabalho de Dissertação estende o trabalho de Costa, fazendo a análise dos sinais de forma não segmentadas para as taxas de recorrência não aplicadas por Costa (2%, 3%, 4% e 5%). Além disso, é realizada a análise das medidas de forma segmental. Esta pesquisa ainda aplica o método em outro estudo de caso (análise de distúrbios da voz em crianças).

O objetivo deste trabalho é empregar as medidas de recorrência apresentadas na Seção 3.5 em sinais de voz a fim de identificar qual delas (ou qual conjunto delas) consegue discriminar um paciente saudável de um paciente afetado por distúrbios da voz. No capítulo seguinte, é apresentada a metodologia empregada nesta pesquisa.

4.1 – Introdução

Nesta pesquisa, dois estudos de caso foram considerados: 1) Análise acústica de sinais de voz de laringes saudáveis e de laringes afetadas por patologias (paralisia, edema e nódulos vocais); e 2) Análise acústica do grau de intensidade de distúrbios da voz em crianças. Em ambos os estudos de caso, a metodologia segue, em termos gerais, o diagrama em blocos apresentado na Figura 4.1.

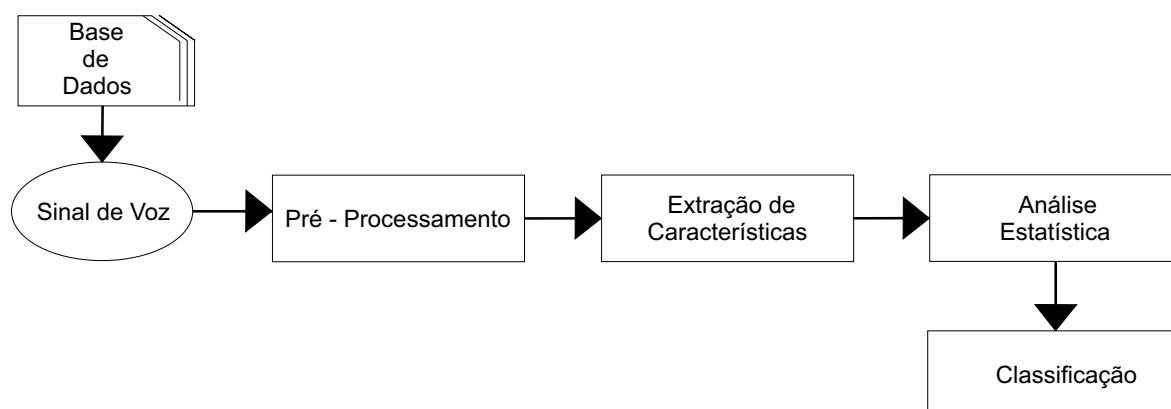


Figura 4.1 – Modelo Geral da Metodologia Empregada.

Os sinais de voz selecionados das bases de dados passam por uma etapa de pré-processamento, que consiste na segmentação ou não dos sinais em quadros. Na extração de características são obtidos os atributos representativos de cada sinal, oriundos da análise de quantificação de recorrência (medidas de quantificação de recorrência). Para avaliar o potencial discriminativo de cada medida, a análise estatística, por meio de testes de hipótese, é realizada. As características representativas de cada uma das classes consideradas são submetidas a um classificador, que faz a discriminação entre voz alterada ou saudável, classificando o tipo de patologia ou distúrbio vocal. Foram empregados, nesta pesquisa, classificadores baseados em análise discriminante linear e quadrática, bem como redes neurais *multilayer perceptron* (MLP).

Os detalhes referentes a cada estudo de caso, tais como base de dados dos sinais, tamanho e quantidade dos segmentos, atributos e tipo de classificador são apresentados a seguir.

4.2 – Estudo de Caso 1: Análise Acústica em Sinais de Laringes Saudáveis e em Sinais de Laringes Afetadas por Patologias

O Estudo de Caso 1 tem como objetivo a avaliação de sinais de vozes afetados por patologias laríngeas. Neste estudo são consideradas, para comparação, vozes consideradas saudáveis, por não terem sido afetadas por patologias e vozes afetadas por uma das seguintes patologias: edema, paralisia ou nódulos vocais. Essas patologias foram consideradas por serem as mais recorrentes na base de dados utilizada.

Nesta seção estão descritas a base de dados e a metodologia empregada para o estudo.

4.2.1 – Base de Dados

Neste estudo de caso, é utilizada a base de dados *Disordered Voice Database, Model 4337*, da Kay Elemetrics, gravada pelo *Massachusetts Eye and Ear Infirmary (MEEI) Voice and Speech Lab* [72]. Dessa base de dados, foram utilizados 53 sinais de voz de locutores com laringes saudáveis e 118 sinais de voz de locutores afetados por patologias laríngeas (55 sinais de voz de laringes afetadas por paralisia nas pregas vocais, 45 sinais de voz de laringes afetadas por edema de Reinke, e 18 sinais de voz de laringes afetadas por nódulos vocais). Os sinais são da vogal sustentada /a/. Os sinais de voz de laringes saudáveis, originalmente amostrados a 50.000 amostras/s, foram sub-amostrados a 25.000 amostras/s para equiparar à taxa de amostragem dos sinais de voz de laringes patológicas.

Cinco classes de sinais foram consideradas neste estudo de caso: saudável (SDL), paralisia (PRL), edema (EDM), nódulos (NDL) e todas as patologias juntas (PTL). A análise de quantificação de recorrência foi empregada a fim de investigar sete casos de discriminação: SDL × PTL, SDL × PRL, SDL × EDM, SDL × NDL, PRL × EDM, PRL × NDL, e EDM × NDL.

A análise dos sinais é realizada em duas formas: segmentada e não segmentada, considerando as taxas de recorrência de 1 a 5%. Cada uma das técnicas é detalhada a seguir.

4.2.2 – Análise sem Segmentação

Esta análise é uma extensão do trabalho de Tese de Costa [3], no qual a análise de quantificação de recorrência é empregada em um único trecho de 400 ms (10.000 amostras) de cada sinal da base de dados.

Os parâmetros de imersão, τ e m , foram extraídos por meio do *software* VRA (*Visual Recurrence Analysis*) [115]. A extração das medidas de quantificação de recorrência foi realizada

por meio do *software* RQA (*Recurrence Quantification Analysis*) [116]. Nesta análise, 7 medidas foram consideradas: o determinismo (*DET*), o comprimento máximo das linhas diagonais (L_{max}), a entropia de Shannon (*ENTR*), a tendência (*TREND*), a laminaridade (*LAM*), o tempo de permanência (*TT*) e o comprimento máximo das estruturas verticais (V_{max}). Essas medidas foram extraídas de forma que a taxa de recorrência (*REC*) não ultrapassasse os seguintes limiares: 1%, 2%, 3%, 4% e 5%.

No trabalho de Costa [3], a análise estatística do potencial discriminativo dessas medidas de quantificação de recorrência foi realizada, considerando a taxa de recorrência nos patamares de 1% a 5%. A classificação realizada em [3], no entanto, considerou apenas o patamar de 1% de taxa de recorrência. Neste trabalho de Dissertação, a classificação foi realizada considerando os outros patamares de taxa de recorrência (2%, 3%, 4% e 5%), a fim de observar em qual patamar de taxa de recorrência uma medida ou um conjunto de medidas apresentam melhor eficiência.

Assim como em [3], a classificação foi realizada com Análise Discriminante Linear (LDA) e Quadrática (QDA), implementadas em ambiente Matlab®v.7.9, utilizando validação cruzada com 10 subconjuntos de forma estratificada, considerando as medidas individualmente e de forma combinada 2 a 2, 3 a 3, 4 a 4, 5 a 5, 6 a 6, e as 7 conjuntamente.

4.2.3 – Análise com Segmentação

Nesta análise, cada sinal da base de dados foi segmentado em 30 trechos consecutivos de 32 ms (800 amostras em cada trecho), sem sobreposição. Esse tamanho de segmento é utilizado para realizar a análise de quantificação de recorrência em trechos de sinais de voz considerados estacionários.

A extração dos parâmetros de imersão, τ e m , e das medidas de recorrência, para cada segmento, foi realizada por meio da *toolbox* CRP (*Cross Recurrence Plots*) [117], implementada em ambiente Matlab®v.7.9. As medidas de quantificação de recorrência obtidas para esta análise foram: a taxa de recorrência (*REC*), o determinismo (*DET*), o comprimento médio das linhas diagonais (L_{med}), o comprimento máximo das linhas diagonais (L_{max}), a entropia de Shannon (*ENTR*), a laminaridade (*LAM*), o tempo de permanência (*TT*), o comprimento máximo das linhas verticais (V_{max}), a transitividade (*TRANS*), a relação entre o determinismo e a taxa de recorrência (*RATIO*), a divergência (*DIV*), o tempo de recorrência do tipo 1 (T^1), o tempo de recorrência do tipo 2 (T^2), e a entropia do tempo de recorrência do tipo 1 (*RPDE*). Tais medidas foram extraídas de forma que a taxa de recorrência (*REC*) não ultrapassasse 1%, 2%, 3%, 4% e 5%. O raio de vizinhança ε (*RAIO*) também foi analisado como medida nesta análise.

A análise estatística foi realizada com testes de Kolmogorov-Smirnov [118] e Mann-Whitney [119], por meio do *software* SPSS (*Statistical Package for the Social Sciences*) Statistics®, versão 19. O nível de significância considerado foi de 5%.

A classificação foi realizada com Análise Discriminante Linear (LDA) e Quadrática (QDA), implementadas em ambiente Matlab®v.7.9. Validação cruzada com 10 subconjuntos de forma estratificada foi realizada, considerando as medidas individualmente e de forma combinada 2 a 2,

3 a 3, 4 a 4, 5 a 5, 6 a 6, 7 a 7, 8 a 8, 9 a 9, 10 a 10, 11 a 11, 12 a 12, 13 a 13, 14 a 14, e as 15 conjuntamente. Redes neurais MLP (*Multilayer Perceptron*) também foram empregadas para classificação individual das medidas e com todas as 15 conjuntamente, em ambiente WEKA [120], para o mesmo procedimento de validação cruzada utilizado com LDA e QDA.

Análise similar foi realizada com vozes de crianças, para fins de monitoramento vocal, cuja metodologia está descrita a seguir.

4.3 – Estudo de Caso 2: Análise Acústica do Grau de Intensidade de Distúrbios da Voz em Crianças

4.3.1 – Base de Dados

Neste estudo de caso, se dispôs da base de dados fornecida pelo Laboratório de Voz e Deglutição do Departamento de Fonoaudiologia da Universidade Federal da Paraíba [71]. Dessa base de dados, foram avaliados 93 sinais de voz (vogal sustentada / ϵ /) de crianças entre 3 e 10 anos de idade. Esses sinais, inicialmente, foram classificadas com análise perceptivo-auditiva com a escala analógico visual (EAV) de acordo com o grau geral de intensidade do desvio vocal (grau 1 para voz saudável, grau 2 para voz com desvio leve e grau 3 para voz com desvio moderado). Do total de 93 sinais, 10 foram considerados normais, 70 apresentam desvio leve, e 13 apresentam desvio moderado. Não há, nessa base de dados, casos disponíveis de sinais classificados como grau geral 4 (desvio intenso). A taxa de amostragem é de 44.100 amostras/s.

Quatro classes de sinais foram consideradas neste estudo de caso: grau geral 1 (GG1), grau geral 2 (GG2), grau geral (GG3), grau geral 2 e grau geral 3 juntos (GG2 e GG3). A análise de quantificação de recorrência foi empregada a fim de investigar quatro casos de discriminação: GG1 \times (GG2 e GG3), GG1 \times GG2, GG1 \times GG3, e GG2 \times GG3.

4.3.2 – Análise sem Segmentação

Nesta análise, cada sinal da base de dados foi avaliado em um único trecho de 2 s (88.200 amostras).

Os parâmetros de imersão, τ e m , foram extraídos por meio do *software* TISEAN [121]. A extração das medidas de quantificação de recorrência foi realizada por meio do *software* RQA [116]. Nesta análise, 8 medidas foram consideradas: o determinismo (DET), o comprimento máximo das linhas diagonais (L_{max}), a entropia de Shannon ($ENTR$), a tendência ($TREND$), a laminaridade (LAM), o tempo de permanência (TT) e o comprimento máximo das estruturas verticais (V_{max}). Essas medidas foram extraídas de forma que a taxa de recorrência (REC) não ultrapassasse 1%, 2%, 3%, 4% e 5%. O raio de vizinhança ϵ ($RAIO$) também foi analisado como medida nesta análise.

A análise estatística do potencial discriminativo de cada medida nesta análise foi realizada com testes de Kolmogorov-Smirnov [118], Shapiro-Wilk [122], *t-student* [123] e Mann-Whitney [119], por meio do *software* SPSS Statistics®, versão 19. O nível de significância considerado foi de 5%.

A classificação foi realizada com Análise Discriminante Linear (LDA) e Quadrática (QDA), implementadas em ambiente Matlab®v.7.9, utilizando validação cruzada com 10 subconjuntos de forma estratificada, considerando as medidas individualmente e de forma combinada 2 a 2, 3 a 3, 4 a 4, 5 a 5, 6 a 6, 7 a 7, e as 8 conjuntamente.

4.3.3 – Análise com Segmentação

Nesta análise, cada sinal da base de dados foi segmentado em 100 trechos consecutivos de 32 ms (1.411 amostras em cada trecho), sem sobreposição.

A extração dos parâmetros de imersão, τ e m , e das medidas de recorrência, para cada segmento, assim como na análise apresentada na Seção 4.2.3, foi realizada por meio da *toolbox* CRP [117], implementada em ambiente Matlab®v.7.9. As 15 medidas de quantificação de recorrência obtidas para esta análise foram: a taxa de recorrência (*REC*), o determinismo (*DET*), o comprimento médio das linhas diagonais (L_{med}), o comprimento máximo das linhas diagonais (L_{max}), a entropia de Shannon (*ENTR*), a laminaridade (*LAM*), o tempo de permanência (*TT*), o comprimento máximo das linhas verticais (V_{max}), a transitividade (*TRANS*), a relação entre o determinismo e a taxa de recorrência (*RATIO*), a divergência (*DIV*), o tempo de recorrência do tipo 1 (T^1), o tempo de recorrência do tipo 2 (T^2), a entropia do tempo de recorrência do tipo 1 (*RPDE*), e o raio de vizinhança ε (*RAIO*). Tais medidas são extraídas de forma que a taxa de recorrência (*REC*) não ultrapassasse 1%, 2%, 3%, 4% e 5%.

A análise estatística foi realizada com testes de Kolmogorov-Smirnov [118] e Mann-Whitney [119], por meio do *software* SPSS Statistics®, versão 19. O nível de significância considerado foi de 5%.

A classificação foi realizada com Análise Discriminante Linear (LDA) e Quadrática (QDA), implementadas em ambiente Matlab®v.7.9. Validação cruzada com 10 subconjuntos de forma estratificada foi realizada, considerando as medidas individualmente e de forma combinada 2 a 2, 3 a 3, 4 a 4, 5 a 5, 6 a 6, 7 a 7, 8 a 8, 9 a 9, 10 a 10, 11 a 11, 12 a 12, 13 a 13, 14 a 14, e as 15 conjuntamente.

4.4 – Descrição dos Classificadores

Nesta Seção, são apresentados resumidamente os classificadores utilizados nesta pesquisa. Foram empregados a análise discriminante (linear e quadrática) e as redes neurais MLP.

4.4.1 – Análise Discriminante

A análise discriminante é uma técnica da estatística multivariada utilizada para classificar objetos em dois ou mais grupos. A ideia básica é a obtenção de uma combinação linear das características observadas que apresente maior poder de discriminação entre populações. Esta combinação linear é denominada função discriminante [124].

A função discriminante tem a propriedade de minimizar as probabilidades de baixas taxas de classificação, quando as populações são normalmente distribuídas com média μ e variância σ^2 conhecidas. Entretanto, em geral, a média e a variância das populações não são conhecidas, resultando na necessidade de estimação desses parâmetros. Dessa forma, pode-se assumir que as populações têm uma mesma matriz de covariâncias ou não. Quando a regra de classificação assume que as variâncias das populações são iguais, as funções discriminantes são ditas lineares (LDA) e, quando não, são funções discriminantes quadráticas (QDA) [124].

Na Figura 4.2, é apresentado um exemplo da aplicação da análise discriminante linear em um espaço de duas características. A função discriminante linear realiza a transformação dos dados de ambas as classes para o sub-espaço LDA, no qual é traçado um hiperplano de separação entre as mesmas [125].

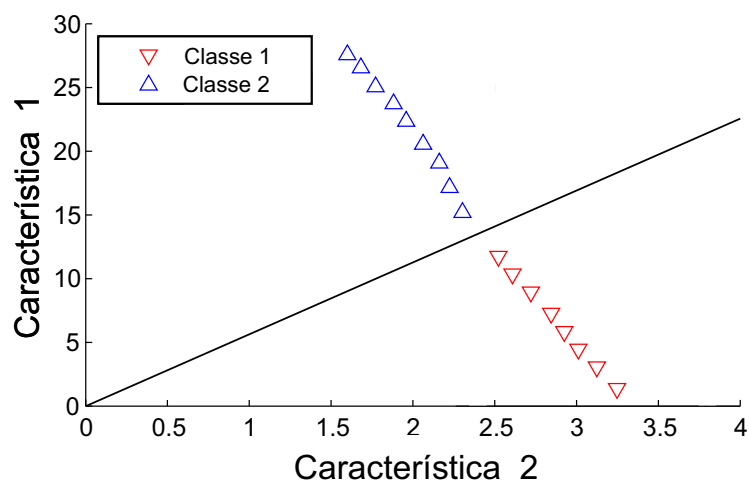


Figura 4.2 – Função discriminante linear em um espaço de características arbitrário.

Na Figura 4.3, é apresentado um exemplo da aplicação da análise discriminante quadrática em um espaço de duas características. A função discriminante quadrática busca uma curva não linear que proporcione a maior separabilidade entre as classes.

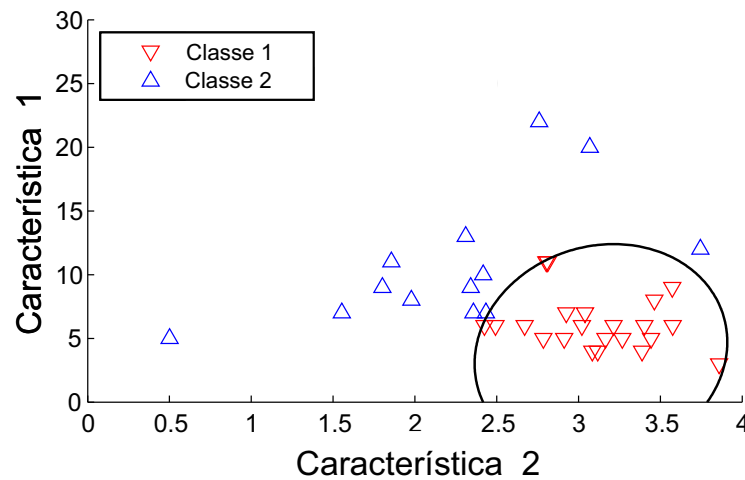


Figura 4.3 – Função discriminante quadrática em um espaço de características arbitrário.

4.4.2 – Redes Neurais MLP

As redes Perceptron de Múltiplas Camadas (*Multilayer Perceptron* – MLP) são redes neurais sem realimentação, capazes de classificar padrões que não são linearmente separáveis [126]. Esse tipo de rede neural conhece o ambiente por meio de aprendizado supervisionado, realizado por correção do erro, em que os pesos sinápticos das conexões entre as camadas são ajustados [127].

Na Figura 4.4 é apresentado um modelo simples de arquitetura de uma rede MLP. Os j neurônios da camada oculta são ativados através da função sigmóide [127], dada por:

$$N_j = \frac{1}{1 + e^{-net_j}}, \tag{4.1}$$

em que net_j é o potencial de ativação, dado pela combinação linear de todas as características de entrada, C , com os pesos sinápticos das suas respectivas conexões com o neurônio N_j .

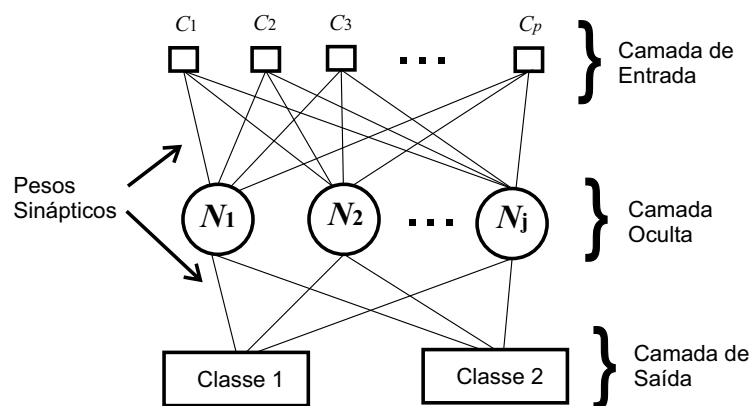


Figura 4.4 – Arquitetura básica de uma rede MLP para classificação de padrões.

Nesta pesquisa, as redes MLP foram empregadas de forma preliminar no Estudo de Caso 1, em que foram utilizadas 15 medidas de quantificação de recorrência extraídas com segmentação dos sinais de voz. Foi empregado, durante a fase de treinamento das redes neurais, o algoritmo *Backpropagation* [127] com uma camada oculta. Alguns parâmetros da rede MLP são os mesmos para todos os casos de classificação. Foi utilizada uma taxa de aprendizagem igual a 0,3 e uma taxa de momento igual a 0,2. A fase de teste do classificador é realizada com validação cruzada.

Inicialmente, para cada uma das 15 características de recorrência foi empregada uma rede MLP com um neurônio na camada de entrada, 2 neurônios na camada oculta e 2 neurônios na camada de saída. Após a observação do comportamento discriminativo de cada medida de recorrência, todas elas foram combinadas em um único vetor de características e imersas na rede com 15 neurônios de entrada, 9 neurônios na camada oculta e 2 neurônios na camada de saída.

4.5 – Análise de Desempenho da Classificação

Para mensurar a precisão dos classificadores empregados em cada estudo de caso, três medidas comumente empregadas são utilizadas: acurácia, sensibilidade e especificidade. Essas medidas estão relacionadas à capacidade de um classificador em diagnosticar uma doença em um paciente doente (Verdadeiro Positivo – VP) ou saudável (Falso Positivo – FP), ou, ainda, diagnosticar um estado saudável em um paciente saudável (Verdadeiro Negativo – VN) ou doente (Falso Negativo – FN) [3]. Cada um desses parâmetros aparecem na chamada matriz de confusão (Tabela 4.1), que representa o resultado obtido no classificador.

Tabela 4.1 – Matriz de confusão em um teste de detecção da presença/ausência de doença.

Resultado	Doença	
	Presente	Ausente
Positivo	<i>Verdadeiro Positivo (VP)</i>	<i>Falso Positivo (FP)</i>
Negativo	<i>Falso Negativo (FN)</i>	<i>Verdadeiro Negativo (VN)</i>

A medida de acurácia (Ac) mede a taxa de classificação correta global, refletindo a capacidade do classificador de identificar corretamente quando há e quando não há a presença do distúrbio. A acurácia é definida como a relação entre o número de casos corretamente classificados e todos os casos apresentados ao classificador [3]:

$$Ac = \frac{VP + VN}{VP + VN + FP + FN} \quad (4.2)$$

A medida de sensibilidade (Sen) mede a capacidade do classificador em identificar a presença do distúrbio quando ele de fato existe, sendo definida pela relação entre o número de

casos corretamente classificados como presença do distúrbio e a quantidade total de casos com o distúrbio:

$$Sen = \frac{VP}{VP + FN}. \quad (4.3)$$

A medida de especificidade (*Esp*) mede a capacidade do classificador em identificar corretamente a ausência do distúrbio quando de fato ele não existe, sendo definida pela relação entre o número de casos corretamente classificados como saudáveis e a quantidade total de casos de estado saudável:

$$Esp = \frac{VN}{VN + FP}. \quad (4.4)$$

O classificador apresenta bom desempenho caso seja capaz de obter altos valores para acurácia, sensibilidade e especificidade. Dessa forma, a discriminação entre classes (saudável *versus* patológica, por exemplo) atinge maior precisão.

A representação das medidas de sensibilidade e especificidade é mais clara quando se trata da discriminação entre uma classe saudável e uma classe patológica. Quando há a discriminação entre classes patológicas, é necessário que seja definido, no classificador, qual grupo de sinais terá sua correta classificação medida pela sensibilidade e qual grupo terá sua correta classificação medida pela especificidade. No quadro 4.1, estão apresentados todos os casos de discriminação considerados nesta pesquisa, relacionando as medidas de sensibilidade e especificidade com cada classe envolvida.

Quadro 4.1 – Relação das medidas de sensibilidade e especificidade com as classes envolvidas nos casos de discriminação.

Casos de Discriminação	Sensibilidade	Especificidade
SDL × PTL	Taxa de correta classificação dos casos patológicos (PTL)	Taxa de correta classificação dos casos saudáveis (SDL)
SDL × PRL	Taxa de correta classificação dos casos de paralisia (PRL)	Taxa de correta classificação dos casos saudáveis (SDL)
SDL × EDM	Taxa de correta classificação dos casos de edema (EDM)	Taxa de correta classificação dos casos saudáveis (SDL)
SDL × NDL	Taxa de correta classificação dos casos de nódulos (NDL)	Taxa de correta classificação dos casos saudáveis (SDL)
PRL × EDM	Taxa de correta classificação dos casos de edema (EDM)	Taxa de correta classificação dos casos de paralisia (PRL)
PRL × NDL	Taxa de correta classificação dos casos de nódulos (NDL)	Taxa de correta classificação dos casos de paralisia (PRL)
EDM × NDL	Taxa de correta classificação dos casos de nódulos (NDL)	Taxa de correta classificação dos casos de edema (EDM)
GG1 × (GG2 e GG3)	Taxa de correta classificação dos casos de vozes alteradas (GG2 e GG3)	Taxa de correta classificação dos casos saudáveis (GG1)
GG1 × GG2	Taxa de correta classificação dos casos de vozes com desvio leve (GG2)	Taxa de correta classificação dos casos saudáveis (GG1)
GG1 × GG3	Taxa de correta classificação dos casos de vozes com desvio moderado (GG3)	Taxa de correta classificação dos casos saudáveis (GG1)
GG2 × GG3	Taxa de correta classificação dos casos de vozes com desvio moderado (GG3)	Taxa de correta classificação dos casos de vozes com desvio leve (GG2)

4.6 – Discussão

Esta pesquisa investiga o potencial da análise de quantificação de recorrência em dois estudos de caso. Para cada um deles, duas formas de análise são empregadas: análise em um único trecho de cada sinal, e análise em segmentos consecutivos de cada sinal.

O objetivo de dividir a análise em duas formas, com e sem segmentação, é avaliar se a modelagem acústica dos sinais por meio das medidas de análise de quantificação de recorrência leva em conta ou não a não-estacionaridade dos sinais de voz. A questão principal é qual tipo de análise é mais adequada no presente estudo, segmentada ou sem segmentação. A vantagem da segmentação seria a diminuição do tempo de processamento na construção dos gráficos de recorrência.

Além de investigar se o método proposto é mais eficiente com ou sem segmentação dos sinais de voz, esta pesquisa extraiu as medidas de quantificação de recorrência de acordo com cinco patamares de taxa de recorrência: 1%, 2%, 3%, 4% e 5%. Isso tem como objetivo observar em qual patamar de taxa de recorrência o método pode ser empregado com maior precisão. Outros fatores concernentes a estes pontos são tratados de forma mais detalhada no Capítulo 5, na apresentação dos resultados obtidos.

5.1 – Introdução

Neste Capítulo, são apresentados os resultados obtidos na pesquisa, que compreendem, de acordo com o diagrama de blocos da Figura 4.1, às etapas de análise estatística e classificação dos sinais de voz, que tem como objetivo investigar o potencial discriminativo das medidas de quantificação de recorrência, no Estudo de Caso 1 (discriminação entre sinais de vozes saudáveis e vozes patológicas) e no Estudo de Caso 2 (discriminação entre graus de distúrbios de vozes infantis).

5.2 – Análise Estatística

Os resultados referentes à análise estatística realizada são apresentados nesta Seção. A metodologia dessa análise está apresentada no Capítulo 4. Foi avaliado se cada medida de quantificação de recorrência empregada apresenta potencial estatístico discriminativo entre as classes envolvidas.

5.2.1 – Análise Estatística no Estudo de Caso 1

A análise estatística realizada nesta pesquisa para o Estudo de Caso 1 foi realizada com as medidas extraídas com segmentação. Com as medidas extraídas sem segmentação, Costa [3] realizou a análise estatística considerando todos os patamares de taxa de recorrência.

Na Tabela 5.1, está apresentado um resumo do potencial discriminativo das medidas de quantificação de recorrência empregadas com segmentação. Em alguns casos de discriminação, todas as medidas de quantificação de recorrência empregadas apresentaram potencial de separação entre os grupos de sinais de voz.

Na discriminação entre sinais de voz de laringes saudáveis (SDL) e o conjunto de sinais de voz de laringes afetadas por patologias (PTL), apenas a medida do tempo de recorrência do tipo 2 não apresentou diferenças estatísticas significativas, com a taxa de recorrência entre 1% e 3%. O potencial discriminativo das demais medidas indica que tanto a formação de estruturas

diagonais quanto a formação de estruturas verticais podem ser fatores discriminativos entre as duas classes.

Tabela 5.1 – Medidas de quantificação de recorrência com potencial discriminativo no Estudo de Caso 1, com segmentação.

Casos de Discriminação	Taxa de Recorrência (<i>REC</i>)				
	≤ 1%	≤ 2%	≤ 3%	≤ 4%	≤ 5%
SDL × PTL	TODAS	TODAS, exceto T^2	TODAS, exceto T^2	TODAS	TODAS
SDL × PRL	TODAS	TODAS, exceto <i>LAM</i>	TODAS	TODAS	TODAS
SDL × EDM	TODAS, exceto T^2	TODAS, exceto <i>RAIO</i>	TODAS, exceto <i>LAM</i>	TODAS, exceto <i>RATIO</i> e <i>ENTR</i>	TODAS
SDL × NDL	TODAS, exceto <i>RAIO</i> e T^2	TODAS, exceto <i>RATIO</i>	TODAS, exceto <i>RATIO</i> e <i>ENTR</i>	TODAS, exceto <i>RATIO</i>	TODAS, exceto <i>RATIO</i> e <i>TRANS</i>
PRL × EDM	TODAS, exceto <i>LAM</i>	TODAS	TODAS	TODAS, exceto V_{max}	TODAS, exceto V_{max}
PRL × NDL	TODAS	TODAS	TODAS, exceto L_{max} e <i>DIV</i>	TODAS	TODAS
EDM × NDL	TODAS, exceto <i>TRANS</i> , <i>RATIO</i> , <i>LAM</i> , TT , V_{max} e T^2	TODAS, exceto <i>DET</i> , <i>ENTR</i> , <i>LAM</i> e TT	TODAS, exceto <i>ENTR</i> e <i>LAM</i>	TODAS, exceto L_{med}	TODAS, exceto L_{med} , L_{max} , <i>DIV</i> , <i>ENTR</i> e T^1

Na discriminação entre sinais de voz de laringes saudáveis e cada uma das outras patologias houve comportamento discriminativo semelhante, com algumas exceções. No caso de discriminação entre vozes de laringes saudáveis e vozes de laringes afetadas por nódulos, a medida *RATIO* não apresentou potencial estatístico para valores de taxa de recorrência entre 1% e 5%. Isso indica que a presença de linhas diagonais tem frequências semelhantes nos dois tipos de sinais (Figuras 3.25 e 3.28), mesmo que o comprimento dessas linhas sejam maiores no grupo saudável. Esse comportamento pode ser explicado pelo fato de nódulos vocais não constituírem de uma patologia severa.

No caso de discriminação entre sinais de laringes afetadas por paralisia (PRL) e sinais de laringes afetadas por edema (EDM), exceções foram encontradas com medidas baseadas na formação de estruturas verticais (*LAM* e V_{max}), com a taxa de recorrência entre 0% e 1% e entre 3% e 5%. No caso de discriminação entre laringes afetadas por paralisia e laringes afetadas por nódulos (NDL), exceções foram encontradas com medidas baseadas na formação de estruturas diagonais (L_{max} e *DIV*), com a taxa de recorrência entre 2% e 3%.

Apenas no caso de discriminação entre os grupos edema e nódulos houve exceções em todos os patamares de taxa de recorrência considerados. A dificuldade de separar essas duas patologias pode ser explicada pelo fato de ambas constituírem de lesões de massa das pregas vocais, apresentando fisiologia semelhante [5]. Neste caso de discriminação, medidas baseadas em estruturas verticais apresentaram potencial estatístico com maiores valores de taxa de recorrência, indicando que a identificação de estados laminares para fins discriminativos entre essas duas classes deve ocorrer com maiores valores de raio. Ou seja, é necessário observar uma maior quantidade de pontos de recorrência para que a formação de estruturas verticais seja um fator discriminante entre edema e nódulos. Em contrapartida, o aumento da taxa de

recorrência faz com que medidas como o comprimento médio e o comprimento máximo das estruturas diagonais não apresentem potencial discriminativo.

No APÊNDICE A, é apresentada uma caracterização mais detalhada das medidas de quantificação de recorrência empregadas neste estudo de caso. A seguir, os resultados da análise estatística realizada no Estudo de Caso 2.

5.2.2 – Análise Estatística no Estudo de Caso 2

A análise estatística realizada no Estudo de Caso 2 foi realizada com as medidas de quantificação de recorrência extraídas sem segmentação e com segmentação.

Na Tabela 5.2, está apresentado um resumo do potencial discriminativo das medidas de quantificação de recorrência empregadas sem segmentação neste estudo de caso. Com a taxa de recorrência entre 0% e 1%, na maioria dos casos de discriminação, as medidas que apresentaram potencial discriminativo foram LAM , TT e V_{max} , as quais são baseadas na formação de estruturas verticais no gráfico de recorrência. Isso indica que, nesse patamar de taxa de recorrência, a formação de estruturas verticais é um fator importante no caráter discriminativo dos grupos considerados.

Tabela 5.2 – Medidas de quantificação de recorrência com potencial discriminativo no Estudo de Caso 2, sem segmentação.

Casos de Discriminação	Taxa de Recorrência (REC)				
	$\leq 1\%$	$\leq 2\%$	$\leq 3\%$	$\leq 4\%$	$\leq 5\%$
GG1 \times (GG2 e GG3)	LAM , TT e V_{max}	L_{max}	L_{max}	Nenhuma Medida	Nenhuma Medida
GG1 \times GG2	LAM e TT	L_{max}	L_{max}	Nenhuma Medida	Nenhuma Medida
GG1 \times GG3	$RAIO$, LAM e TT	Nenhuma Medida	Nenhuma Medida	Nenhuma Medida	Nenhuma Medida
GG2 \times GG3	Nenhuma Medida	Nenhuma Medida	Nenhuma Medida	Nenhuma Medida	L_{max}

Com o aumento da taxa de recorrência, apenas a medida do comprimento máximo das linhas diagonais, em alguns casos, apresentou potencial de separação entre os grupos considerados neste estudo de caso. O fato de em alguns casos não ser apresentada significância estatística de discriminação pode estar relacionado ao pequeno número de sinais em dois dos grupos considerados, sendo apenas 10 sinais no grupo com grau geral normal (GG1) e 13 sinais no grupo com grau geral moderado (GG3), frente a 70 sinais no grupo com grau geral leve (GG2). Além disso, em cada grupo de sinais há predomínio de diferentes fatores não tratados nesta pesquisa, tais como rugosidade, soproisidade, tensão e instabilidade.

Apesar de as medidas avaliadas individualmente nos testes estatísticos não terem apresentado potencial significativo na maioria dos casos de discriminação, foi realizada a classificação (Seção 5.4.1) com as medidas combinadas e não combinadas, a fim de observar se a combinação faz com que sejam observados aspectos complementares dessas medidas.

Na Tabela 5.3, está apresentado um resumo do potencial discriminativo das medidas de quantificação de recorrência empregadas no estudo de caso 2 com segmentação. Com a taxa de recorrência entre 0% e 1%, todas as medidas empregadas apresentam potencial estatístico significativo em discriminar os grupos de sinais considerados neste estudo de caso. Isso indica que, quando esses sinais são avaliados de forma segmentada e considerando a taxa de recorrência no patamar de 1%, tanto formação de estruturas diagonais quanto a formação de estruturas verticais são fatores discriminativos entre todas as classes envolvidas.

Tabela 5.3 – Medidas de quantificação de recorrência com potencial discriminativo no Estudo de Caso 2, com segmentação.

Casos de Discriminação	Taxa de Recorrência (<i>REC</i>)				
	$\leq 1\%$	$\leq 2\%$	$\leq 3\%$	$\leq 4\%$	$\leq 5\%$
GG1 × (GG2 e GG3)	TODAS	TODAS, exceto <i>TT</i>	TODAS	TODAS, exceto <i>RAIO</i>	TODAS, exceto <i>RAIO</i> e T^1
GG1 × GG2	TODAS	TODAS, exceto <i>TT</i> e V_{max}	TODAS	TODAS, exceto <i>RAIO</i> e T^1	TODAS, exceto <i>RAIO</i> e T^1
GG1 × GG3	TODAS	TODAS	TODAS, exceto V_{max}	TODAS, exceto <i>RAIO</i> e V_{max}	TODAS, exceto <i>RAIO</i> e T^1
GG2 × GG3	TODAS	TODAS, exceto <i>RAIO</i>	TODAS, exceto <i>RAIO</i>	TODAS, exceto <i>RAIO</i> , <i>LAM</i> e <i>RPDE</i>	TODAS, exceto <i>ENTR</i> , <i>LAM</i> , <i>TT</i> e T^2

Considerando os outros patamares de taxa de recorrência, medidas baseadas na formação de estruturas diagonais apresentaram potencial discriminativo, mostrando que esse é um fator importante na análise de quantificação de recorrência de forma segmentada. No caso de discriminação entre os dois grupos de vozes alteradas (GG2 × GG3), a formação de estados laminares também se apresenta como um fator discriminativo, porém com a taxa de recorrência até o patamar de 3%.

No APÊNDICE B, é apresentada uma caracterização mais detalhada das medidas de quantificação de recorrência, extraídas com e sem segmentação, empregadas neste estudo de caso. A seguir, os resultados da classificação realizada na pesquisa.

5.3 – Classificação no Estudo de Caso 1

Os resultados referentes à classificação realizada no Estudo de Caso 1 são apresentados nesta Seção. A classificação foi realizada com as medidas extraídas sem segmentação e com segmentação, de acordo com a metodologia apresentada na Seção 4.2. Entre os classificadores LDA e QDA, o segundo foi escolhido por ter apresentado os melhores resultados na maioria dos casos considerados.

5.3.1 – Classificação com as Medidas Extraídas sem Segmentação

Na presente pesquisa, a classificação foi realizada considerando a taxa de recorrência nos seguintes patamares: 2%, 3%, 4% e 5%, extendendo o trabalho de Costa [3], que realizou a

classificação com a taxa de recorrência no patamar de 1%. O objetivo é identificar qual a medida ou conjunto de medidas apresentam melhor desempenho na classificação, e qual o patamar de taxa de recorrência associado. A seguir, os resultados obtidos para cada caso de discriminação considerado.

Classificação Saudável × Patológica

Na Tabela 5.4, estão apresentados os melhores valores obtidos de acurácia (Ac), sensibilidade (Sen) especificidade (Esp) de cada medida empregada sem segmentação em sinais de voz oriundos de laringes saudáveis e laringes patológicas, e os respectivos patamares de taxa de recorrência nos quais foi obtido esse desempenho.

Tabela 5.4 – Melhor desempenho na classificação dos sinais de voz de laringes saudáveis e patológicas com as medidas de quantificação de recorrência empregadas sem segmentação.

Medida	Ac (%)	Sen (%)	Esp (%)	$REC \leq$
DET	68,33 ± 2,58	57,58 ± 3,59	92,00 ± 4,43	2%
L_{max}	94,15* ± 1,24	94,85 ± 1,95	92,33 ± 4,34	2%
$ENTR$	65,46 ± 2,88	53,41 ± 3,32	92,33 ± 3,15	2%
$TREND$	60,20 ± 2,65	80,15 ± 5,72	14,67 ± 6,53	2%
LAM	56,76 ± 2,84	40,53 ± 4,03	92,67 ± 3,02	5%
TT	52,06 ± 2,05	39,09 ± 4,26	81,33 ± 6,49	4%
V_{max}	63,69 ± 5,35	53,03 ± 5,61	87,33 ± 7,34	2%

*acurácia média máxima

Neste caso de discriminação, a maioria das medidas de quantificação de recorrência empregadas obtiveram os maiores valores de acurácia no patamar de taxa de recorrência de 2%. A medida do comprimento máximo das linhas diagonais (L_{max}) proporcionou o melhor desempenho do classificador, indicando que a formação de estruturas diagonais no gráfico de recorrência é o principal fator discriminativo entre as classes consideradas. Na Figura 5.1, há um comparativo dos principais valores de acurácia obtidos nesta pesquisa e os valores de acurácia obtidos por Costa [3], no qual considera a taxa de recorrência no patamar de 1%.

Similar ao que foi obtido por Costa, L_{max} também apresentou o maior valor de acurácia. Nesta pesquisa, no entanto, obteve-se um maior valor de acurácia com a taxa de recorrência de 2%. Outra medida que proporcionou um melhor desempenho do classificador em relação à pesquisa de Costa foi a laminaridade (LAM).

Na Tabela 5.5, é apresentado o resultado referente aos melhores desempenhos da classificação com as medidas de quantificação de recorrência combinadas, em cada patamar de taxa de recorrência considerado.

Com a combinação das medidas de recorrência empregadas, o melhor desempenho de classificação foi obtido com as medidas comprimento máximo das linhas diagonais e laminaridade, no patamar de taxa de recorrência de 2%. Essa combinação reduziu a eficiência do classificador, se comparado com o resultado obtido com a medida comprimento máximo das linhas diagonais individualmente. Costa [3] obteve menor valor de acurácia ao combinar as

medidas L_{max} , $ENTR$, LAM e V_{max} ($92,48\% \pm 6,49\%$), com sensibilidade de $93,26\% \pm 6,60\%$ e especificidade de $90,67\% \pm 12,65\%$.

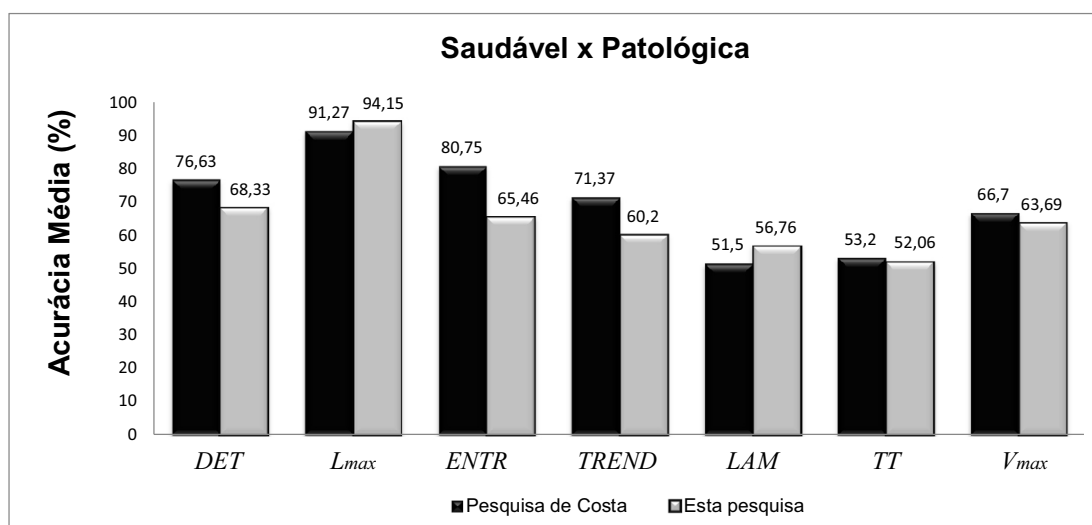


Figura 5.1 – Comparativo entre os resultados obtidos por Costa [3] e os resultados obtidos nesta pesquisa, na classificação de sinais de voz de laringes saudáveis e patológicas.

Tabela 5.5 – Melhor desempenho da classificação dos sinais de voz de laringes saudáveis e patológicas com as medidas de quantificação de recorrência combinadas, extraídas sem segmentação, por patamar de taxa de recorrência.

REC ≤	Ac (%)	Sen (%)	Esp (%)	Conjunto de Medidas
2%	93,53* ± 1,85	93,33 ± 2,72	94,33 ± 2,90	L_{max} e LAM
3%	89,44 ± 1,93	92,35 ± 2,38	83,33 ± 6,33	L_{max} e DET
4%	84,77 ± 3,20	89,70 ± 3,12	73,33 ± 6,60	L_{max} e TT
5%	83,07 ± 0,97	87,20 ± 2,31	72,67 ± 5,59	L_{max} , TREND e TT

*acurácia média máxima

Classificação Saudável × Paralisia

Na Tabela 5.6, estão apresentados os melhores resultados obtidos com cada medida empregada, sem segmentação, em sinais de voz oriundos de laringes saudáveis e laringes afetadas por paralisia, e os respectivos patamares de taxa de recorrência.

Assim, como no caso de discriminação entre vozes de laringes saudáveis e vozes de laringes patológicas (em que são consideradas as patologias paralisia, edema e nódulos), a maioria das medidas de quantificação de recorrência empregadas proporcionou os maiores valores de acurácia no patamar de taxa de recorrência de 2%, e a medida do comprimento máximo das linhas diagonais proporcionou o melhor desempenho do classificador. Na Figura 5.2, há um comparativo dos principais valores de acurácia obtidos nesta pesquisa e os valores de acurácia obtidos por Costa [3], no qual considera a taxa de recorrência no patamar de 1%.

A medida L_{max} , com a taxa de recorrência no patamar de 2%, proporcionou o melhor desempenho da classificação, se comparado, também, com o resultado apresentado por

Costa [3]. A medida *LAM* também proporcionou melhor classificação dos sinais com a taxa de recorrência acima de 1%.

Tabela 5.6 – Melhor desempenho na classificação dos sinais de voz de laringes saudáveis e sinais de voz de laringes afetadas por paralisia com as medidas de quantificação de recorrência empregadas sem segmentação.

Medida	<i>Ac</i> (%)	<i>Sen</i> (%)	<i>Esp</i> (%)	<i>REC</i> ≤
<i>DET</i>	80,73 ± 4,59	69,00 ± 8,58	92,33 ± 4,34	2%
<i>L_{max}</i>	96,27* ± 1,53	96,33 ± 2,46	96,00 ± 2,67	2%
<i>ENTR</i>	80,73 ± 3,44	67,67 ± 7,78	94,33 ± 2,90	2%
<i>TREND</i>	55,64 ± 3,18	19,33 ± 5,49	92,67 ± 3,91	5%
<i>LAM</i>	71,36 ± 4,63	51,33 ± 7,33	92,00 ± 6,11	5%
<i>TT</i>	58,36 ± 5,72	39,33 ± 7,51	76,67 ± 7,66	3%
<i>V_{max}</i>	74,91 ± 3,96	62,33 ± 5,26	88,33 ± 4,37	2%

*acurácia média máxima

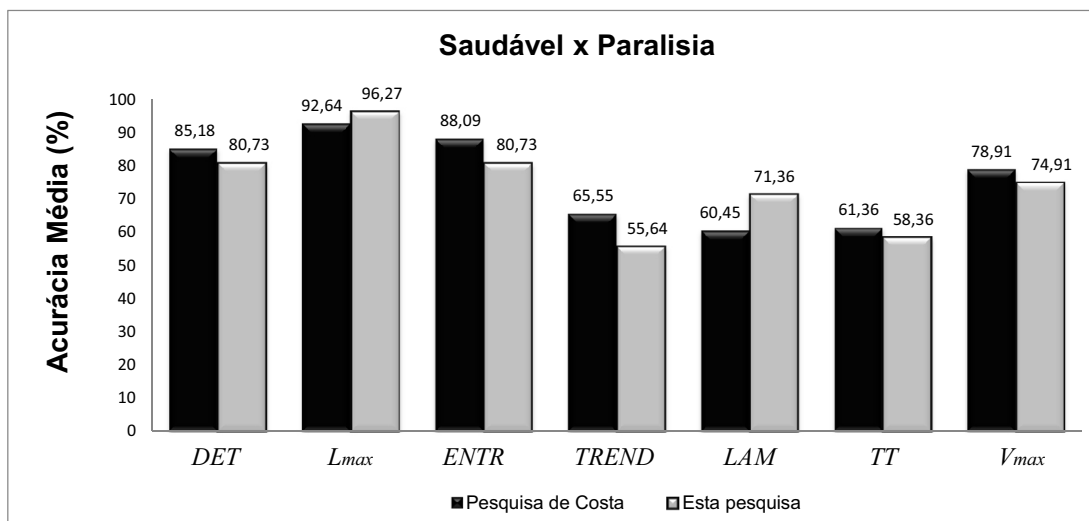


Figura 5.2 – Comparativo entre os resultados obtidos por Costa [3] e os resultados obtidos nesta pesquisa, na classificação de sinais de voz de laringes saudáveis e laringes com paralisia.

Na Tabela 5.7, é apresentado o resultado referente aos melhores desempenhos da classificação com as medidas de quantificação de recorrência combinadas, em cada patamar de taxa de recorrência considerado nesse caso de discriminação.

Tabela 5.7 – Melhor desempenho da classificação dos sinais de voz de laringes saudáveis e laringes afetadas por paralisia com as medidas de quantificação de recorrência combinadas, extraídas sem segmentação, por patamar de taxa de recorrência.

<i>REC</i> ≤	<i>Ac</i> (%)	<i>Sen</i> (%)	<i>Esp</i> (%)	Conjunto de Medidas
2%	95,36 ± 2,06	94,33 ± 4,16	96,33 ± 2,46	<i>L_{max}</i> e <i>ENTR</i>
3%	96,36* ± 1,48	95,00 ± 2,55	98,33 ± 1,67	<i>L_{max}</i> e <i>TT</i>
4%	90,73 ± 1,92	92,67 ± 3,02	88,67 ± 4,31	<i>L_{max}</i> e <i>TREND</i>
5%	88,73 ± 3,14	91,00 ± 4,25	86,67 ± 4,19	<i>L_{max}</i> , <i>TREND</i> e <i>V_{max}</i>

*acurácia média máxima

A combinação das medidas *L_{max}* e *TT* proporcionou o melhor desempenho de classificação com o patamar de taxa de recorrência de 3%. Esse resultado foi melhor que o

desempenho individual da medida L_{max} no patamar de 2% em relação aos valores de acurácia e especificidade. Entretanto, o aumento na acurácia foi de apenas 0,09%, valor praticamente irrelevante ao considerar-se o desvio padrão obtido. Costa [3] obteve uma acurácia máxima de $95,45\% \pm 4,79\%$ combinando as medidas DET , L_{max} , $ENTR$, TT e V_{max} , com sensibilidade de $92,67\% \pm 9,53\%$ e especificidade de $98,33\% \pm 5,27\%$.

Classificação Saudável × Edema

Na Tabela 5.8, está apresentada a avaliação de desempenho de cada medida empregada, sem segmentação, em sinais de voz oriundos de laringes saudáveis e laringes afetadas por edema, e os respectivos patamares de taxa de recorrência nos quais foi obtido o melhor desempenho.

Tabela 5.8 – Melhor desempenho na classificação dos sinais de voz de laringes saudáveis e sinais de voz de laringes afetadas por edema com as medidas de quantificação de recorrência empregadas sem segmentação.

Medida	Ac (%)	Sen (%)	Esp (%)	REC ≤
DET	$71,33 \pm 3,95$	$49,50 \pm 6,94$	$91,00 \pm 3,92$	2%
L_{max}	$85,67^* \pm 3,10$	$88,00 \pm 5,49$	$83,67 \pm 4,70$	2%
$ENTR$	$66,11 \pm 4,49$	$39,50 \pm 7,66$	$88,67 \pm 4,31$	2%
$TREND$	$44,89 \pm 4,22$	$76,00 \pm 6,66$	$18,67 \pm 7,74$	2%
LAM	$65,22 \pm 2,78$	$33,00 \pm 7,12$	$93,00 \pm 3,80$	5%
TT	$63,56 \pm 5,87$	$40,00 \pm 8,24$	$82,67 \pm 6,29$	4%
V_{max}	$72,67 \pm 3,87$	$54,50 \pm 9,09$	$88,67 \pm 3,11$	2%

*acurácia média máxima

A medida que proporcionou o melhor desempenho do classificador foi, assim como nos casos anteriores, o comprimento máximo das linhas diagonais (L_{max}). Na Figura 5.3, há um comparativo dos principais valores de acurácia obtidos nesta pesquisa e os valores de acurácia obtidos por Costa [3], no qual considera a taxa de recorrência no patamar de 1%.

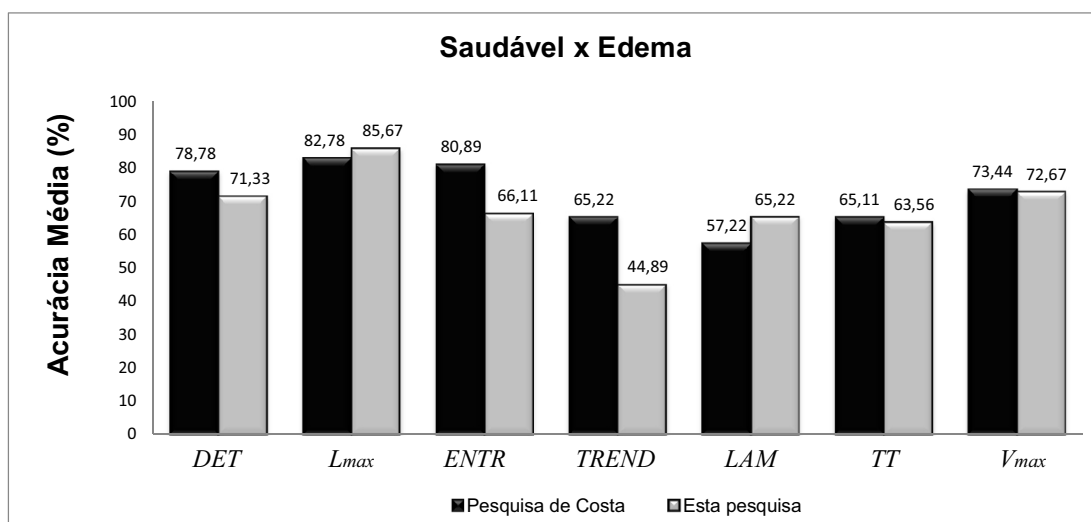


Figura 5.3 – Comparativo entre os resultados obtidos por Costa [3] e os resultados obtidos nesta pesquisa, na classificação de sinais de voz de laringes saudáveis e laringes com edema.

As medidas comprimento máximo das linhas diagonais e laminaridade, para este caso de discriminação, também proporcionaram melhores desempenhos do classificador do que as mesmas medidas no patamar de taxa de recorrência de 1%, apresentado por Costa [3]. Além disso, o comprimento máximo das linhas diagonais apresentou o melhor desempenho individual entre todas as medidas empregadas, considerado a taxa de recorrência no patamar de 2%.

Na Tabela 5.9, estão apresentados os valores de acurácia, sensibilidade e especificidade referentes aos melhores desempenhos da classificação com as medidas de quantificação de recorrência combinadas, em cada patamar de taxa de recorrência considerado nesse caso de discriminação.

Tabela 5.9 – Melhor desempenho da classificação dos sinais de voz de laringes saudáveis e laringes afetadas por edema com as medidas de quantificação de recorrência combinadas, extraídas sem segmentação, por patamar de taxa de recorrência.

$REC \leq$	Ac (%)	Sen (%)	Esp (%)	Conjunto de Medidas
2%	$90,78^* \pm 2,46$	$89,00 \pm 0,55$	$92,33 \pm 3,15$	L_{max} , LAM e TT
3%	$85,67 \pm 4,03$	$88,50 \pm 5,38$	$82,67 \pm 4,36$	L_{max} e V_{max}
4%	$77,67 \pm 3,22$	$58,50 \pm 7,35$	$92,67 \pm 3,02$	DET , L_{max} , $ENTR$, LAM , TT e V_{max}
5%	$76,33 \pm 4,38$	$71,00 \pm 6,54$	$80,33 \pm 5,18$	L_{max} , DET e V_{max}

*acurácia média máxima

O melhor desempenho de classificação foi obtido no patamar de taxa de recorrência de 2%, com a combinação das medidas L_{max} , LAM e TT (Tabela 5.9). Costa [3], obteve maior valor de acurácia ($91,78\% \pm 7,96\%$) combinando as medidas DET , L_{max} , $ENTR$, TT e V_{max} , com sensibilidade de $89,00\% \pm 11,74\%$ e especificidade de $94,00\% \pm 9,66\%$. Considerando-se os valores de desvio padrão, a diferença entre o que foi obtido na taxa de 2% , nesta pesquisa e em 1%, por Costa, não é significativa.

Classificação Saudável \times Nódulos

Na Tabela 5.10, estão apresentados os melhores valores da classificação realizada com as medidas de quantificação de recorrência, empregadas sem segmentação, em sinais de voz oriundos de laringes saudáveis e laringes afetadas por nódulos e o patamar de taxa de recorrência associado.

Tabela 5.10 – Melhor desempenho na classificação dos sinais de voz de laringes saudáveis e sinais de voz de laringes afetadas por nódulos com as medidas de quantificação de recorrência empregadas sem segmentação.

Medida	Ac (%)	Sen (%)	Esp (%)	$REC \leq$
DET	$75,89 \pm 5,28$	$45,00 \pm 11,68$	$86,67 \pm 5,95$	2%
L_{max}	$94,29^* \pm 2,34$	$90,00 \pm 6,67$	$96,33 \pm 2,46$	2%
$ENTR$	$71,96 \pm 5,51$	$55,00 \pm 11,68$	$77,67 \pm 6,25$	2%
$TREND$	$42,50 \pm 6,13$	$80,00 \pm 11,06$	$29,00 \pm 7,67$	5%
LAM	$68,93 \pm 4,71$	$25,00 \pm 11,19$	$84,67 \pm 5,54$	4%
TT	$67,32 \pm 4,38$	$60,00 \pm 12,48$	$69,00 \pm 7,67$	3%
V_{max}	$74,46 \pm 5,18$	$75,00 \pm 13,45$	$73,33 \pm 6,80$	5%

*acurácia média máxima

A medida do comprimento máximo das linhas diagonais (L_{max}) proporcionou o melhor desempenho do classificador neste caso de discriminação, considerando o patamar de taxa de recorrência de 2%. Na Figura 5.4, há um comparativo dos principais valores de acurácia obtidos nesta pesquisa e os valores de acurácia obtidos por Costa [3], no qual considera a taxa de recorrência no patamar de 1%.

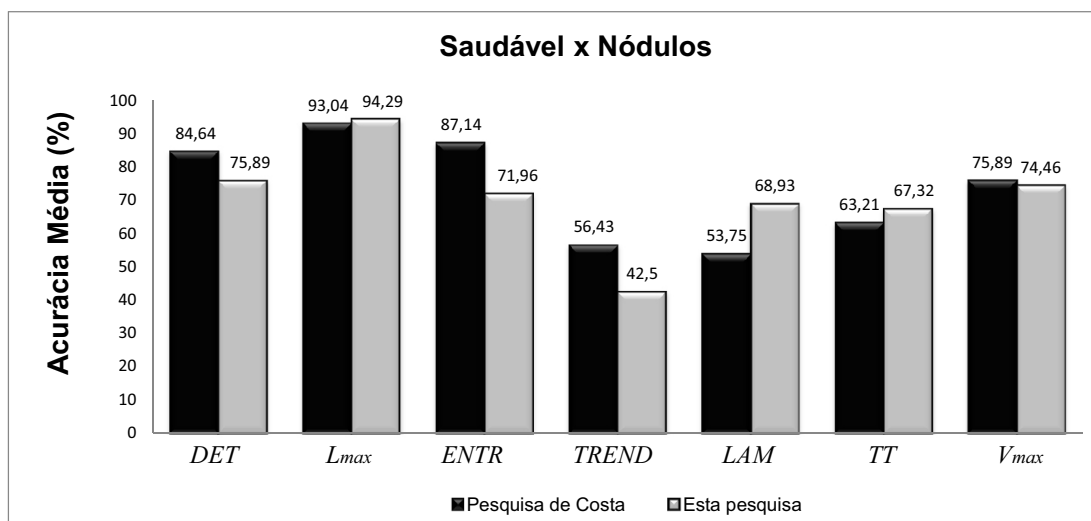


Figura 5.4 – Comparativo entre os resultados obtidos por Costa [3] e os resultados obtidos nesta pesquisa, na classificação de sinais de voz de laringes saudáveis e laringes com edema.

Medidas que, em outros patamares de taxa de recorrência, proporcionaram um melhor desempenho do classificador do que aquele apresentado por Costa [3] foram L_{max} , LAM e TT. Assim, L_{max} , no patamar de taxa de recorrência de 2%, apresenta maior potencial de separação das classes saudável e edema.

Na Tabela 5.11, é apresentado o resultado referente aos melhores desempenhos da classificação com as medidas de quantificação de recorrência combinadas, em cada patamar de taxa de recorrência considerado.

Tabela 5.11 – Melhor desempenho da classificação dos sinais de voz de laringes saudáveis e laringes afetadas por nódulos com as medidas de quantificação de recorrência combinadas, extraídas sem segmentação, por patamar de taxa de recorrência.

REC ≤	Ac (%)	Sen (%)	Esp (%)	Conjunto de Medidas
2%	94,64* ± 2,88	85,00 ± 10,68	96,67 ± 3,34	DET, L_{max} , TREND e V_{max}
3%	88,75 ± 3,55	85,00 ± 7,64	90,33 ± 4,41	DET, L_{max} e TT
4%	81,79 ± 4,21	50,00 ± 12,92	90,33 ± 4,41	DET e L_{max}
5%	78,93 ± 2,29	40,00 ± 12,48	90,67 ± 3,14	DET e TT

*acurácia média máxima

No patamar de taxa de recorrência de 2% foi obtido o melhor desempenho entre os valores de taxa de recorrência, com a combinação de quatro características (DET, L_{max} , TREND e V_{max}). Porém, a combinação de características representou um aumento de apenas 0,35% no valor da acurácia em relação ao uso de apenas uma medida, L_{max} . Costa [3] obteve

maior valor de acurácia ($95,71\% \pm 6,90\%$) com quatro diferentes combinações: *DET* e L_{max} ; L_{max} e *ENTR*; L_{max} e *LAM*; L_{max} e *TT*. Os valores de sensibilidade e especificidade obtidos por Costa foram $95,00\% \pm 15,81\%$ e $96,00\% \pm 8,43\%$, respectivamente.

A seguir, são apresentados os resultados da classificação nos casos de discriminação entre patologias.

Classificação Paralisia × Edema

Na Tabela 5.12, está apresentada a avaliação de desempenho cada medida empregada sem segmentação em sinais de vozes afetados por paralisia e vozes afetadas por edema, e os respectivos patamares de taxa de recorrência.

Tabela 5.12 – Melhor desempenho na classificação dos sinais de voz de laringes afetadas por paralisia e sinais de voz de laringes afetadas por edema com as medidas de quantificação de recorrência empregadas sem segmentação.

Medida	Ac (%)	Sen (%)	Esp (%)	REC ≤
<i>DET</i>	61,00 ± 4,82	80,00 ± 6,42	45,67 ± 4,93	2%
L_{max}	68,00* ± 2,50	40,50 ± 7,87	91,67 ± 5,13	3%
<i>ENTR</i>	63,00 ± 5,18	81,50 ± 8,64	48,33 ± 6,23	3%
<i>TREND</i>	48,00 ± 4,67	79,00 ± 8,47	23,00 ± 5,15	3%
<i>LAM</i>	54,00 ± 3,40	84,50 ± 6,22	29,33 ± 3,14	2%
<i>TT</i>	60,00 ± 5,17	59,00 ± 6,79	60,67 ± 7,46	3%
V_{max}	48,00 ± 4,17	50,50 ± 7,29	64,00 ± 4,82	2%

*acurácia média máxima

A maioria das medidas de quantificação de recorrência, empregadas neste caso de discriminação, proporcionaram melhores desempenhos de classificação com a taxa de recorrência no patamar de 3%. Nesse patamar, a medida do comprimento máximo das linhas diagonais (L_{max}) proporcionou o melhor desempenho do classificador em relação às demais medidas. Na Figura 5.5, há um comparativo dos principais valores de acurácia obtidos nesta pesquisa e os valores de acurácia obtidos por Costa [3], no qual considera a taxa de recorrência no patamar de 1%.

As medidas L_{max} , *ENTR*, *TREND*, *TT* e L_{max} , nesta pesquisa, obtiveram resultados superiores ao obtido por Costa [3], com a medida V_{max} . Sendo L_{max} , a medida com maior valor de acurácia.

Na Tabela 5.13, estão apresentados os valores de acurácia, sensibilidade e especificidade referentes aos melhores desempenhos da classificação com as medidas de quantificação de recorrência combinadas, em cada patamar de taxa de recorrência considerado.

O maior de valor de acurácia foi obtido a partir da combinação de duas medidas de quantificação de recorrência: L_{max} e *TREND*, considerando a taxa de recorrência no patamar de 2%. Essa combinação é mais eficiente do que a utilização apenas da medida L_{max} neste caso de discriminação. Costa [3] obteve menor valor de acurácia ($68,00\% \pm 11,35\%$) combinando as medidas *DET*, L_{max} e *TREND*, com melhor valor de sensibilidade de $75,00\% \pm 20,00\%$, e

outra combinação (*DET*, *LAM* e *TT*), que teve acurácia de $68,00\% \pm 16,19\%$, obteve melhor especificidade ($72,33\% \pm 20,43\%$).

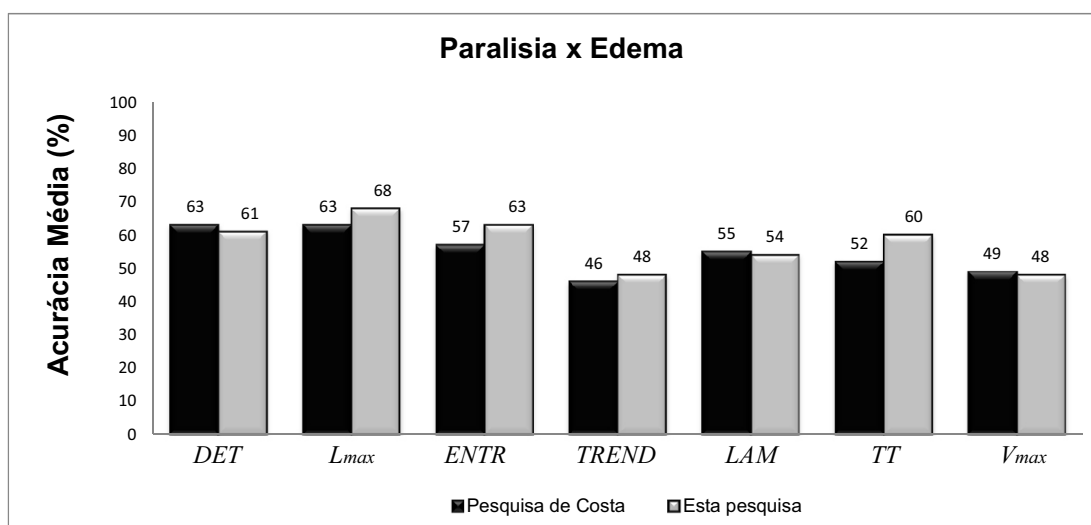


Figura 5.5 – Comparativo entre os resultados obtidos por Costa [3] e os resultados obtidos nesta pesquisa, na classificação de sinais de voz de laringes com paralisia e laringes com edema.

Tabela 5.13 – Melhor desempenho da classificação dos sinais de voz de laringes afetadas por paralisia e laringes afetadas por edema com as medidas de quantificação de recorrência combinadas, extraídas sem segmentação, por patamar de taxa de recorrência.

<i>REC</i> ≤	<i>Ac</i> (%)	<i>Sen</i> (%)	<i>Esp</i> (%)	Conjunto de Medidas
2%	$72,00^* \pm 3,59$	$46,00 \pm 7,30$	$93,00 \pm 3,80$	<i>L_{max}</i> e <i>TREND</i>
3%	$69,00 \pm 3,48$	$46,00 \pm 5,96$	$87,33 \pm 4,79$	<i>L_{max}</i> , <i>ENTR</i> e <i>LAM</i>
4%	$68,00 \pm 4,90$	$51,50 \pm 8,24$	$82,00 \pm 5,27$	<i>L_{max}</i> , <i>TREND</i> e <i>TT</i>
5%	$64,00 \pm 4,00$	$34,00 \pm 7,45$	$87,33 \pm 4,79$	<i>L_{max}</i> e <i>TREND</i>

*acurácia média máxima

Classificação Paralisia × Nódulos

Na Tabela 5.14, estão apresentados os melhores resultados obtidos da classificação dos sinais de voz oriundos de laringes afetadas por paralisia e laringes afetadas por nódulos, com as medidas de quantificação de recorrência extraídas sem segmentação, e os respectivos patamares de taxa de recorrência nos quais foi obtido o melhor desempenho.

A medida do comprimento máximo das linhas diagonais (*L_{max}*) proporcionou o melhor desempenho do classificador, no patamar de taxa de recorrência de 3%. Na Figura 5.6, há um comparativo dos principais valores de acurácia obtidos nesta pesquisa e os valores de acurácia obtidos por Costa [3], no qual considera a taxa de recorrência no patamar de 1%.

A medida que proporcionou o melhor desempenho do classificador para este caso de discriminação na pesquisa de Costa [3] foi o comprimento máximo das linhas verticais (*V_{max}*), com acurácia de $55,18\% \pm 10,06\%$. Para esta e outras medidas, esta pesquisa obteve melhor desempenho. São elas: *L_{max}*, *ENTR*, *TREND*, *LAM* e *TT*. O desempenho obtido com a

medida L_{max} , nesta pesquisa, indica que essa medida é o principal fator discriminativo entre as classes paralisia e nódulos.

Tabela 5.14 – Melhor desempenho na classificação dos sinais de voz de laringes afetadas por paralisia e sinais de voz de laringes afetadas por nódulos com as medidas de quantificação de recorrência empregadas sem segmentação.

Medida	Ac (%)	Sen (%)	Esp (%)	REC ≤
DET	53,39 ± 4,25	85,00 ± 7,64	44,33 ± 5,97	3%
L_{max}	75,00* ± 4,76	30,00 ± 11,06	88,67 ± 5,24	3%
ENTR	58,57 ± 3,78	80,00 ± 11,06	52,33 ± 4,16	2%
TREND	44,11 ± 5,19	90,00 ± 6,67	29,33 ± 7,05	5%
LAM	50,71 ± 4,06	85,00 ± 10,68	40,00 ± 6,60	4%
TT	67,14 ± 6,22	80,00 ± 11,06	63,00 ± 7,30	5%
V_{max}	57,14 ± 5,82	70,00 ± 13,34	53,00 ± 5,66	2%

*acurácia média máxima

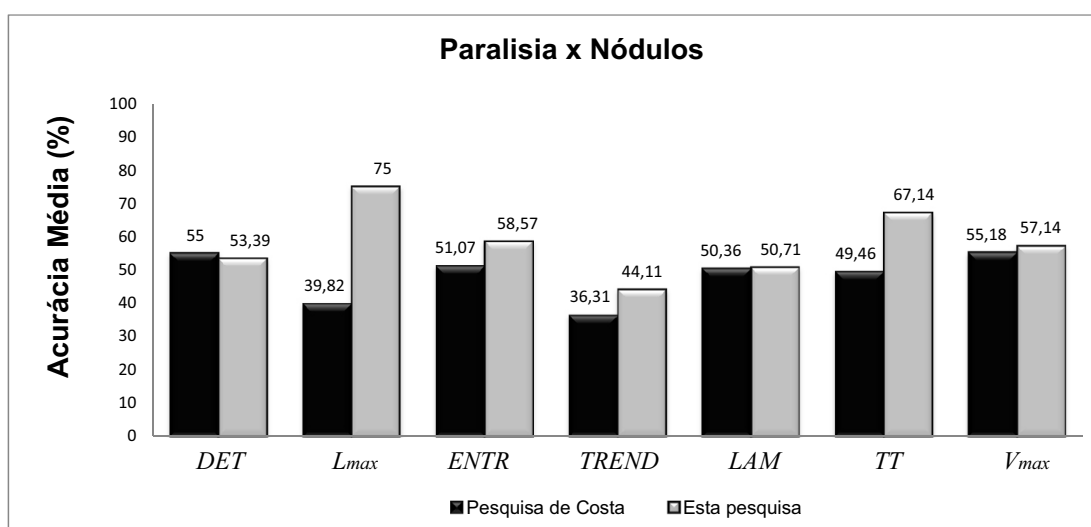


Figura 5.6 – Comparativo entre os resultados obtidos por Costa [3] e os resultados obtidos nesta pesquisa, na classificação de sinais de voz de laringes com paralisia e laringes com nódulos.

Na Tabela 5.15, é apresentado o resultado referente aos melhores desempenhos da classificação com as medidas de quantificação de recorrência combinadas, em cada patamar de taxa de recorrência considerado nesse caso de discriminação.

Tabela 5.15 – Melhor desempenho da classificação dos sinais de voz de laringes afetadas por paralisia e laringes afetadas por nódulos com as medidas de quantificação de recorrência combinadas, extraídas sem segmentação, por patamar de taxa de recorrência.

REC ≤	Ac (%)	Sen (%)	Esp (%)	Conjunto de Medidas
2%	72,86 ± 7,13	70,00 ± 13,34	73,00 ± 9,12	L_{max} , ENTR, TREND e V_{max}
3%	74,29* ± 3,84	35,00 ± 13,03	87,33 ± 3,75	L_{max} e TREND
4%	72,68 ± 4,66	25,00 ± 11,19	87,33 ± 3,75	L_{max} e TT
5%	74,11 ± 5,26	80,00 ± 11,06	72,67 ± 4,92	TREND, TT e V_{max}

*acurácia média máxima

O melhor desempenho de classificação obtido nesta pesquisa para este caso de discriminação foi obtido a partir da combinação das medidas L_{max} e TREND, no patamar de

taxa de recorrência de 3%. Entretanto, em relação à acurácia e à especificidade, a medida L_{max} , individualmente proporcionou maiores valores para esse mesmo patamar. Ainda, esses resultados de acurácia são inferiores àquele obtido na pesquisa de Costa [3], com a combinação das características DET e LAM no patamar de 1% de taxa de recorrência: $75,71\% \pm 16,46\%$. Os valores de sensibilidade e especificidade obtidos por Costa foram de $65,00\% \pm 47,43\%$ e $81,24\% \pm 19,99\%$, respectivamente.

Classificação Edema × Nódulos

Na Tabela 5.16, estão apresentados os melhores valores obtidos na classificação dos sinais de voz oriundos de laringes afetadas por edema e laringes afetadas por nódulos, com as medidas de quantificação de recorrência empregadas sem segmentação e os patamares de taxa de recorrência associados.

Tabela 5.16 – Melhor desempenho na classificação dos sinais de voz de laringes afetadas por edema e sinais de voz de laringes afetadas por nódulos com as medidas de quantificação de recorrência empregadas sem segmentação.

Medida	Ac (%)	Sen (%)	Esp (%)	REC ≤
DET	$38,57 \pm 6,27$	$85,00 \pm 7,64$	$20,50 \pm 7,77$	4%
L_{max}	$44,52 \pm 4,11$	$90,00 \pm 6,67$	$26,50 \pm 5,78$	2%
$ENTR$	$39,29 \pm 4,07$	$65,00 \pm 13,03$	$25,50 \pm 6,41$	2%
$TREND$	$51,90^* \pm 7,23$	$20,00 \pm 8,17$	$63,00 \pm 9,59$	2%
LAM	$38,33 \pm 5,97$	$85,00 \pm 7,64$	$20,50 \pm 2,17$	4%
TT	$51,67 \pm 6,78$	$85,00 \pm 7,64$	$39,00 \pm 7,45$	2%
V_{max}	$43,75 \pm 4,42$	$90,00 \pm 6,67$	$28,67 \pm 6,23$	3%

*acurácia média máxima

A maioria das medidas apresentadas na Tabela 5.16 proporcionaram o melhor desempenho do classificador no patamar de taxa de recorrência de 2%. Nesse patamar, a medida tendência ($TREND$) se destacou entre as demais. A medida do tempo de permanência (TT) apresenta um valor de acurácia próximo, e com maior sensibilidade, também no patamar de taxa de recorrência de 2%. Na Figura 5.7, há um comparativo dos principais valores de acurácia obtidos nesta pesquisa e os valores de acurácia obtidos por Costa [3], no qual considera a taxa de recorrência no patamar de 1%.

Na pesquisa de Costa [3], o melhor desempenho individual obtido foi da medida L_{max} , com acurácia de $55,24\% \pm 16,64\%$. Nesta pesquisa, o melhor desempenho foi próximo disso, mas com a medida $TREND$ (Tabela 5.16). Além da tendência, o desempenho da laminaridade obtido nesta pesquisa foi melhor nesta pesquisa, em relação à mesma medida, empregada na pesquisa de Costa [3].

Na Tabela 5.17, é apresentado o resultado referentes aos melhores desempenhos da classificação com as medidas de quantificação de recorrência combinadas, em cada patamar de taxa de recorrência considerado.

A combinação de todas as medidas de quantificação de recorrência empregadas neste estudo de caso sem segmentação dos sinais proporcionou o melhor desempenho da classificação

realizada nesta pesquisa, com o patamar de taxa de recorrência de 2%. Entretanto, Costa [3] obteve valor de acurácia próximo ($63,10\% \pm 13,89$), com apenas três medidas: L_{max} , $TREND$ e V_{max} . Os valores de sensibilidade e especificidade obtidos por Costa foram de $81,67\% \pm 24,15\%$ e $58,00\% \pm 19,75\%$, respectivamente.

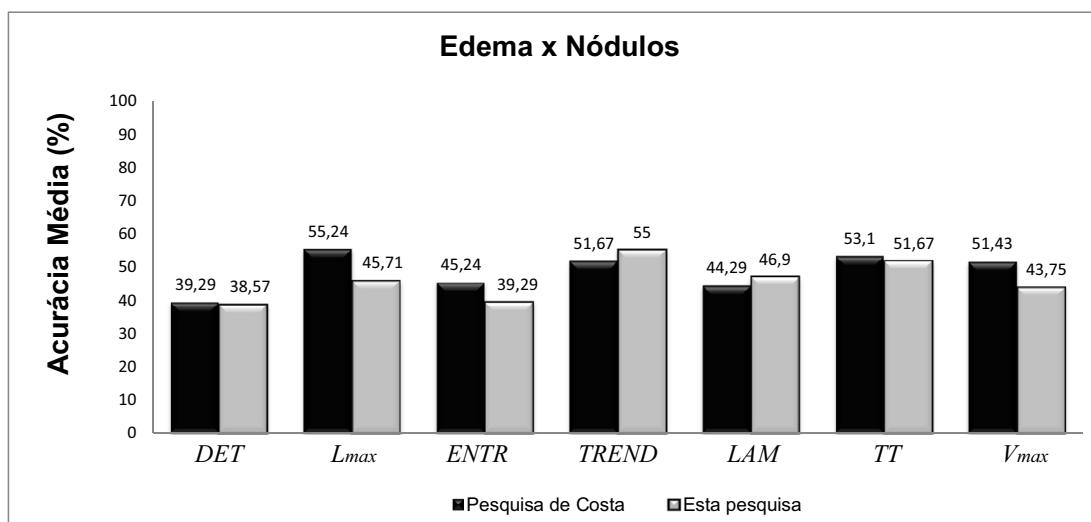


Figura 5.7 – Comparativo entre os resultados obtidos por Costa [3] e os resultados obtidos nesta pesquisa, na classificação de sinais de voz de laringes com edema e laringes com nódulos.

Tabela 5.17 – Melhor desempenho da classificação dos sinais de voz de laringes afetadas por edema e laringes afetadas por nódulos com as medidas de quantificação de recorrência combinadas, extraídas sem segmentação, por patamar de taxa de recorrência.

REC ≤	Ac (%)	Sen (%)	Esp (%)	Conjunto de Medidas
2%	63,57* ± 9,02	55,00 ± 13,85	67,00 ± 7,79	TODAS
3%	57,14 ± 4,71	70,00 ± 11,06	53,00 ± 5,23	L_{max} , $TREND$, TT e V_{max}
4%	59,76 ± 5,97	45,00 ± 13,85	64,50 ± 6,97	TODAS, exceto LAM
5%	57,14 ± 6,85	70,00 ± 13,34	51,00 ± 7,41	L_{max} , $ENTR$, TT e V_{max}

*acurácia média máxima

A seguir, são apresentados os melhores resultados do processo de classificação realizado no Estudo de Caso 1, com as medidas de quantificação de recorrência extraídas sem segmentação.

Principais Resultados da Classificação com as Medidas Extraídas sem Segmentação

Na Tabela 5.18 é apresentado um resumo com os principais resultados obtidos na classificação realizada com as medidas de quantificação de recorrência extraídas sem segmentação, indicando a acurácia máxima, o conjunto de medidas utilizado e o patamar de taxa de recorrência.

No caso de discriminação entre laringes saudáveis e patológicas, apenas uma medida (L_{max}) foi suficiente para proporcionar o melhor desempenho do classificador. Essa medida se mostrou um importante fator de discriminação, como discutido na Seção 5.2.1. Nos demais casos

de discriminação entre o grupo saudável e cada grupo de patologia, L_{max} esteve entre as medidas que, combinadas, proporcionaram o melhor desempenho do classificador. A medida TT também esteve presente nas melhores combinações, o que indica que a presença de estados laminares nos sinais de voz de laringes afetadas por patologias é um fator discriminante frente ao grupo de vozes saudáveis.

Tabela 5.18 – Resumo com os melhores resultados de classificação obtidos no Estudo de Caso 1, sem segmentação.

Casos de Discriminação	Acurácia Máxima (%)	Medidas com Melhor Desempenho	$REC \leq$
SDL × PTL	94,15 ± 1,24	L_{max}	2%
SDL × PRL	96,36 ± 1,48	L_{max} e TT	3%
SDL × EDM	91,78 ± 7,96*	DET , L_{max} , $ENTR$, TT e V_{max}	1%
SDL × NDL	95,71 ± 6,90*	DET e L_{max} ; L_{max} e $ENTR$; L_{max} e LAM ; e L_{max} e TT	1%
PRL × EDM	72,00 ± 3,59	L_{max} e $TREND$	2%
PRL × NDL	75,71 ± 16,46*	DET e LAM	1%
EDM × NDL	63,57 ± 9,02	TODAS	2%

* Resultado da pesquisa de Costa [3]

Os casos em que o melhor valor de acurácia foi obtido na pesquisa de Costa [3], com a taxa de recorrência no patamar de 1% foram os seguintes: vozes de laringes saudáveis *versus* vozes de laringes com edema (combinando cinco medidas, DET , L_{max} , $ENTR$, TT e V_{max}); vozes de laringes saudáveis *versus* vozes de laringes com nódulos (combinando duas medidas, DET e L_{max} , L_{max} e $ENTR$, L_{max} e LAM , L_{max} e TT); e vozes de laringes com paralisia *versus* vozes de laringes com nódulos (combinando duas medidas, DET e LAM).

Nos casos de discriminação entre patologias, a combinação de apenas duas medidas foi suficiente para obter o melhor resultado de acurácia entre o grupo com a patologia relacionada a distúrbios neurológicos (paralisia) e cada um dos grupos de patologias relacionadas a distúrbios orgânicos (edema e nódulos). Na discriminação entre edema e nódulos (duas patologias de lesões de massa), foi necessária a combinação de todas as medidas empregadas para atingir o melhor desempenho do classificador.

A seguir, são apresentados os resultados da classificação realizada neste estudo de caso considerando as medidas de quantificação de recorrência extraídas com segmentação.

5.3.2 – Classificação com as Medidas Extraídas com Segmentação

Nesta Seção, são apresentados os resultados da classificação com as medidas de quantificação de recorrência empregadas com segmentação no Estudo de Caso 1, cuja metodologia está apresentada na Seção 4.2.3. A classificação foi realizada considerando a taxa de recorrência nos seguintes patamares: 1%, 2%, 3%, 4% e 5%.

Classificação Saudável × Patológica

Na Tabela 5.19, está apresentado o melhor desempenho individual das medidas de quantificação de recorrência, empregadas sem segmentação, na classificação dos sinais de voz oriundos de laringes saudáveis e sinais de voz de laringes patológicas, e os respectivos patamares de taxa de recorrência nos quais foi obtido esse desempenho.

Tabela 5.19 – Melhor desempenho na classificação dos sinais de voz de laringes saudáveis e sinais de voz de laringes patológicas com as medidas de quantificação de recorrência empregadas com segmentação.

Medida	Ac (%)	Sen (%)	Esp (%)	REC ≤
RAIO	55,97 ± 0,39	49,21 ± 0,72	70,50 ± 0,86	5%
REC	57,15 ± 0,90	44,85 ± 1,33	83,58 ± 0,96	2%
TRANS	76,95 ± 0,51	71,14 ± 0,65	89,43 ± 0,52	1%
DET	73,79 ± 0,49	64,47 ± 0,66	93,84 ± 0,66	1%
RATIO	61,04 ± 0,59	47,22 ± 0,80	90,75 ± 0,66	1%
L_{med}	84,67* ± 0,34	89,36 ± 0,29	74,59 ± 0,70	1%
L_{max}	82,06 ± 0,52	83,13 ± 0,68	79,75 ± 0,59	2%
DIV	72,28 ± 0,88	60,73 ± 1,33	97,11 ± 0,45	2%
ENTR	69,36 ± 0,63	60,91 ± 0,68	87,55 ± 1,05	1%
LAM	72,44 ± 0,59	79,94 ± 0,61	56,29 ± 1,22	1%
TT	68,60 ± 0,71	63,83 ± 0,77	78,87 ± 1,10	1%
V_{max}	75,45 ± 0,49	68,25 ± 0,63	90,94 ± 0,41	1%
T^1	77,74 ± 0,51	72,28 ± 0,53	89,50 ± 0,70	1%
T^2	57,94 ± 0,47	46,17 ± 0,45	83,27 ± 0,80	5%
RPDE	79,80 ± 0,69	74,53 ± 0,84	91,13 ± 0,65	1%

*acurácia média máxima

O melhor desempenho individual de classificação foi obtido com a medida do comprimento médio das linhas diagonais (L_{med}), considerando o patamar de taxa de recorrência de 1%. Isso indica que, mesmo quando os sinais são observados a curto intervalo de tempo, a formação de estruturas diagonais nos gráficos de recorrência é um fator discriminante entre vozes de laringes saudáveis e vozes de laringes patológicas. Entretanto, tal valor de acurácia não é maior que aquele obtido com a taxa de recorrência no patamar de 2%, apresentado na Tabela 5.4.

Na Tabela 5.20, estão apresentados os valores de acurácia, sensibilidade e especificidade referentes aos melhores desempenhos da classificação com as medidas de quantificação de recorrência combinadas, em cada patamar de taxa de recorrência considerado.

Com a combinação de características, o melhor desempenho é obtido com a taxa de recorrência no patamar de 1%. Mas, como ocorrido no caso de classificação individual, esse resultado não chega a ter maior valor de acurácia do que aquele obtido com a medida L_{max} no caso sem segmentação com a taxa de recorrência no patamar de 2%.

Tabela 5.20 – Melhor desempenho da classificação dos sinais de voz de laringes saudáveis e patológicas com as medidas de quantificação de recorrência combinadas, extraídas com segmentação, por patamar de taxa de recorrência.

$REC \leq$	Ac (%)	Sen (%)	Esp (%)	Conjunto de Medidas
1%	91,30* \pm 0,39	90,03 \pm 0,52	94,03 \pm 0,38	$TRANS, L_{max}, LAM, T^1$ e T^2
2%	88,48 \pm 0,40	86,58 \pm 0,62	92,58 \pm 0,73	$TRANS, L_{med}, L_{max}, ENTR, LAM$ e TT
3%	86,21 \pm 0,37	83,39 \pm 0,58	92,26 \pm 0,52	$RAIO, TRANS, L_{med}, L_{max}, ENTR, TT$ e T^2
4%	83,95 \pm 0,46	80,91 \pm 0,57	90,50 \pm 0,66	$RAIO, TRANS, L_{med}, L_{max}, T^1$ e T^2
5%	82,02 \pm 0,50	78,68 \pm 0,57	89,18 \pm 0,78	$RAIO, REC, TRANS, L_{med}, L_{max}, T^1$ e T^2

*acurácia média máxima

Classificação Saudável \times Paralisia

Na Tabela 5.21, estão apresentados os melhores resultados da classificação dos sinais de voz oriundos de laringes saudáveis e laringes afetadas por paralisia com as medidas de quantificação de recorrência, extraídas com segmentação, e os respectivos patamares de taxa de recorrência.

Tabela 5.21 – Melhor desempenho na classificação dos sinais de voz de laringes saudáveis e sinais de voz de laringes afetadas por paralisia com as medidas de quantificação de recorrência empregadas com segmentação.

Medida	Ac (%)	Sen (%)	Esp (%)	$REC \leq$
$RAIO$	71,68 \pm 0,61	48,46 \pm 1,14	94,47 \pm 0,53	1%
REC	65,14 \pm 0,75	47,24 \pm 1,33	82,70 \pm 0,86	2%
$TRANS$	88,38* \pm 0,42	81,28 \pm 0,63	95,35 \pm 0,65	2%
DET	83,97 \pm 1,07	73,46 \pm 1,95	94,28 \pm 0,63	1%
$RATIO$	76,25 \pm 0,64	59,62 \pm 1,27	92,58 \pm 0,74	1%
L_{med}	86,06 \pm 0,32	89,87 \pm 0,78	82,33 \pm 1,17	2%
L_{max}	82,89 \pm 0,39	85,13 \pm 0,76	80,69 \pm 0,86	2%
DIV	80,63 \pm 0,61	64,10 \pm 1,19	96,86 \pm 0,42	2%
$ENTR$	79,49 \pm 0,91	69,49 \pm 1,39	89,31 \pm 0,64	1%
LAM	66,70 \pm 0,76	38,53 \pm 0,76	94,34 \pm 0,76	4%
TT	72,57 \pm 0,67	65,45 \pm 0,67	79,56 \pm 0,84	1%
V_{max}	84,19 \pm 0,71	77,31 \pm 0,71	90,94 \pm 0,84	1%
T^1	87,65 \pm 0,67	83,53 \pm 0,67	91,70 \pm 0,64	1%
T^2	65,90 \pm 1,12	47,69 \pm 1,12	83,77 \pm 1,17	4%
$RPDE$	87,87 \pm 0,56	82,88 \pm 0,56	92,77 \pm 0,71	1%

*acurácia média máxima

A medida que proporcionou o melhor desempenho do classificador nesse caso de discriminação foi a transitividade ($TRANS$), considerando a taxa de recorrência no patamar de 2%. Esse resultado apresenta valores de acurácia, sensibilidade e especificidade menores do que aqueles obtidos com a medida do comprimento máximo das linhas diagonais (L_{max}) para esse mesmo caso de discriminação, mas sem segmentação (Tabela 5.6).

Na Tabela 5.22, estão apresentados os valores de acurácia, sensibilidade e especificidade referentes aos melhores desempenhos da classificação com as medidas de

quantificação de recorrência combinadas, em cada patamar de taxa de recorrência considerado nesse caso de discriminação.

Tabela 5.22 – Melhor desempenho da classificação dos sinais de voz de laringes saudáveis e laringes afetadas por paralisia com as medidas de quantificação de recorrência combinadas, extraídas com segmentação, por patamar de taxa de recorrência.

$REC \leq$	Ac (%)	Sen (%)	Esp (%)	Conjunto de Medidas
1%	95,78* \pm 0,42	93,91 \pm 0,82	97,61 \pm 0,52	<i>TRANS, RATIO, L_{med}, LAM e T¹</i>
2%	94,73 \pm 0,30	91,22 \pm 0,59	98,18 \pm 0,22	<i>RAIO, TRANS, L_{med}, L_{max}, DIV, ENTR, LAM, T¹ e RPDE</i>
3%	93,90 \pm 0,40	89,81 \pm 0,70	97,92 \pm 0,21	<i>TRANS, DET, L_{med}, DIV, ENTR, LAM, T¹, T² e RPDE</i>
4%	92,00 \pm 0,45	86,47 \pm 1,15	97,42 \pm 0,41	<i>RAIO, TRANS, DET, L_{med}, L_{max}, ENTR, LAM, T¹ e RPDE</i>
5%	90,70 \pm 0,55	85,77 \pm 0,94	95,53 \pm 0,40	<i>RAIO, TRANS, DET, L_{med}, L_{max}, ENTR, LAM, TT e RPDE</i>

*acurácia média máxima

Com a combinação das medidas de quantificação de recorrência extraídas de forma segmentada nesse estudo de caso, o melhor desempenho foi obtido com cinco medidas considerando o patamar de taxa de recorrência de 1%. Os valores de acurácia e de sensibilidade são menores do que aqueles encontrados para o caso sem segmentação com a medida L_{max} . Esse resultado com segmentação também não chega a ter valores de acurácia, sensibilidade e especificidade maiores que aqueles obtidos a partir da melhor combinação no caso sem segmentação (Tabela 5.7).

Classificação Saudável \times Edema

Na Tabela 5.23, estão apresentados os melhores valores obtidos de acurácia, sensibilidade e especificidade de cada medida empregada com segmentação em sinais de voz oriundos de laringes saudáveis e laringes afetadas por edema neste estudo de caso, e os respectivos patamares de taxa de recorrência nos quais foi obtido esse desempenho.

A medida entropia do tempo de recorrência do tipo 1 (*RPDE*) proporcionou, com a taxa de recorrência no patamar de 1%, o melhor desempenho da classificação. Em relação aos valores de acurácia e sensibilidade, a medida L_{max} no caso sem segmentação obteve melhores resultados.

Na Tabela 5.24, estão apresentados os valores de acurácia, sensibilidade e especificidade para este caso de discriminação considerando a melhor combinação de medidas para cada patamar de taxa de recorrência empregado.

Com a combinação de sete medidas, foi obtido o melhor desempenho da classificação nesse caso de discriminação com tais medidas extraídas de forma segmentada, considerando a taxa de recorrência no patamar de 1%. Em relação ao caso sem segmentação (Tabela 5.9), esse resultado apresenta apenas maior valor para a especificidade, considerando a combinação que proporcionou o melhor desempenho do classificador. Além disso, sem segmentação, o melhor

resultado foi obtido com apenas três medidas de recorrência (L_{max} , LAM e TT), às quais estão presentes na melhor combinação em 1%. Vale ressaltar que no caso sem segmentação foram empregadas apenas 7 medidas de quantificação de recorrência.

Tabela 5.23 – Melhor desempenho na classificação dos sinais de voz de laringes saudáveis e sinais de voz de laringes afetadas por edema com as medidas de quantificação de recorrência empregadas com segmentação.

Medida	Ac (%)	Sen (%)	Esp (%)	REC ≤
RAIO	61,61 ± 0,66	35,45 ± 1,32	83,14 ± 0,40	1%
REC	64,71 ± 0,52	40,61 ± 1,02	84,72 ± 0,69	2%
TRANS	77,56 ± 0,75	64,93 ± 1,09	88,05 ± 0,90	1%
DET	75,50 ± 0,82	54,09 ± 1,59	93,27 ± 0,51	1%
RATIO	65,19 ± 0,47	36,74 ± 1,53	88,81 ± 0,81	1%
L_{med}	76,05 ± 0,45	84,47 ± 1,02	69,06 ± 0,61	1%
L_{max}	78,18 ± 0,92	78,18 ± 1,14	78,18 ± 1,26	2%
DIV	76,19 ± 0,59	50,75 ± 1,40	97,30 ± 0,35	2%
ENTR	70,14 ± 0,78	51,21 ± 1,23	85,85 ± 0,88	1%
LAM	67,73 ± 0,78	81,21 ± 1,21	56,54 ± 1,36	1%
TT	73,16 ± 0,90	56,74 ± 1,41	86,79 ± 1,11	5%
V_{max}	76,94 ± 0,88	60,08 ± 1,43	90,94 ± 0,54	1%
T^1	76,19 ± 0,44	62,58 ± 1,24	87,48 ± 0,91	1%
T^2	69,11 ± 1,02	50,76 ± 2,01	84,34 ± 0,63	5%
RPDE	80,10* ± 0,64	69,17 ± 1,46	89,18 ± 0,46	1%

*acurácia média máxima

Tabela 5.24 – Melhor desempenho da classificação dos sinais de voz de laringes saudáveis e laringes afetadas por edema com as medidas de quantificação de recorrência combinadas, extraídas com segmentação, por patamar de taxa de recorrência.

REC ≤	Ac (%)	Sen (%)	Esp (%)	Conjunto de Medidas
1%	89,21* ± 0,38	83,26 ± 0,68	94,15 ± 0,59	RAIO, TRANS, L_{med} , L_{max} , LAM, TT e T^1
2%	86,56 ± 0,47	74,55 ± 0,87	96,54 ± 0,61	RAIO, TRANS, L_{med} , DIV, LAM, V_{max} , T^1 e RPDE
3%	83,99 ± 0,82	70,15 ± 1,45	95,47 ± 0,45	TRANS, DET, L_{med} , L_{max} , ENTR, LAM, T^1 e RPDE
4%	81,07 ± 0,58	68,33 ± 1,41	91,64 ± 0,55	RAIO, TRANS, RATIO, L_{med} , L_{max} , T^2 e RPDE
5%	80,52 ± 0,64	70,91 ± 1,19	88,49 ± 0,70	RAIO, TRANS, L_{med} , L_{max} , T^2 e RPDE

*acurácia média máxima

Classificação Saudável × Nódulos

Na Tabela 5.25, estão apresentados os melhores resultados de cada medida empregada com segmentação em sinais de voz oriundos de laringes saudáveis e laringes afetadas por nódulos.

O melhor desempenho do classificador nesse caso de discriminação foi obtido com a medida divergência (DIV), considerando a taxa de recorrência no patamar de 2%. Esse resultado, apesar de inferior, é próximo daquele obtido pela medida do comprimento máximo das linhas diagonais (L_{max}) no caso sem segmentação (Tabela 5.10), com a taxa de recorrência

Tabela 5.25 – Melhor desempenho na classificação dos sinais de voz de laringes saudáveis e sinais de voz de laringes afetadas por nódulos com as medidas de quantificação de recorrência empregadas com segmentação.

Medida	Ac (%)	Sen (%)	Esp (%)	REC ≤
RAIO	65,49 ± 1,07	78,70 ± 1,88	61,01 ± 1,10	4%
REC	76,10 ± 1,18	49,81 ± 2,67	85,03 ± 1,00	2%
TRANS	84,13 ± 0,97	66,48 ± 1,28	90,13 ± 1,11	2%
DET	86,29 ± 0,89	68,15 ± 1,63	92,45 ± 0,99	1%
RATIO	76,76 ± 0,47	39,63 ± 1,33	89,37 ± 0,86	1%
L_{med}	83,57 ± 1,03	91,30 ± 1,61	80,94 ± 1,11	1%
L_{max}	83,90 ± 0,47	92,78 ± 1,45	80,88 ± 0,75	1%
DIV	92,02* ± 0,38	79,81 ± 1,47	96,16 ± 0,50	2%
ENTR	78,36 ± 1,32	67,59 ± 1,88	82,01 ± 1,39	1%
LAM	66,48 ± 1,14	35,00 ± 2,02	77,17 ± 1,34	4%
TT	82,39 ± 0,91	67,59 ± 2,53	87,42 ± 0,89	5%
V_{max}	81,78 ± 0,79	67,96 ± 3,78	86,48 ± 2,08	1%
T^1	81,13 ± 0,90	66,85 ± 2,38	85,97 ± 0,74	1%
T^2	80,23 ± 0,59	58,33 ± 2,11	87,67 ± 0,83	5%
RPDE	84,23 ± 1,03	71,30 ± 2,51	88,62 ± 0,98	1%

*acurácia média máxima

no patamar de 2%. Ambas as medidas estão relacionadas à formação de estruturas diagonais nos gráficos de recorrência, o que indica que isso é um fator discriminante neste estudo de caso.

Na Tabela 5.26, estão apresentados os valores de acurácia, sensibilidade e especificidade, considerando cada patamar de taxa de recorrência, para as melhores combinações das medidas de quantificação de recorrência.

Tabela 5.26 – Melhor desempenho da classificação dos sinais de voz de laringes saudáveis e laringes afetadas por nódulos com as medidas de quantificação de recorrência combinadas, extraídas com segmentação, por patamar de taxa de recorrência.

REC ≤	Ac (%)	Sen (%)	Esp (%)	Conjunto de Medidas
1%	96,38* ± 0,31	95,00 ± 0,78	96,86 ± 0,40	RAIO, REC, TRANS, RATIO, L_{max} , LAM, TT, T^1 e T^2
2%	85,54 ± 0,32	89,81 ± 1,41	97,48 ± 0,42	TODAS, exceto REC, RATIO, L_{med} e V_{max}
3%	93,29 ± 0,46	83,33 ± 1,23	96,67 ± 0,58	TODAS, exceto REC, RATIO e V_{max}
4%	91,60 ± 0,54	87,41 ± 1,13	93,02 ± 0,49	RAIO, RATIO, L_{med} , L_{max} , ENTR, T^1 , T^2 e RPDE
5%	91,27 ± 0,55	87,96 ± 1,04	93,33 ± 0,42	RAIO, REC, TRANS, DET, L_{med} , L_{max} , V_{max} , T^2 e RPDE

*acurácia média máxima

Com a combinação de nove medidas de recorrência, foi obtido o melhor desempenho do classificador, com a taxa de recorrência no patamar de 1%. Esse resultado apresenta valores de acurácia e sensibilidade maiores que aqueles para o caso sem segmentação com a taxa de recorrência no patamar de 2%, apresentados na Tabela 5.11. Esse desempenho também é superior àquele obtido por Costa [3], embora a diferença no valor da acurácia seja de menos de 1%, e o melhor resultado obtido por Costa foi com apenas duas medidas. Vale ressaltar que, neste caso com segmentação, mais medidas de quantificação de recorrência foram utilizadas.

Classificação Paralisia × Edema

Na Tabela 5.27, estão apresentados os melhores resultados obtidos da classificação dos sinais de voz oriundos de laringes afetadas por paralisia e laringes afetadas por edema, e os patamares de taxa de recorrência associados.

Tabela 5.27 – Melhor desempenho na classificação dos sinais de voz de laringes afetadas por paralisia e sinais de voz de laringes afetadas por edema com as medidas de quantificação de recorrência empregadas com segmentação.

Medida	<i>Ac</i> (%)	<i>Sen</i> (%)	<i>Esp</i> (%)	<i>REC</i> ≤
<i>RAIO</i>	59,82 ± 0,93	75,28 ± 1,78	52,69 ± 0,79	3%
<i>REC</i>	62,94 ± 0,97	34,17 ± 1,25	76,22 ± 1,36	1%
<i>TRANS</i>	59,39 ± 1,21	71,94 ± 1,87	53,59 ± 1,63	2%
<i>DET</i>	52,81 ± 0,90	74,03 ± 1,42	43,01 ± 1,46	1%
<i>RATIO</i>	65,70 ± 0,91	48,33 ± 2,53	73,72 ± 1,90	1%
<i>L_{med}</i>	69,82* ± 0,86	30,83 ± 2,18	87,82 ± 0,77	1%
<i>L_{max}</i>	57,11 ± 1,03	36,53 ± 2,58	66,60 ± 1,04	2%
<i>DIV</i>	66,32 ± 0,43	4,86 ± 0,70	94,68 ± 0,57	4%
<i>ENTR</i>	64,78 ± 1,01	57,08 ± 1,64	68,33 ± 1,14	1%
<i>LAM</i>	56,75 ± 2,07	66,53 ± 3,83	52,24 ± 3,69	3%
<i>TT</i>	60,57 ± 0,62	32,50 ± 1,34	73,53 ± 1,08	1%
<i>V_{max}</i>	54,17 ± 1,34	61,53 ± 2,03	50,77 ± 1,45	1%
<i>T¹</i>	56,89 ± 1,18	62,36 ± 2,59	54,36 ± 1,13	2%
<i>T²</i>	63,20 ± 1,15	66,81 ± 2,09	61,54 ± 1,47	3%
<i>RPDE</i>	54,91 ± 0,75	77,37 ± 2,54	44,55 ± 1,67	1%

*acurácia média máxima

A medida do comprimento médio das linhas diagonais (L_{med}) proporcionou o melhor desempenho do classificador, considerando a taxa de recorrência no patamar de 1%. Tal valor de acurácia é quase 2% mais elevado do que aquele obtido com a medida do comprimento máximo das linhas diagonais (L_{max}) no caso sem segmentação com a taxa de recorrência no patamar de 2% (Tabela 5.16). Ambas as medidas estão relacionadas à formação de estruturas diagonais nos gráficos de recorrência, o que indica que isso é um fator discriminante neste estudo de caso. A curto intervalo de tempo, L_{med} é uma característica mais discriminativa entre laringes afetadas por paralisia e laringes afetadas por edema do que L_{max} . Além disso, a segmentação resulta em uma redução significativa do desvio padrão da classificação.

Na Tabela 5.28, estão apresentados os valores de acurácia, sensibilidade e especificidade obtidos com as melhores combinações das medidas de quantificação de recorrência para cada patamar de taxa de recorrência considerado.

A combinação de onze medidas considerando a taxa de recorrência no patamar de 3% proporcionou o melhor desempenho do classificador. Esse resultado apresenta valores superiores de acurácia e sensibilidade se comparados com os resultados obtidos para a melhor combinação no caso sem segmentação, considerando a taxa de recorrência no patamar de 2% e utilizando duas medidas (Tabela 5.13). Lembrando que no caso sem segmentação a quantidade de medidas empregadas foi menor. Lembrando que neste caso com segmentação foram utilizadas mais medidas de quantificação de recorrência.

Tabela 5.28 – Melhor desempenho da classificação dos sinais de voz de laringes afetadas por paralisia e laringes afetadas por edema com as medidas de quantificação de recorrência combinadas, extraídas com segmentação, por patamar de taxa de recorrência.

$REC \leq$	Ac (%)	Sen (%)	Esp (%)	Conjunto de Medidas
1%	$72,32 \pm 0,92$	$52,36 \pm 1,68$	$81,54 \pm 0,93$	$RAIO, TRANS, RATIO, L_{max}, ENTR, T^1$ e T^2
2%	$74,91 \pm 0,85$	$55,42 \pm 2,22$	$83,91 \pm 1,05$	$RAIO, REC, TRANS, DET, DIV, ENTR, LAM, T^1, T^2$ e $RPDE$
3%	$78,38^* \pm 0,89$	$73,89 \pm 1,19$	$80,45 \pm 1,48$	TODAS, exceto $REC, RATIO, DIV$ e V_{max}
4%	$76,71 \pm 0,45$	$68,47 \pm 1,88$	$80,51 \pm 0,97$	$RAIO, L_{med}, L_{max}, ENTR, LAM, TT, V_{max}, T^1$ e $RPDE$
5%	$76,45 \pm 0,75$	$52,64 \pm 1,65$	$87,44 \pm 0,55$	TODAS, exceto $TRANS, DET, L_{med}$ e LAM

*acurácia média máxima

Classificação Paralisia \times Nódulos

Na Tabela 5.29, estão apresentados os melhores resultados da classificação dos sinais de voz oriundos de laringes afetadas por paralisia e laringes afetadas por nódulos com as medidas de quantificação de recorrência, e os respectivos patamares de taxa de recorrência nos quais foi obtido o melhor desempenho.

Tabela 5.29 – Melhor desempenho na classificação dos sinais de voz de laringes afetadas por paralisia e sinais de voz de laringes afetadas por nódulos com as medidas de quantificação de recorrência empregadas com segmentação.

Medida	Ac (%)	Sen (%)	Esp (%)	$REC \leq$
$RAIO$	$63,19 \pm 1,67$	$90,19 \pm 1,14$	$53,85 \pm 2,12$	2%
REC	$65,38 \pm 1,02$	$45,56 \pm 3,42$	$72,24 \pm 0,99$	1%
$TRANS$	$70,14^* \pm 1,00$	$90,93 \pm 1,19$	$62,95 \pm 1,28$	4%
DET	$55,67 \pm 1,02$	$94,63 \pm 1,55$	$42,18 \pm 1,11$	5%
$RATIO$	$64,95 \pm 1,04$	$55,93 \pm 2,50$	$68,08 \pm 1,68$	1%
L_{med}	$69,48 \pm 0,50$	$45,74 \pm 1,93$	$77,69 \pm 0,54$	4%
L_{max}	$61,76 \pm 0,92$	$26,48 \pm 1,38$	$73,97 \pm 1,28$	4%
DIV	$40,76 \pm 0,79$	$92,96 \pm 1,03$	$22,69 \pm 1,07$	5%
$ENTR$	$59,76 \pm 1,01$	$86,48 \pm 2,05$	$50,51 \pm 1,40$	3%
LAM	$53,14 \pm 1,14$	$94,26 \pm 1,62$	$38,91 \pm 1,19$	5%
TT	$65,14 \pm 1,32$	$76,11 \pm 1,67$	$61,35 \pm 1,32$	5%
V_{max}	$47,76 \pm 1,23$	$83,33 \pm 1,49$	$35,45 \pm 1,56$	2%
T^1	$70,00 \pm 0,79$	$60,19 \pm 1,39$	$73,40 \pm 0,98$	1%
T^2	$40,43 \pm 1,04$	$87,96 \pm 1,41$	$23,97 \pm 1,39$	5%
$RPDE$	$64,62 \pm 0,72$	$73,52 \pm 1,41$	$61,54 \pm 0,79$	1%

*acurácia média máxima

Para esse caso de discriminação, com segmentação, a medida transitividade ($TRANS$) proporcionou o melhor desempenho do classificador, considerando o patamar de taxa de recorrência de 4%. Esse resultado apresenta valores de acurácia e sensibilidade menores do que aqueles obtidos no caso sem segmentação com a medida do comprimento máximo das linhas diagonais (L_{max}), considerando a taxa de recorrência no patamar de 3%.

Na Tabela 5.30, estão apresentados os valores de acurácia, sensibilidade e especificidade obtidos com as melhores combinações de medidas de recorrência em cada patamar de taxa de recorrência.

Tabela 5.30 – Melhor desempenho da classificação dos sinais de voz de laringes afetadas por paralisia e laringes afetadas por nódulos com as medidas de quantificação de recorrência combinadas, extraídas com segmentação, por patamar de taxa de recorrência.

$REC \leq$	Ac (%)	Sen (%)	Esp (%)	Conjunto de Medidas
1%	77,57 ± 1,10	82,78 ± 2,12	75,77 ± 1,49	RAIO, REC, TRANS, DET, RATIO, L_{med} , LAM, V_{max} e T^1
2%	79,14 ± 0,84	85,74 ± 1,27	76,86 ± 1,20	RAIO, REC, TRANS, DET, RATIO, L_{med} , LAM, V_{max} e T^1
3%	78,71 ± 0,98	89,26 ± 1,29	75,06 ± 1,44	RAIO, REC, TRANS, L_{med} , L_{max} , ENTR, TT, V_{max} , T^1 e T^2
4%	81,57 ± 0,97	88,15 ± 1,04	79,29 ± 1,36	RAIO, REC, TRANS, L_{med} , L_{max} , TT, V_{max} , T^1 e T^2
5%	82,00* ± 0,66	87,22 ± 1,22	80,19 ± 1,10	TODAS, exceto DET, RATIO, DIV e LAM

*acurácia média máxima

Com a combinação de onze medidas considerando o patamar de taxa de recorrência de 5% foi obtido o melhor desempenho de classificação. Esse resultado é superior àquele obtido com a combinação de duas medidas considerando a taxa de recorrência no patamar de 3% (Tabela 5.15), e ainda superior àquele obtido por Costa [3] com a combinação de duas medidas considerando a taxa de recorrência no patamar de 1%.

Classificação Edema × Nódulos

Na Tabela 5.31, estão apresentados os melhores resultados de classificação para o caso edema × nódulos, com segmentação.

Tabela 5.31 – Melhor desempenho na classificação dos sinais de voz de laringes afetadas por edema e sinais de voz de laringes afetadas por nódulos com as medidas de quantificação de recorrência empregadas com segmentação.

Medida	Ac (%)	Sen (%)	Esp (%)	$REC \leq$
RAIO	55,27 ± 1,36	82,41 ± 1,73	44,17 ± 1,56	5%
REC	58,23 ± 1,39	46,48 ± 2,86	63,03 ± 2,36	2%
TRANS	53,82 ± 0,98	84,26 ± 0,98	41,36 ± 0,85	5%
DET	43,98 ± 1,12	81,11 ± 1,12	28,79 ± 1,66	1%
RATIO	41,88 ± 1,10	91,85 ± 1,10	21,44 ± 1,35	5%
L_{med}	60,54 ± 0,69	20,19 ± 0,69	77,05 ± 0,82	5%
L_{max}	63,82* ± 0,84	19,44 ± 0,84	81,97 ± 1,49	5%
DIV	34,78 ± 0,55	94,63 ± 0,55	10,30 ± 0,87	5%
ENTR	48,66 ± 1,29	74,44 ± 1,29	38,11 ± 1,69	1%
LAM	45,27 ± 1,09	73,70 ± 1,09	33,64 ± 1,60	1%
TT	53,39 ± 0,84	62,78 ± 0,84	49,55 ± 1,14	5%
V_{max}	47,63 ± 0,62	83,15 ± 0,62	33,11 ± 1,19	4%
T^1	48,33 ± 1,28	71,85 ± 1,28	38,71 ± 1,61	1%
T^2	51,29 ± 1,35	71,67 ± 1,35	42,95 ± 1,38	5%
RPDE	54,19 ± 1,31	41,11 ± 1,31	59,55 ± 2,40	1%

*acurácia média máxima

A medida do comprimento máximo das linhas diagonais (L_{max}) proporcionou o melhor desempenho do classificador, considerando a taxa de recorrência no patamar de 5%. Este resultado é superior ao obtido no caso sem segmentação para a medida tendência (TREND), considerando a taxa de recorrência no patamar de 2%, apresentado na Tabela 5.16, e também

superior ao resultado obtido com a taxa de recorrência no patamar de 1% apresentado por Costa [3] para a medida *TREND*.

Na Tabela 5.32, estão apresentados os valores de acurácia, sensibilidade e especificidade obtidos das melhores combinações das medidas de quantificação de recorrência, para cada patamar de taxa de recorrência considerado.

Tabela 5.32 – Melhor desempenho da classificação dos sinais de voz de laringes afetadas por edema e laringes afetadas por nódulos com as medidas de quantificação de recorrência combinadas, extraídas com segmentação, por patamar de taxa de recorrência.

<i>REC</i> ≤	<i>Ac</i> (%)	<i>Sen</i> (%)	<i>Esp</i> (%)	Conjunto de Medidas
1%	64,14 ± 3,03	44,44 ± 5,13	72,20 ± 6,15	<i>REC</i> , <i>DET</i> , <i>RATIO</i> , <i>T</i> ¹ e <i>T</i> ²
2%	64,52 ± 1,33	85,30 ± 0,88	55,61 ± 1,77	TODAS, exceto <i>DIV</i> , <i>ENTR</i> , <i>LAM</i> e <i>T</i> ¹
3%	66,45 ± 1,02	78,89 ± 1,64	61,36 ± 1,43	<i>RAIO</i> , <i>L</i> _{med} , <i>L</i> _{max} , <i>V</i> _{max} e <i>RPDE</i>
4%	68,12 ± 1,22	89,63 ± 1,15	59,32 ± 1,58	<i>RAIO</i> , <i>TRANS</i> , <i>L</i> _{med} , <i>L</i> _{max} , <i>TT</i> , <i>V</i> _{max} , <i>T</i> ¹ e <i>T</i> ²
5%	69,84* ± 0,92	81,85 ± 1,53	64,92 ± 1,11	<i>RAIO</i> , <i>L</i> _{med} , <i>L</i> _{max} , <i>TT</i> , <i>V</i> _{max} , <i>T</i> ² e <i>RPDE</i>

*acurácia média máxima

Com a taxa de recorrência no patamar de 5% foi obtido o melhor desempenho do classificador, combinando sete medidas de recorrência. Esse resultado é superior àquele obtido no caso sem segmentação (Tabela 5.17) em relação aos valores de acurácia e sensibilidade.

A seguir, são apresentados os melhores resultados do processo de classificação realizado no Estudo de Caso 1, com as medidas de quantificação de recorrência extraídas com segmentação.

Principais Resultados da Classificação com as Medidas Extraídas com Segmentação

Na Tabela 5.33 é apresentado um resumo com os principais resultados obtidos na classificação realizada com as medidas de quantificação de recorrência extraídas com segmentação, indicando a acurácia máxima, o conjunto de medidas utilizado e o patamar de taxa de recorrência.

Em todos os casos de discriminação entre vozes de laringes saudáveis e vozes de laringes afetadas por patologias, o melhor desempenho da classificação foi obtido com a taxa de recorrência no patamar de 1%. Nesses casos, as medidas *TRANS*, *LAM* e *T*¹ estiveram presentes nas melhores combinações, além das medidas do comprimento das linhas diagonais (médio ou máximo).

Em dois dos casos de discriminação (vozes de laringes com paralisia *versus* vozes de laringes com edema, e vozes de laringes com paralisia *versus* vozes de laringes com nódulos) foi necessária a combinação de até onze medidas de quantificação de recorrência para aumentar a eficiência do classificador, e essa foi a maior quantidade de medidas utilizadas com melhor desempenho. Na classificação entre patologias, as medidas *L*_{med} e *L*_{max} indicam que os grupos

de patologias apresentam diferenças em relação à regularidade dos sinais de voz. Outras medidas, T^1 e T^2 indicam que as transições de energia que ocorrem na onda sonora tem aspectos particulares para cada patologia. No caso de discriminação entre edema e nódulos, o raio de vizinhança mostrou-se como fator discriminante, além das outras medidas, bem como as medidas tempo de permanência e comprimento máximo das linhas verticais.

Tabela 5.33 – Resumo com os melhores resultados de classificação obtidos no Estudo de Caso 1, com segmentação.

Casos de Discriminação	Acurácia Máxima (%)	Medidas com Melhor Desempenho	REC ≤
SDL × PTL	91,30 ± 0,39	TRANS, L_{max} , LAM, T^1 e T^2	1%
SDL × PRL	95,78 ± 0,42	TRANS, RATIO, L_{med} , LAM e T^1	1%
SDL × EDM	89,31 ± 0,38	RAIO, TRANS, L_{med} , L_{max} , LAM, TT e T^1	1%
SDL × NDL	96,38 ± 0,31	RAIO, REC, TRANS, RATIO, L_{max} , LAM, TT, T^1 e T^2	1%
PRL × EDM	78,38 ± 0,89	TODAS, exceto REC, RATIO, DIV e V_{max}	3%
PRL × NDL	82,00 ± 0,66	TODAS, exceto DET, RATIO, DIV e LAM	5%
EDM × NDL	69,84 ± 0,92	RAIO, L_{med} , L_{max} , TT, V_{max} , T^2 e RPDE	5%

A seguir, é apresentada uma análise comparativa entre os melhores resultados obtidos por Costa [3] considerando a taxa de recorrência no patamar de 1%, identificando as medidas empregadas na melhor combinação (Tabela 5.34). Na Tabela 5.35, estão apresentados os resultados obtidos nesta pesquisa, com a mesma taxa e mesmas medidas, com o diferencial da análise dos sinais segmentados.

Tabela 5.34 – Melhores resultados da classificação realizada por Costa [3] com as medidas de quantificação de recorrência, extraídas sem segmentação, combinadas.

Casos de Discriminação	Ac (%)	Sen (%)	Esp (%)	Conjunto de Medidas
SDL × PTL	92,48 ± 6,49	93,26 ± 6,60	90,67 ± 12,65	L_{max} , ENTR, LAM e V_{max}
SDL × PRL	95,45 ± 4,79	92,67 ± 9,53	98,33 ± 5,27	DET, L_{max} , ENTR, TT e V_{max}
SDL × EDM	91,78 ± 7,96	89,00 ± 11,74	94,00 ± 9,66	DET, L_{max} , ENTR, TT e V_{max}
SDL × NDL	95,71 ± 6,90	95,00 ± 15,81	96,00 ± 8,43	DET e L_{max} ; L_{max} e ENTR; L_{max} e LAM; L_{max} e TT
PRL × EDM	68,00 ± 16,19	–	72,33 ± 14,76	DET, LAM e TT
PRL × NDL	75,71 ± 16,46	65,00 ± 47,43	81,24 ± 19,99	DET e LAM
EDM × NDL	63,10 ± 13,89	81,67 ± 24,15	58,00 ± 19,75	L_{max} , TREND e V_{max}

No caso de discriminação SDL × NDL, quatro diferentes combinações de duas medidas obtiveram o melhor desempenho da classificação. No caso de discriminação PRL × EDM, a pesquisa de Costa [3] obteve o mesmo valor de acurácia máxima em três combinações. A

combinação mostrada na Tabela 5.34 foi apresentada por Costa como sendo a que teve maior valor de especificidade. Outra combinação apresentada por Costa (DET , L_{max} e $TREND$) obteve maior sensibilidade ($75,00\% \pm 20,00\%$), com acurácia de $68,00\% \pm 11,35\%$. Outra combinação (DET , $TREND$ e LAM) obteve acurácia de $68,00\% \pm 14,76\%$. Nestas duas últimas combinações, há a medida $TREND$, não extraída no procedimento com segmentação (realizado na presente pesquisa) por não estar contida na *toolbox* CRP.

Tabela 5.35 – Resultados da classificação realizada nesta pesquisa, com a combinação das mesmas medidas empregadas por Costa [3], desta vez extraídas com segmentação, no patamar de taxa de recorrência de 1%.

Casos de Discriminação	Ac (%)	Sen (%)	Esp (%)	Conjunto de Medidas
SDL × PTL	$86,85 \pm 0,30$	$89,43 \pm 0,72$	$85,64 \pm 0,46$	L_{max} , $ENTR$, LAM e V_{max}
SDL × PRL	$91,17 \pm 0,65$	$93,90 \pm 0,66$	$88,40 \pm 0,84$	DET , L_{max} , $ENTR$, TT e V_{max}
SDL × EDM	$82,85 \pm 0,52$	$92,01 \pm 0,66$	$71,82 \pm 1,03$	DET , L_{max} , $ENTR$, TT e V_{max}
SDL × NDL	$90,33 \pm 0,72$	$88,36 \pm 0,93$	$96,11 \pm 0,80$	L_{max} e TT
PRL × EDM	$50,43 \pm 0,84$	$41,03 \pm 1,30$	$77,59 \pm 2,35$	DET , LAM e TT
PRL × NDL	$66,89 \pm 0,83$	$80,45 \pm 1,26$	$37,50 \pm 0,85$	DET e LAM
EDM × NDL	$50,86 \pm 1,05$	$38,18 \pm 1,35$	$81,85 \pm 1,20$	L_{max} e V_{max}

Dos resultados obtidos nesta pesquisa, em comparação àqueles obtidos por Costa [3] com as mesmas medidas, nenhum apresentou acurácia superior. No caso de discriminação SDL × NDL, a melhor combinação, na presente pesquisa, com as mesmas medidas apresentadas por Costa, foi com as medidas L_{max} e TT . No caso de discriminação EDM × NDL, só foi possível apurar o valor de acurácia da combinação de duas das três medidas apresentadas por Costa (L_{max} e V_{max}), uma vez que a medida $TREND$ não foi extraída com segmentação.

Considerando os melhores resultados da classificação realizada com análise discriminante e as medidas de quantificação de recorrência extraídas com segmentação (Tabela 5.33), nos casos de separação entre sinais de voz de laringes saudáveis e sinais de voz de laringes patológicas, estes foram obtidos com a taxa de recorrência no patamar de 1%. Como a maioria dos casos com melhor desempenho foi nesse patamar, e como a pesquisa de Costa [3] apontou que nesse patamar poderia-se ter o melhor desempenho da classificação, foi investigado, nesta pesquisa, o uso de outro classificador neste estudo de caso considerando este patamar de taxa de recorrência. A rede neural MLP (*multilayer perceptron*) foi escolhida para tal objetivo, e seus resultados são apresentados a seguir.

Classificação com Redes Neurais MLP

As redes neurais MLP foram empregadas no caso com segmentação para que uma quantidade maior de informação fosse dada à rede, de forma que esta obtivesse o melhor

aprendizado. Na Tabela 5.36, estão apresentados os valores de acurácia, sensibilidade e especificidade das medidas que proporcionaram, individualmente, o melhor desempenho do classificador MLP. A arquitetura da rede empregada foi similar em todos os casos de discriminação: algoritmo *backpropagation*, taxa de aprendizado igual a 0,3 e taxa de momento igual a 0,2.

Duas medidas apresentaram os principais resultados: o comprimento médio das linhas diagonais (L_{med}) e o tempo de recorrência do tipo 2 (T^2). A primeira indica que a formação de estruturas diagonais é um fator discriminante importante, como também foi verificado com a classificação utilizando análise discriminante. Já a medida T^2 apresentou potencial de separar patologias, o que indica que essa medida consegue identificar as transições de energia significativamente baixas nos sinais de laringes patológicas, de modo que esse seja um fator determinante na separação das classes envolvidas.

Tabela 5.36 – Melhor desempenho na classificação com a rede MLP para 15 medidas de quantificação de recorrência analisadas individualmente.

Casos de Discriminação	Ac (%)	Sen (%)	Esp (%)	Medida com Melhor Desempenho
SDL × PTL	84,51 ± 2,03	84,80 ± 1,76	84,28 ± 1,12	L_{med}
SDL × PRL	88,10 ± 1,97	89,11 ± 2,09	88,06 ± 1,28	L_{med}
SDL × EDM	80,69 ± 4,51	62,88 ± 1,11	95,60 ± 0,89	L_{med}
SDL × NDL	91,31 ± 1,73	72,23 ± 2,32	98,12 ± 1,54	L_{med}
PRL × EDM	66,25 ± 1,75	59,10 ± 1,88	73,72 ± 2,14	T^2
PRL × NDL	75,57 ± 2,81	22,23 ± 4,56	94,24 ± 3,67	T^2
EDM × NDL	70,97 ± 4,59	57,58 ± 3,13	80,77 ± 1,78	L_{med}

Na Tabela 5.37, estão apresentados os resultados da combinação das 15 medidas de recorrência empregadas neste estudo de caso com segmentação quando submetidas às redes neurais MLP.

Tabela 5.37 – Desempenho na classificação com a rede MLP para 15 medidas de quantificação de recorrência.

Casos de Discriminação	Ac (%)	Sen (%)	Esp (%)
SDL × PTL	94,19 ± 1,11	95,91 ± 0,98	91,82 ± 2,31
SDL × PRL	96,73 ± 0,90	94,24 ± 1,43	98,75 ± 0,89
SDL × EDM	92,20 ± 1,28	90,16 ± 2,23	94,34 ± 1,67
SDL × NDL	99,11 ± 0,90	99,38 ± 0,42	98,83 ± 0,99
PRL × EDM	75,14 ± 1,24	79,25 ± 2,04	69,88 ± 2,33
PRL × NDL	85,14 ± 2,69	75,93 ± 1,50	89,11 ± 2,11
EDM × NDL	75,59 ± 2,14	70,38 ± 1,54	78,04 ± 2,01

A maior acurácia foi obtida no caso de discriminação entre laringes saudáveis e laringes afetadas por nódulos. A maior contribuição da combinação das medidas de quantificação de recorrência no classificador MLP foi no caso de discriminação entre laringes saudáveis e laringes afetadas por edema (a acurácia aumentou 11,51%). Contudo, para todos os casos de discriminação, as redes MLP indicam que as medidas apresentam aspectos complementares, uma vez que houve aumento na eficiência da classificação quando as medidas foram combinadas.

Na Figura 5.8, é apresentado um comparativo entre os resultados obtidos com a análise discriminante quadrática (QDA) e com as redes neurais MLP.

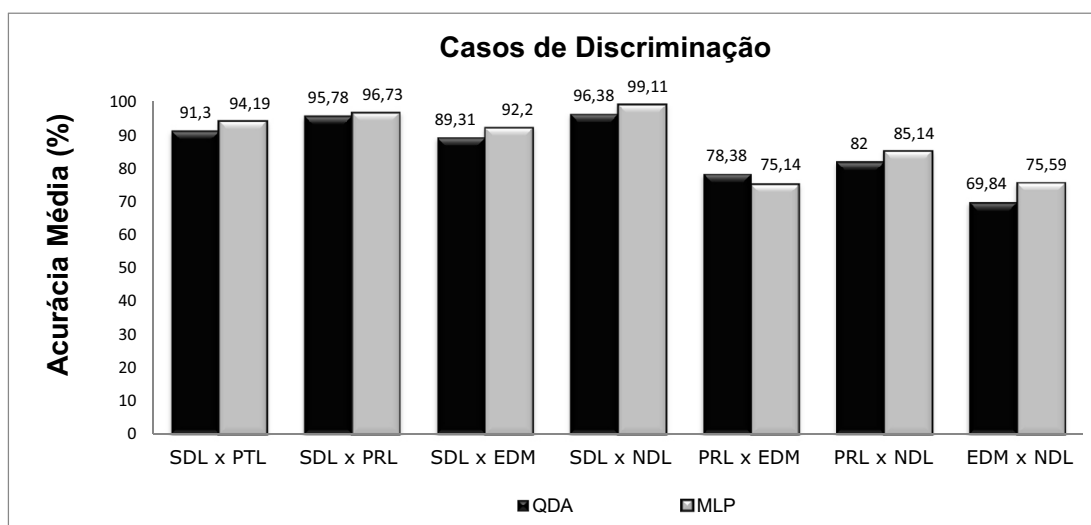


Figura 5.8 – Comparativo entre os melhores resultados obtidos com QDA e com redes MLP em cada caso de discriminação com as medidas de quantificação de recorrência extraídas com segmentação.

Em quase todos os casos de discriminação, a classificação com redes MLP obteve maiores valores de acurácia do que a classificação com QDA. A exceção foi o caso de discriminação entre sinais de laringes afetadas por paralisia e sinais de laringes afetadas por edema. Entretanto, com as redes MLP, a combinação realizada foi com todas as medidas de quantificação de recorrência empregadas (15 medidas no total). Com a análise discriminante quadrática, as melhores combinações foram com diferentes quantidades das medidas, chegando, no máximo, a 11 medidas em dois casos (Tabela 5.33).

A seguir, são apresentados os resultados da classificação realizada no Estudo de Caso 2.

5.4 – Classificação no Estudo de Caso 2

Os resultados referentes à classificação realizada no Estudo de Caso 2 são apresentados nesta Seção. A classificação foi realizada com as medidas extraídas sem segmentação e com segmentação, de acordo com a metodologia apresentada na Seção 4.3. Entre os classificadores LDA e QDA, o segundo foi escolhido pois apresentou os melhores resultados.

5.4.1 – Classificação com as Medidas Extraídas sem Segmentação

A classificação com as medidas de quantificação de recorrência sem segmentação, cuja metodologia está apresentada na Seção 4.3.2, tem seus resultados apresentados a seguir. No presente estudo de caso, a classificação foi realizada considerando a taxa de recorrência nos seguintes patamares: 1%, 2%, 3%, 4% e 5%. O objetivo é identificar qual a medida ou conjunto de medidas apresentam melhor desempenho na classificação e qual o patamar de taxa de recorrência que ocorre esse melhor desempenho.

Classificação Grau Geral 1 × (Grau Geral 2 e Grau Geral 3)

Na Tabela 5.38, estão apresentados os melhores valores obtidos de acurácia (Ac), sensibilidade (Sen) e especificidade (Esp) de cada medida empregada sem segmentação em sinais de voz de crianças com grau geral 1 (grau geral normal – GG1) e crianças com voz alterada, compreendendo o conjunto dos casos com grau geral leve (grau geral 2 – GG2) e grau geral moderado (grau geral 3 – GG3) e os respectivos patamares de taxa de recorrência nos quais foi obtido esse desempenho.

A medida do comprimento máximo das linhas diagonais (L_{max}) proporcionou o melhor desempenho do classificador, considerando a taxa de recorrência no patamar de 2%. Esse resultado indica que a formação de estruturas diagonais é o principal fator discriminante entre as classes envolvidas.

Na Tabela 5.39, estão apresentados os valores de acurácia, sensibilidade e especificidade obtidos de classificação combinada das medidas de recorrência, considerando os melhores casos de combinação para cada patamar de taxa de recorrência, no processo de classificação dos sinais como sendo de vozes com grau geral normal ou com alterações (grau geral leve e grau geral moderado).

Tabela 5.38 – Melhor desempenho na classificação dos sinais de voz de crianças com grau geral normal e crianças com vozes alteradas (grau geral leve e grau geral moderado) com as medidas de quantificação de recorrência empregadas sem segmentação.

Medida	Ac (%)	Sen (%)	Esp (%)	$REC \leq$
<i>RAIO</i>	45,78 ± 6,97	42,92 ± 7,57	70,00 ± 15,29	1%
<i>DET</i>	47,33 ± 3,70	42,22 ± 3,31	90,00 ± 10,01	1%
L_{max}	82,89* ± 4,00	86,67 ± 3,38	50,00 ± 16,68	2%
<i>ENTR</i>	65,89 ± 6,26	69,03 ± 7,22	40,00 ± 16,34	2%
<i>TREND</i>	40,89 ± 4,51	37,50 ± 5,34	70,00 ± 15,29	3%
<i>LAM</i>	72,78 ± 5,40	81,53 ± 6,01	0,00 ± 0,00	2%
<i>TT</i>	38,67 ± 2,72	36,11 ± 2,43	60,00 ± 16,34	4%
V_{max}	25,00 ± 2,53	17,22 ± 2,83	90,00 ± 10,01	1%

*acurácia média máxima

A combinação de todas as oito medidas envolvidas neste caso de classificação, considerando o patamar de taxa de recorrência de 4%, proporcionou o melhor desempenho do classificador, com valores de acurácia e sensibilidade maiores que aqueles obtidos com a classificação com a medida com melhor desempenho individual neste caso de discriminação.

Tabela 5.39 – Melhor desempenho da classificação dos sinais de voz de crianças com grau geral normal e crianças com vozes alteradas (grau geral leve e grau geral moderado) com as medidas de quantificação de recorrência combinadas, extraídas sem segmentação, por patamar de taxa de recorrência.

$REC \leq$	Ac (%)	Sen (%)	Esp (%)	Conjunto de Medidas
1%	86,00 ± 3,15	92,78 ± 2,58	30,00 ± 15,29	TODAS, exceto V_{max}
2%	86,11 ± 6,71	95,42 ± 7,91	10,00 ± 31,62	TODAS
3%	87,11 ± 2,63	95,28 ± 6,11	20,00 ± 13,34	TODAS
4%	88,22* ± 0,93	97,64 ± 1,58	10,00 ± 10,01	TODAS
5%	86,00 ± 1,65	95,28 ± 2,55	10,00 ± 10,01	TODAS

*acurácia média máxima

Classificação Grau Geral 1 × Grau Geral 2

Na Tabela 5.40, estão apresentados os melhores resultados da classificação dos sinais de voz de crianças com grau geral 1 (grau geral normal – GG1) e crianças com grau geral 2 (grau geral leve – GG2) com as medidas de quantificação de recorrência extraídas sem segmentação, e os respectivos patamares de taxa de recorrência.

Tabela 5.40 – Melhor desempenho na classificação dos sinais de voz de crianças com grau geral normal e crianças com grau geral leve com as medidas de quantificação de recorrência empregadas sem segmentação.

Medida	Ac (%)	Sen (%)	Esp (%)	$REC \leq$
$RAIO$	42,50 ± 4,64	38,57 ± 5,24	70,00 ± 15,29	2%
DET	50,00 ± 6,18	47,14 ± 6,05	70,00 ± 15,29	1%
L_{max}	81,25* ± 2,80	81,75 ± 3,01	50,00 ± 16,68	2%
$ENTR$	67,50 ± 6,51	71,43 ± 6,74	40,00 ± 16,34	2%
$TREND$	43,75 ± 6,79	38,57 ± 7,40	80,00 ± 13,34	4%
LAM	77,50 ± 4,49	81,43 ± 4,79	50,00 ± 16,68	1%
TT	37,50 ± 4,93	34,29 ± 6,46	60,00 ± 16,34	4%
V_{max}	26,25 ± 3,93	17,14 ± 3,57	90,00 ± 10,01	1%

*acurácia média máxima

A medida do comprimento máximo das linhas diagonais (L_{max}) proporcionou o melhor desempenho de classificação individual. Isso indica que essa medida é um fator discriminante neste estudo de caso.

Na Tabela 5.41, estão apresentados os valores de acurácia, sensibilidade e especificidade obtidos de classificação combinada das medidas de recorrência, considerando os melhores casos de combinação para cada patamar de taxa de recorrência.

Tabela 5.41 – Melhor desempenho da classificação dos sinais de voz de crianças com grau geral normal e crianças com grau geral leve com as medidas de quantificação de recorrência combinadas, extraídas sem segmentação, por patamar de taxa de recorrência.

$REC \leq$	Ac (%)	Sen (%)	Esp (%)	Conjunto de Medidas
1%	87,50* ± 1,86	97,14 ± 1,91	20,00 ± 13,34	TODAS
2%	86,25 ± 2,25	94,29 ± 2,33	30,00 ± 15,29	TODAS, exceto V_{max}
3%	86,25 ± 3,46	95,71 ± 3,05	20,00 ± 13,34	TODAS, exceto LAM
4%	87,50* ± 1,86	98,57 ± 1,43	10,00 ± 10,01	TODAS
5%	86,25 ± 2,25	97,14 ± 6,02	10,00 ± 10,01	TODAS

*acurácia média máxima

A combinação de todas as medidas empregadas neste estudo de caso, sem segmentação, em dois patamares de taxa de recorrência (1% e 4%), proporcionaram os maiores

valores de acurácia. A classificação no patamar de taxa de recorrência em 1% obteve um maior valor de especificidade, enquanto que no outro patamar foi obtido um maior valor de sensibilidade.

Classificação Grau Geral 1 × Grau Geral 3

Na Tabela 5.42, é apresentado o desempenho de cada medida de quantificação de recorrência na classificação dos sinais de voz de crianças com grau geral 1 (grau geral normal – GG1) e crianças com grau geral 3 (grau geral moderado – GG3), e os respectivos patamares de taxa de recorrência nos quais foi obtido o melhor desempenho.

Tabela 5.42 – Melhor desempenho na classificação dos sinais de voz de crianças com grau geral normal e crianças com grau geral moderado com as medidas de quantificação de recorrência empregadas sem segmentação.

Medida	Ac (%)	Sen (%)	Esp (%)	REC ≤
<i>RAIO</i>	66,67 ± 14,92	65,00 ± 15,01	70,00 ± 15,29	5%
<i>DET</i>	56,67 ± 5,67	25,00 ± 11,19	90,00 ± 10,01	1%
<i>L_{max}</i>	63,33 ± 8,54	50,00 ± 16,68	75,00 ± 11,19	3%
<i>ENTR</i>	66,67 ± 9,30	55,00 ± 15,73	80,00 ± 13,34	4%
<i>TREND</i>	70,00* ± 11,34	85,00 ± 10,68	50,00 ± 16,68	4%
<i>LAM</i>	70,00* ± 8,54	80,00 ± 11,06	60,00 ± 16,34	1%
<i>TT</i>	66,67 ± 9,30	65,00 ± 15,01	70,00 ± 15,29	1%
<i>V_{max}</i>	70,00* ± 8,54	90,00 ± 10,01	50,00 ± 16,68	2%

*acurácia média máxima

Três medidas proporcionaram o melhor desempenho do classificador: tendência (*TREND*), considerando a taxa de recorrência no patamar de 4%; laminaridade (*LAM*), considerando a taxa de recorrência no patamar de 1%; e o comprimento máximo das linhas verticais (*V_{max}*), considerando o patamar de taxa de recorrência de 2%. Essas duas últimas são medidas baseadas na formação de estruturas verticais no gráfico de recorrência.

Na Tabela 5.43, estão apresentados os valores de acurácia, sensibilidade e especificidade obtidos de classificação combinada das medidas de recorrência, considerando os melhores casos de combinação para cada patamar de taxa de recorrência.

Tabela 5.43 – Melhor desempenho da classificação dos sinais de voz de crianças com grau geral normal e crianças com grau geral moderado com as medidas de quantificação de recorrência combinadas, extraídas sem segmentação, por patamar de taxa de recorrência.

REC ≤	Ac (%)	Sen (%)	Esp (%)	Conjunto de Medidas
1%	86,67 ± 6,94	95,00 ± 5,00	80,00 ± 13,34	<i>DET, ENTR, LAM e TT</i>
2%	86,67 ± 7,38	90,00 ± 6,67	80,00 ± 13,34	<i>RAIO, TREND, LAM e V_{max}</i>
3%	85,00 ± 6,31	90,00 ± 6,67	80,00 ± 13,34	<i>RAIO, L_{max}, TREND e TT</i>
4%	90,00* ± 6,67	90,00 ± 10,01	90,00 ± 10,01	TODAS, exceto <i>TT</i>
5%	75,00 ± 8,70	75,00 ± 13,45	70,00 ± 15,29	<i>RAIO, DET, ENTR e TT</i>

*acurácia média máxima

Para este caso de classificação, com as medidas de quantificação de recorrência extraídas sem segmentação, o melhor desempenho foi obtido com a combinação de sete medidas, considerando a taxa de recorrência no patamar de 4%.

Classificação Grau Geral 2 × Grau Geral 3

Na Tabela 5.44, estão apresentados os melhores resultados obtidos na classificação dos sinais de voz de crianças com grau geral 2 (grau geral leve – GG2) e crianças com grau geral 3 (grau geral moderado – GG3), e os patamares de taxa de recorrência associados.

Tabela 5.44 – Melhor desempenho na classificação dos sinais de voz de crianças com grau geral leve e crianças com grau geral moderado com as medidas de quantificação de recorrência empregadas sem segmentação.

Medida	Ac (%)	Sen (%)	Esp (%)	REC ≤
RAIO	63,47 ± 3,96	50,00 ± 14,92	65,71 ± 4,86	1%
DET	71,53 ± 5,19	40,00 ± 14,54	77,14 ± 5,31	3%
L_{max}	72,08 ± 3,77	15,00 ± 10,68	82,86 ± 5,56	2%
ENTR	67,50 ± 5,16	40,00 ± 14,54	72,86 ± 4,98	3%
TREND	66,39 ± 4,58	90,00 ± 10,01	61,43 ± 6,41	3%
LAM	61,81 ± 4,31	60,00 ± 14,54	62,86 ± 4,37	3%
TT	72,36* ± 5,43	45,00 ± 15,73	77,14 ± 4,86	5%
V_{max}	32,08 ± 4,69	90,00 ± 10,01	21,43 ± 4,39	2%

*acurácia média máxima

A medida tempo de permanência proporcionou o melhor desempenho do classificador, considerando o patamar de taxa de recorrência de 5%. Outras medidas com as quais foram obtidos maiores valores de acurácia são o determinismo (*DET*) e comprimento máximo das linhas diagonais (L_{max}), nos patamares de taxa de recorrência e 3% e 2%, respectivamente.

Na Tabela 5.45, estão apresentados os valores de acurácia, sensibilidade e especificidade obtidos de classificação combinada das medidas de recorrência, considerando os melhores casos de combinação para cada patamar de taxa de recorrência.

Tabela 5.45 – Melhor desempenho da classificação dos sinais de voz de crianças com grau geral leve e crianças com grau geral moderado com as medidas de quantificação de recorrência combinadas, extraídas sem segmentação, por patamar de taxa de recorrência.

REC ≤	Ac (%)	Sen (%)	Esp (%)	Conjunto de Medidas
1%	70,56 ± 6,83	70,00 ± 15,29	70,00 ± 8,10	DET, TREND e LAM
2%	75,69 ± 3,31	50,00 ± 14,92	81,43 ± 3,72	TODAS
3%	81,39 ± 4,68	55,00 ± 15,73	85,71 ± 4,77	RAIO, DET, L_{max} , TREND e TT
4%	79,72 ± 4,40	45,00 ± 15,73	87,14 ± 3,34	TODAS, exceto LAM e TT
5%	88,47* ± 3,71	55,00 ± 15,73	95,71 ± 2,18	TODAS, exceto V_{max}

*acurácia média máxima

Com a combinação de sete medidas de quantificação de recorrência, no patamar de taxa de recorrência de 5%, foi obtido o melhor desempenho do classificador. Esse resultado indica que com a taxa de recorrência em patamar mais elevado é obtida uma maior discriminação entre as classes envolvidas (grau geral leve e grau geral moderado).

A seguir, é apresentado um resumo com os melhores resultados da classificação em cada estudo de caso.

Principais Resultados da Classificação com as Medidas Extraídas sem Segmentação

Na Tabela 5.46 é apresentado um resumo com os melhores resultados obtidos na classificação realizada com as medidas de quantificação de recorrência extraídas sem

segmentação, indicando a acurácia máxima, o conjunto de medidas utilizado e o patamar de taxa de recorrência.

Tabela 5.46 – Resumo com os melhores resultados de classificação obtidos no Estudo de Caso 2, sem segmentação.

Casos de Discriminação	Acurácia Máxima (%)	Medidas com Melhor Desempenho	$REC \leq$
GG1 × (GG2 e GG3)	88,22 ± 0,93	TODAS	4%
GG1 × GG2	87,50 ± 1,86	TODAS	1% e 4%
GG1 × GG3	90,00 ± 6,67	TODAS, exceto TT	4%
GG2 × GG3	88,47 ± 3,71	TODAS, exceto V_{max}	5%

Embora a maioria das medidas não tenha apresentado significância estatística (Tabela 5.2), elas proporcionaram o aumento da acurácia da classificação quando foram combinadas. No caso de discriminação entre os graus 1 e 2, o maior valor de acurácia foi obtido em dois patamares de taxa de recorrência: 1% e 4%. Os únicos casos de exceções ocorreram com medidas baseadas na formação de estruturas verticais no gráfico de recorrência (TT e V_{max}). Isso pode indicar que, quando não é considerada a estacionaridade dos sinais de voz, a presença de estados laminares não seja um fator discriminante entre os graus de distúrbios da voz. Por outro lado, a quantidade de sinais analisados pode ter influenciado o desempenho do classificador.

A seguir, são apresentados os resultados da classificação realizada com as medidas de quantificação de recorrência extraídas com segmentação.

5.4.2 – Classificação com as Medidas Extraídas com Segmentação

A classificação com as medidas de quantificação de recorrência sem segmentação, cuja metodologia está apresentada na Seção 4.3.3, tem seus resultados apresentados a seguir. No presente estudo de caso, a classificação foi realizada considerando a taxa de recorrência nos seguintes patamares: 1%, 2%, 3%, 4% e 5%. O objetivo é identificar qual a medida ou conjunto de medidas apresentam melhor desempenho na classificação, e qual o patamar de taxa de recorrência que ocorre esse melhor desempenho.

Classificação Grau Geral 1 × (Grau Geral 2 e Grau Geral 3)

Na Tabela 5.47, estão apresentados os melhores resultados da classificação, com as medidas de quantificação de recorrência extraídas com segmentação, dos sinais de voz de crianças com grau geral 1 (grau geral normal – GG1) e crianças com voz alterada, compreendendo o conjunto dos casos com grau geral leve (grau geral 2 – GG2) e grau geral moderado (grau geral 3 – GG3), e os respectivos patamares de taxa de recorrência nos quais foi obtido o melhor desempenho.

Tabela 5.47 – Melhor desempenho na classificação dos sinais de voz de crianças com grau geral normal e crianças com vozes alteradas (grau geral leve e grau geral moderado) com as medidas de quantificação de recorrência empregadas com segmentação.

Medida	Ac (%)	Sen (%)	Esp (%)	REC ≤
RAIO	37,35 ± 0,46	32,11 ± 0,43	80,90 ± 1,29	2%
REC	54,98 ± 3,64	56,49 ± 4,54	42,40 ± 4,05	1%
TRANS	49,24 ± 0,55	45,11 ± 0,63	83,50 ± 1,00	2%
DET	43,70 ± 0,50	38,51 ± 0,53	86,80 ± 0,88	1%
RATIO	52,73 ± 0,34	51,12 ± 0,50	66,10 ± 1,50	1%
L_{med}	75,76 ± 0,37	79,83 ± 0,43	42,00 ± 1,79	2%
L_{max}	76,61* ± 0,56	81,22 ± 0,55	38,40 ± 1,65	1%
DIV	32,82 ± 0,34	26,14 ± 0,49	88,20 ± 1,10	5%
ENTR	58,29 ± 0,43	56,83 ± 0,41	70,40 ± 1,69	1%
LAM	73,17 ± 0,33	78,00 ± 0,34	33,10 ± 1,09	1%
TT	49,27 ± 0,57	49,86 ± 0,53	69,30 ± 1,73	5%
V_{max}	59,88 ± 1,30	60,89 ± 1,67	51,50 ± 2,33	4%
T^1	65,27 ± 0,60	65,16 ± 0,66	66,20 ± 1,89	1%
T^2	55,39 ± 0,53	53,78 ± 0,61	68,70 ± 0,88	1%
RPDE	55,41 ± 1,00	55,75 ± 1,23	52,60 ± 1,55	3%

*acurácia média máxima

A medida do comprimento máximo das linhas diagonais (L_{max}) proporcionou, individualmente, o melhor desempenho do classificador, considerando o patamar de taxa de recorrência de 1%. Com mesma medida, no caso sem segmentação, foi obtido o melhor desempenho, porém com resultados ainda melhores (Tabela 5.38). Vale ressaltar que neste caso com segmentação foram empregadas mais medidas de quantificação de recorrência.

Na Tabela 5.48, estão apresentados os valores de acurácia, sensibilidade e especificidade obtidos das melhores combinações, por cada patamar de taxa de recorrência, no presente caso de discriminação.

Tabela 5.48 – Melhor desempenho da classificação dos sinais de voz de crianças com grau geral normal e crianças com vozes alteradas (grau geral leve e grau geral moderado) com as medidas de quantificação de recorrência combinadas, extraídas com segmentação, por patamar de taxa de recorrência.

REC ≤	Ac (%)	Sen (%)	Esp (%)	Conjunto de Medidas
1%	78,54* ± 0,31	82,95 ± 0,41	41,90 ± 1,51	L_{med} , LAM e V_{max}
2%	76,12 ± 0,55	79,67 ± 0,60	46,60 ± 1,53	L_{med} , TT e V_{max}
3%	78,20 ± 0,32	83,02 ± 0,30	38,20 ± 1,30	L_{med} , TT e V_{max}
4%	75,84 ± 0,45	77,36 ± 0,48	63,20 ± 0,84	RAIO, L_{med} , L_{max} , ENTR, TT e V_{max}
5%	75,23 ± 0,50	76,12 ± 0,47	67,80 ± 1,93	RAIO, REC, TRANS, L_{med} , L_{max} , ENTR, TT e V_{max}

*acurácia média máxima

Com a combinação de três medidas, com o patamar de taxa de recorrência de 1%, foi obtido o melhor desempenho de classificação. Essas medidas são: L_{med} , LAM e V_{max} . A primeira, baseada em estruturas diagonais, e as outras duas baseadas em estruturas verticais. Com o patamar de taxa de recorrência de 3%, foi obtido um valor de acurácia próximo, com as medidas L_{med} , TT e V_{max} , em que a medida TT também baseia-se em estruturas verticais. Entretanto, para este caso de discriminação, o melhor desempenho foi obtido com as medidas de recorrência extraídas sem segmentação (Tabela 5.39).

Classificação Grau Geral 1 × Grau Geral 2

Na Tabela 5.49, estão apresentados os melhores valores obtidos de acurácia, sensibilidade e especificidade de cada medida empregada com segmentação em sinais de voz de crianças com grau geral 1 (grau geral normal – GG1) e crianças com grau geral 2 (grau geral leve – GG2), e os respectivos patamares de taxa de recorrência nos quais foi obtido esse desempenho.

Tabela 5.49 – Melhor desempenho na classificação dos sinais de voz de crianças com grau geral normal e crianças com grau geral leve com as medidas de quantificação de recorrência empregadas com segmentação.

Medida	Ac (%)	Sen (%)	Esp (%)	REC ≤
RAIO	37,23 ± 0,51	30,96 ± 0,55	81,10 ± 0,88	2%
REC	57,66 ± 2,69	60,00 ± 3,58	41,30 ± 3,86	1%
TRANS	49,60 ± 0,41	45,20 ± 0,44	80,40 ± 0,75	5%
DET	42,69 ± 0,34	36,47 ± 0,45	86,20 ± 1,15	1%
RATIO	53,86 ± 0,82	52,57 ± 0,86	62,90 ± 1,44	1%
L_{med}	74,75 ± 0,60	80,10 ± 0,80	37,30 ± 1,28	3%
L_{max}	74,91* ± 0,64	78,90 ± 0,69	47,00 ± 1,15	2%
DIV	34,49 ± 0,34	26,83 ± 0,39	88,10 ± 0,85	5%
ENTR	57,58 ± 0,60	55,99 ± 0,66	68,70 ± 1,83	1%
LAM	73,46 ± 0,65	79,14 ± 0,65	33,70 ± 1,51	1%
TT	56,70 ± 0,66	56,91 ± 0,72	55,20 ± 1,08	1%
V_{max}	55,86 ± 1,01	55,67 ± 1,25	57,20 ± 1,87	4%
T^1	62,84 ± 0,55	62,27 ± 0,67	66,80 ± 1,37	1%
T^2	54,70 ± 0,45	52,73 ± 0,49	68,50 ± 1,73	1%
RPDE	55,71 ± 1,18	56,33 ± 1,30	51,40 ± 1,04	3%

*acurácia média máxima

O melhor desempenho de classificação foi obtido com a medida L_{max} , considerando o patamar de taxa de recorrência de 2%. Outras medidas com desempenho próximo são L_{med} , com a taxa de recorrência no patamar de 3%, e LAM , considerando o patamar de taxa de recorrência de 1%. Por outro lado, a classificação realizada com as medidas de recorrência obtidas sem segmentação obteve melhor desempenho, na qual a medida L_{max} também apresentou-se como um fator discriminativo entre as classes envolvidas.

Na Tabela 5.50, estão apresentados os valores de acurácia, sensibilidade e especificidade obtidos das melhores combinações, por cada patamar de taxa de recorrência, no presente caso de discriminação.

Com a combinação de três medidas no patamar de taxa de recorrência de 3% foi obtido o melhor desempenho do classificador. Essas medidas são: L_{med} , TT e V_{max} . A primeira, baseada em estruturas dagonais, e as outras duas baseadas em estruturas verticais. Com o patamar de taxa de recorrência de 1%, foi obtido um valor de acurácia próximo, com as medidas L_{med} , LAM e V_{max} , em que a medida LAM também baseia-se em estruturas verticais. Entretanto, para este caso de discriminação, o melhor desempenho foi obtido com as medidas de recorrência extraídas sem segmentação (Tabela 5.41).

Tabela 5.50 – Melhor desempenho da classificação dos sinais de voz de crianças com grau geral normal e crianças com grau geral leve com as medidas de quantificação de recorrência combinadas, extraídas com segmentação, por patamar de taxa de recorrência.

$REC \leq$	Ac (%)	Sen (%)	Esp (%)	Conjunto de Medidas
1%	$76,20 \pm 0,49$	$81,19 \pm 0,56$	$41,30 \pm 1,25$	L_{med} , LAM e V_{max}
2%	$74,86 \pm 0,31$	$78,06 \pm 0,35$	$52,50 \pm 1,41$	$RAIO$, L_{med} , L_{max} e T^2
3%	$76,50^* \pm 0,74$	$82,24 \pm 0,64$	$36,30 \pm 1,83$	L_{med} , TT e V_{max}
4%	$75,60 \pm 0,66$	$77,39 \pm 0,72$	$63,10 \pm 2,20$	$RAIO$, L_{med} , L_{max} , $ENTR$, TT e V_{max}
5%	$75,34 \pm 0,51$	$76,37 \pm 0,58$	$68,10 \pm 1,24$	$RAIO$, $TRANS$, L_{med} , L_{max} , $ENTR$, TT e V_{max}

*acurácia média máxima

Classificação Grau Geral 1 × Grau Geral 3

Na Tabela 5.51, é apresentado o melhor desempenho de cada medida de quantificação de recorrência, extraída com segmentação, na classificação dos sinais de voz de crianças com grau geral 1 (grau geral normal – GG1) e crianças com grau geral 3 (grau geral moderado – GG3), bem como os respectivos patamares de taxa de recorrência.

Tabela 5.51 – Melhor desempenho na classificação dos sinais de voz de crianças com grau geral normal e crianças com grau geral moderado com as medidas de quantificação de recorrência empregadas com segmentação.

Medida	Ac (%)	Sen (%)	Esp (%)	$REC \leq$
$RAIO$	$59,26 \pm 0,73$	$37,23 \pm 1,68$	$87,90 \pm 1,19$	1%
REC	$55,65 \pm 1,05$	$43,23 \pm 1,40$	$71,80 \pm 1,51$	3%
$TRANS$	$71,04 \pm 1,12$	$59,77 \pm 2,00$	$85,70 \pm 1,23$	2%
DET	$69,43 \pm 0,86$	$54,62 \pm 1,34$	$88,70 \pm 0,54$	1%
$RATIO$	$64,78 \pm 0,88$	$55,38 \pm 1,31$	$77,00 \pm 1,88$	1%
L_{med}	$75,87^* \pm 0,68$	$88,08 \pm 0,79$	$60,00 \pm 1,54$	1%
L_{max}	$69,39 \pm 0,73$	$89,69 \pm 0,60$	$43,00 \pm 1,33$	1%
DIV	$67,57 \pm 0,69$	$54,92 \pm 1,50$	$84,00 \pm 1,27$	2%
$ENTR$	$71,39 \pm 0,48$	$67,92 \pm 1,23$	$75,90 \pm 1,27$	1%
LAM	$55,39 \pm 1,01$	$35,85 \pm 1,57$	$90,00 \pm 0,97$	3%
TT	$59,57 \pm 0,88$	$69,85 \pm 1,25$	$46,20 \pm 1,52$	1%
V_{max}	$64,13 \pm 0,68$	$71,54 \pm 1,33$	$54,50 \pm 1,51$	1%
T^1	$72,09 \pm 0,56$	$78,54 \pm 0,71$	$63,70 \pm 1,12$	1%
T^2	$64,22 \pm 0,79$	$60,15 \pm 1,21$	$69,50 \pm 1,69$	1%
$RPDE$	$68,39 \pm 1,37$	$59,31 \pm 1,89$	$80,20 \pm 1,24$	1%

*acurácia média máxima

A medida do comprimento médio das linhas diagonais (L_{med}) proporcionou o melhor desempenho do classificador neste caso de discriminação, com a taxa de recorrência no patamar de 1%.

Na Tabela 5.52, estão apresentados os valores de acurácia, sensibilidade e especificidade obtidos de classificação combinada das medidas de recorrência, considerando os melhores casos de combinação para cada patamar de taxa de recorrência.

Com a combinação de oito medidas e considerando a taxa de recorrência no patamar de 1%, foi obtido o melhor desempenho da classificação entre os casos de combinações de medidas. Entretanto, esse resultado é inferior àquele obtido com sete medidas extraídas sem segmentação.

Tabela 5.52 – Melhor desempenho da classificação dos sinais de voz de crianças com grau geral normal e crianças com grau geral moderado com as medidas de quantificação de recorrência combinadas, extraídas com segmentação, por patamar de taxa de recorrência.

$REC \leq$	Ac (%)	Sen (%)	Esp (%)	Conjunto de Medidas
1%	84,04* \pm 1,24	89,54 \pm 1,05	76,90 \pm 1,99	$RAIO, REC, L_{med}, ENTR, LAM, TT, V_{max}$ e T^2
2%	82,74 \pm 0,48	84,54 \pm 0,82	80,40 \pm 1,09	TODAS, exceto DET, DIV, TT e T^2
3%	82,70 \pm 0,66	80,23 \pm 0,60	84,70 \pm 1,38	TODAS, exceto DET, DIV, TT e T^2
4%	82,09 \pm 0,56	77,92 \pm 0,84	87,50 \pm 0,58	TODAS, exceto DET, DIV, TT e T^2
5%	82,26 \pm 0,38	77,92 \pm 0,81	87,90 \pm 0,78	TODAS, exceto $TRANS, DIV$ e T^1

*acurácia média máxima

Classificação Grau Geral 2 \times Grau Geral 3

Na Tabela 5.53, estão apresentados os melhores resultados de classificação no caso de discriminação entre sinais de voz de crianças com grau geral 2 (grau geral leve – GG2) e crianças com grau geral 3 (grau geral moderado – GG3), apontando os respectivos patamares de taxa de recorrência nos quais foi obtido esse desempenho.

Tabela 5.53 – Melhor desempenho na classificação dos sinais de voz de crianças com grau geral leve e crianças com grau geral moderado com as medidas de quantificação de recorrência empregadas com segmentação.

Medida	Ac (%)	Sen (%)	Esp (%)	$REC \leq$
$RAIO$	74,60 \pm 0,42	30,92 \pm 1,04	82,71 \pm 0,52	1%
REC	62,41 \pm 0,86	37,00 \pm 1,48	67,13 \pm 1,06	2%
$TRANS$	72,40 \pm 0,37	35,62 \pm 1,51	79,23 \pm 0,32	4%
DET	77,24* \pm 0,17	30,31 \pm 1,08	85,96 \pm 0,25	3%
$RATIO$	73,12 \pm 0,30	34,92 \pm 1,10	80,21 \pm 0,40	2%
L_{med}	61,02 \pm 0,78	53,69 \pm 1,68	62,39 \pm 0,83	5%
L_{max}	66,89 \pm 0,52	30,38 \pm 1,22	73,67 \pm 0,62	4%
DIV	46,29 \pm 2,14	62,23 \pm 1,99	43,33 \pm 2,79	5%
$ENTR$	69,45 \pm 0,44	38,54 \pm 0,94	75,19 \pm 0,60	3%
LAM	76,19 \pm 0,33	20,62 \pm 0,46	86,51 \pm 0,38	5%
TT	65,17 \pm 0,45	37,15 \pm 1,22	70,37 \pm 0,50	4%
V_{max}	53,11 \pm 0,59	69,31 \pm 1,43	50,10 \pm 0,74	1%
T^1	44,66 \pm 0,40	76,92 \pm 1,25	38,67 \pm 0,50	1%
T^2	68,27 \pm 0,47	37,38 \pm 1,03	74,00 \pm 0,62	3%
$RPDE$	57,63 \pm 0,46	65,77 \pm 1,17	56,11 \pm 0,45	1%

*acurácia média máxima

A medida determinismo (DET) proporcionou o melhor desempenho do classificador, considerando o patamar de taxa de recorrência de 3%. Outra medida que proporcionou desempenho próximo foi a laminaridade (LAM). Este resultado é superior àquele obtido com a medida tempo de permanência (TT) considerando o patamar de taxa de recorrência de 5% com as medidas extraídas sem segmentação (Tabela 5.44).

Na Tabela 5.54, estão apresentados os valores de acurácia, sensibilidade e especificidade obtidos de classificação combinada das medidas de recorrência, considerando os melhores casos de combinação para cada patamar de taxa de recorrência.

Tabela 5.54 – Melhor desempenho da classificação dos sinais de voz de crianças com grau geral leve e crianças com grau geral moderado com as medidas de quantificação de recorrência combinadas, extraídas com segmentação, por patamar de taxa de recorrência.

$REC \leq$	Ac (%)	Sen (%)	Esp (%)	Conjunto de Medidas
1%	$76,86 \pm 0,56$	$26,92 \pm 3,34$	$86,13 \pm 2,04$	$RAIO$ e LAM
2%	$77,02 \pm 0,26$	$39,23 \pm 0,95$	$84,04 \pm 0,31$	$RAIO$, DET e $RPDE$
3%	$77,33^* \pm 0,46$	$30,46 \pm 1,30$	$86,03 \pm 0,53$	DET e $RATIO$
4%	$76,89 \pm 0,31$	$26,85 \pm 1,77$	$86,19 \pm 0,37$	REC e DET
5%	$75,99 \pm 0,37$	$85,47 \pm 0,47$	$24,92 \pm 1,50$	REC e DET

Com a combinação das características DET e $RATIO$, foi obtido o melhor desempenho da classificação das medidas de recorrência combinadas, extraídas com segmentação, considerando a taxa de recorrência no patamar de 3%. A combinação dessas duas medidas mais a medida $RPDE$, no patamar de taxa de recorrência de 2%, proporcionou desempenho próximo. Entretanto, esse resultado não é superior àquele obtido com a combinação de sete medidas, considerando a taxa de recorrência no patamar de 5%, no caso sem segmentação (Tabela 5.45).

O resumo dos melhores resultados da classificação com as medidas de quantificação de recorrência extraídas com segmentação é apresentado a seguir.

Principais Resultados da Classificação com as Medidas Extraídas com Segmentação

Na Tabela 5.55 é apresentado um resumo com os principais resultados obtidos na classificação realizada com as medidas de quantificação de recorrência extraídas sem segmentação, indicando a acurácia máxima, o conjunto de medidas utilizado e o patamar de taxa de recorrência.

Tabela 5.55 – Resumo com os melhores resultados de classificação obtidos no Estudo de Caso 2, com segmentação.

Casos de Discriminação	Acurácia Máxima (%)	Medidas com Melhor Desempenho	$REC \leq$
GG1 \times (GG2 e GG3)	$78,54 \pm 0,31$	L_{med} , LAM e V_{max}	1%
GG1 \times GG2	$76,50 \pm 0,74$	L_{med} , TT e V_{max}	3%
GG1 \times GG3	$84,04 \pm 1,24$	$RAIO$, REC , L_{med} , $ENTR$, LAM , TT , V_{max} e T^2	1%
GG2 \times GG3	$77,33 \pm 0,46$	DET e $RATIO$	3%

Exceto o caso de discriminação entre os graus 1 e 3, os demais casos obtiveram o melhor desempenho do classificador com a combinação de poucas medidas de quantificação de recorrência. Nos casos de discriminação entre vozes normais e alteradas, medidas baseadas na formação de estruturas diagonais (L_{me}) e verticais (LAM , TT e V_{max}) proporcionaram, juntas, o melhor desempenho de classificação. Isso indica que a regularidade da onda sonora, bem como a presença do caos (estados laminares) no sistema de produção vocal podem ser fatores discriminativos importantes na investigação desses casos de separação.

Na discriminação entre o grau geral leve e o grau geral moderado, a combinação de apenas duas medidas foi suficiente para obter o maior valor de acurácia. O determinismo dá indícios que o grau de previsibilidade pode ser um fator discriminativo importante neste estudo de caso, bem como a frequência de distribuição das linhas diagonais no gráfico de recorrência, com a medida *RATIO*.

5.5 – Discussão

Os resultados obtidos indicam que cada estudo de caso analisado apresenta suas particularidades no que diz respeito ao conjunto de características com melhor desempenho em cada caso de discriminação, patamar de taxa de recorrência no qual foi obtido o melhor desempenho, e o tipo de processamento (com ou sem segmentação). Nos dois estudos de caso, as análises com e sem segmentação, foram realizadas com diferentes quantidades de medidas, por conta de limitações dos *softwares* empregados em relação à quantidade de amostras em cada procedimento.

No Estudo de Caso 1, com a análise sem segmentação, algumas medidas, a exemplo do comprimento máximo das linhas diagonais (L_{max}), proporcionaram um melhor desempenho do classificador quando foram considerados patamares de taxa de recorrência acima de 1%. Foi identificado que L_{max} consegue separar com mais precisão os casos saudáveis dos casos patológicos, o que é reflexo do fato de os sinais de laringes saudáveis apresentarem mais regularidade e, conseqüentemente, gráficos de recorrência com mais linhas diagonais (Figura 3.25, página 48). Combinada com outras medidas, L_{max} melhorou o desempenho do classificador em outros casos de discriminação, entre os quais, casos que obtiveram melhores resultados se comparados à análise com segmentação dos sinais de voz: saudável *versus* paralisia e saudável *versus* edema (este último caso obtendo melhor resultado na pesquisa de Costa [3]). Vale ressaltar que, sem segmentação, foi utilizado um conjunto menor de medidas de quantificação de recorrência.

Na análise com segmentação no Estudo de Caso 1, a observação mais detalhada dos sinais de voz proporcionou uma diminuição no desvio padrão nos valores de acurácia, sensibilidade e especificidade da classificação. Neste estudo de caso, a análise com segmentação obteve, no geral, os melhores resultados em quatro casos de discriminação: saudável *versus* nódulos; paralisia *versus* edema; paralisia *versus* nódulos; e edema *versus* nódulos. De todo modo, para uma comparação mais detalhada sobre qual tipo de processamento utilizar na análise de quantificação de recorrência de sinais de vozes patológicas, é necessária a investigação com todas as medidas empregadas nos dois tipos de processamento (com e sem segmentação).

Como ocorrido no caso sem segmentação, a medida do comprimento máximo das linhas diagonais esteve presente nos melhores resultados de classificação. Outras medidas, como o tempo de permanência (TT) e o comprimento máximo das linhas verticais (V_{max}) estiveram

em boa parte das melhores combinações. Estas duas medidas são baseadas na formação de estruturas verticais/horizontais no gráfico de recorrência, e refletiram a maior presença de estados laminares (comportamento caótico) nos sinais de laringes patológicas (ver APÊNDICE A).

Ainda no Estudo de Caso 1, na análise sem segmentação, a investigação preliminar do uso da rede MLP neste estudo de caso, mostrou que, quando combinadas todas as quinze medidas de quantificação de recorrência, o classificador atinge um desempenho mais elevado, exceto no caso de discriminação entre vozes afetadas por paralisia e vozes afetadas por edema.

No Estudo de Caso 2, a análise estatística com as medidas extraídas sem segmentação não apresentou diferenças significativas entre os grupos de sinais na maioria dos casos de discriminação. Por outro lado, a análise sem segmentação obteve os melhores resultados de classificação se comparada à análise com segmentação, principalmente ao combinar as medidas utilizadas. Medidas que se sobressaíram tanto na análise estatística quanto na classificação foram: o comprimento máximo das linhas diagonais, o tempo de permanência e o comprimento máximo das linhas verticais. Destas, TT foi identificada como sendo a medida que melhor separou vozes com desvio leve de vozes com desvio moderado. L_{max} foi a medida que melhor discriminou vozes saudáveis de vozes alteradas. Nesses resultados, foi observada uma discrepância entre os valores de sensibilidade e especificidade, comportamento este que pode ter ocorrido por conta da diferença na quantidade de sinais em cada classe (10 sinais no grupo GG1, 70 sinais no grupo GG2 e 13 sinais no grupo GG3), em que o grupo com mais sinais obteve, na maioria dos casos, os maiores valores de classificação. Outro fator que pode ter influenciado é a presença de diferentes características em cada grupo, as quais não foram levadas em consideração nesta pesquisa, tais como rugosidade, sopro, tensão e instabilidade.

Na análise com segmentação no Estudo de Caso 2, a observação mais detalhada dos sinais de vozes infantis, com mais medidas de quantificação de recorrência, proporcionou uma inferência estatística favorável à separação dos grupos envolvidos na maioria dos casos. Ainda, como ocorrido no Estudo de Caso 1, houve diminuição no desvio padrão dos valores de acurácia, sensibilidade e especificidade. Todavia, a diferença na quantidade de observações de cada grupo pode ter influenciado o classificador, pois na maioria dos resultados os maiores valores de classificação foram obtidos para o grupo com maior quantidade de sinais. Seria viável que, para comprovar a eficiência da análise de quantificação de recorrência neste estudo de caso, mais sinais sejam utilizados, de forma a equiparar a quantidade de observações em cada classe.

As medidas que mais se destacaram como discriminantes de vozes saudáveis e alteradas, na análise com segmentação, foram: o comprimento médio das linhas diagonais (L_{med}), o tempo de permanência e o comprimento máximo das linhas verticais. Isso indica que a regularidade dos sinais de vozes saudáveis (refletida com a medida L_{med}) e a instabilidade dos sinais de vozes alteradas (refletida com TT e V_{max}) são fatores discriminantes entre essas classes. Na discriminação entre os grupos de vozes alteradas, medidas baseadas na formação de estruturas diagonais (DET e $RATIO$) proporcionaram, em conjunto, o melhor desempenho do

classificador, indicando que o grau de regularidade desses sinais é um fator discriminante entre as vozes com grau de desvio leve e as vozes com grau de desvio moderado.

Considerações Finais

Esta pesquisa investiga a aplicabilidade das medidas de quantificação de recorrência na análise acústica de distúrbios da voz. Quinze medidas foram empregadas com o objetivo de identificar o comportamento não linear do sistema de produção da voz. Dessas medidas, três dão informações sobre a distribuição dos pontos recorrentes no gráfico de recorrência (*REC*, *TRANS* e *TREND*), seis dão informações sobre a formação de estruturas diagonais no gráfico de recorrência (*DET*, *RATIO*, L_{med} , L_{max} , *DIV* e *ENTR*), e seis dão informações sobre a formação de estruturas verticais no gráfico de recorrência (*LAM*, *TT*, V_{max} , T^1 , T^2 e *RPDE*).

A formação de estruturas diagonais no gráfico de recorrência reflete a regularidade de um sinal, e esse fator foi mais observado em sinais considerados saudáveis (daqueles que foram analisados). A formação de estruturas verticais reflete a presença de estados laminares (comportamento caótico) e de transições abruptas na série temporal, e esse fator foi mais observado em sinais considerados patológicos (ou alterados).

Dois estudos de caso foram considerados para validar o uso das medidas de quantificação de recorrência como método de análise acústica de distúrbios da voz. Os aspectos conclusivos, relacionados a cada um dos estudos de caso considerados nesta pesquisa, estão apresentados a seguir. Há diferentes particularidades envolvidas em cada estudo de caso, em que no primeiro caso a voz é analisada levando em conta a condição da laringe (saudável ou patológica) e no segundo caso são avaliados os aspectos relacionados à qualidade vocal.

6.1 – Aspectos Relacionados ao Estudo de Caso 1

Este estudo de caso diz respeito à investigação do potencial das medidas de quantificação de recorrência em discriminar sinais de voz oriundos de laringes saudáveis de sinais de voz oriundos de laringes afetadas por patologias (no caso desta pesquisa, paralisia, edema e nódulos). Houve casos de discriminação em que a maior precisão de classificação foi atingida sem considerar a estacionaridade dos sinais de voz. Por outro lado, a maioria dos casos de discriminação (inclusive todos os casos de discriminação entre patologias) apresentaram os principais valores de acurácia ao serem utilizadas as medidas de quantificação de recorrência extraídas com segmentação. Vale ressaltar que, no caso com segmentação, foram utilizadas 15 medidas, enquanto que no caso sem segmentação apenas 7.

Os casos de discriminação em que a acurácia foi maior considerando a extração das medidas de quantificação de recorrência sem segmentação foram os seguintes:

- ▣ saudável × patológica ($REC \leq 2\%$);
- ▣ saudável × paralisia ($REC \leq 3\%$);
- ▣ saudável × edema ($REC \leq 1\%$).

Os casos de discriminação em que a acurácia foi maior considerando a extração das medidas de quantificação de recorrência com segmentação foram os seguintes:

- ▣ saudável × nódulos ($REC \leq 1\%$);
- ▣ paralisia × edema ($REC \leq 3\%$);
- ▣ paralisia × nódulos ($REC \leq 5\%$);
- ▣ edema × nódulos ($REC \leq 5\%$).

As medidas de quantificação de recorrência apresentaram aspectos particulares em alguns casos de discriminação e, em outros, aspectos complementares. Na discriminação entre os grupos de laringes saudáveis e patológicas, a principal característica observada foi a formação de estruturas diagonais nos gráficos de recorrência (comprimento máximo das linhas diagonais), fator mais presente nos sinais de laringes saudáveis, que são mais bem comportados. Na discriminação entre o grupo de laringes saudáveis e cada grupo de patologias, a medida tempo de permanência se mostrou como uma das principais características. Isso indica que estados laminares (comportamento caótico) aparecem com mais frequência em sistemas de produção vocal patológicos. Outras medidas complementaram essas duas medidas na discriminação entre sinais de laringes saudáveis e sinais de laringes afetadas por edema e sinais de laringes afetadas por nódulos.

Nos casos de discriminação entre patologias, as medidas que proporcionaram melhor desempenho do classificador apresentaram aspectos importantes nesses casos. As medidas do comprimento das linhas diagonais (médio e máximo) indicam que os grupos de patologias apresentam diferenças no que diz respeito à regularidade da onda sonora dos sinais de voz emitidos. Medidas do tempo de recorrência (dos tipos 1 e 2) indicam que as transições de energia que ocorrem na onda sonora tem aspectos particulares para cada patologia. No caso de discriminação entre as duas patologias de lesões de massa (edema e nódulos), o raio de vizinhança mostrou-se como fator discriminante, além das outras medidas, bem como as medidas tempo de permanência e comprimento máximo das linhas verticais, as quais indicam que há comportamento mais caótico em sinais de laringes afetadas por edema.

A utilização da rede MLP com as medidas de quantificação de recorrência extraídas com segmentação mostrou, na classificação com cada medida individualmente, que o comprimento

médio das linhas diagonais e o tempo de recorrência do tipo 2 são os principais fatores de discriminação observados pela rede neural nos casos de discriminação, sendo esta segunda medida capaz de identificar transições de baixa energia presentes nos sinais de vozes patológicas. Com a combinação de todas as quinze medidas utilizadas, a rede MLP só não obteve melhor desempenho que o classificador QDA no caso de discriminação entre vozes de laringes com paralisia e vozes de laringes com edema.

De uma maneira geral, ao analisar este estudo de caso com e sem segmentação, foi observado que as medidas de quantificação de recorrência apresentam potencial discriminativo para identificar características inerentes de cada classe e, assim, separá-las com precisão.

6.2 – Aspectos Relacionados ao Estudo de Caso 2

No Estudo de Caso 2, vozes de crianças foram analisadas com as medidas de quantificação de recorrência com objetivo de discriminar os graus de intensidade do desvio vocal. Uma das principais motivações para esta parte da pesquisa está no fato de não ter sido encontrado nenhum trabalho que relacionasse a análise de quantificação de recorrência à avaliação de distúrbios da voz e monitoramento vocal de crianças.

Assim como no Estudo de Caso 1, foi investigado o uso das medidas de quantificação de recorrência extraídas com e sem segmentação. Os maiores valores de acurácia foram obtidos com as medidas extraídas sem segmentação, com os seguintes patamares de taxa de recorrência:

- ▣ grau geral normal × (grau geral leve e grau geral moderado) – $REC \leq 4\%$;
- ▣ grau geral normal × grau geral leve – $REC \leq 1\%$ e $REC \leq 4\%$;
- ▣ grau geral normal × grau geral moderado – $REC \leq 5\%$;
- ▣ grau geral leve × grau geral moderado – $REC \leq 4\%$.

Esse resultado indica que, para os sinais avaliados, a discriminação entre esses grupos de sinais obtém mais precisão com patamares mais elevados de taxa de recorrência. Além disso, a estacionaridade não precisa ser considerada. Porém, a quantidade de medidas utilizadas em cada forma de análise foi diferente. Embora os testes estatísticos não tenham apresentado potencial estatístico com a maioria das medidas, elas apresentaram aspectos complementares quando combinadas no classificador. Os melhores resultados dessa classificação foram obtidos para o grau geral leve. A diferença significativa na quantidade de sinais em cada classe (10 vozes normais, 70 vozes com desvio leve e 13 vozes com desvio moderado) pode ter influenciado as análises.

Na análise segmentada, conseguiu-se um melhor desempenho do classificador com uma quantidade menor de medidas, se comparado à análise sem segmentação. Medidas

como o comprimento médio das linhas diagonais, a laminaridade, o tempo de permanência e o comprimento máximo das linhas verticais proporcionaram os melhores desempenho na separação entre vozes consideradas normais e vozes alteradas, indicando que a formação de estruturas diagonais e verticais nos gráficos de recorrência tem particularidades para cada classe observada.

De acordo com as análises realizadas neste estudo de caso, o uso das medidas de quantificação de recorrência no auxílio ao diagnóstico de distúrbios vocais de crianças mostrou-se como uma técnica promissora.

6.3 – Contribuições da Pesquisa

As contribuições desta pesquisa de Dissertação são as seguintes:

1. Aplicação da análise de quantificação de recorrência em trechos curtos dos sinais de voz, nos quais estes são considerados estacionários;
2. Aplicação de novas medidas de quantificação de recorrência, além daquelas utilizadas por Costa [3];
3. Aplicação das medidas de quantificação de recorrência e investigação do potencial discriminativo destas em dois diferentes estudos de caso;
4. Aplicação da análise de quantificação de recorrência no estudo de distúrbios vocais em vozes infantis, em que não foi encontrada na literatura nenhuma pesquisa que relacionasse o método à análise perceptivo-auditiva de vozes de crianças;
5. Nos dois estudos de caso, extração das medidas de quantificação de recorrência com e sem segmentação dos sinais de voz avaliados;
6. Investigação preliminar do uso de redes neurais MLP com as medidas de quantificação de recorrência;
7. Estudo sobre a formação de estruturas nos gráficos de recorrência e da relação das medidas de quantificação de recorrência com os sinais de voz avaliados.

6.4 – Sugestões para Trabalhos Futuros

As sugestões para trabalhos futuros estão elencadas a seguir.

1. Utilização das medidas de quantificação de recorrência adicionadas aos casos com segmentação neste trabalho nos casos sem segmentação, de modo que possa ser realizada uma comparação mais detalhada do potencial dessas medidas quando considerada ou não a estacionaridade dos sinais de voz;

2. Investigação do uso de outros classificadores nos casos tratados nesta pesquisa, tais como máquinas de vetor de suporte e outras redes neurais além das redes MLP, bem como a investigação do potencial das medidas de quantificação de recorrência com a combinação desses classificadores;
3. Aplicação das medidas de quantificação de recorrência em outras bases de dados, bem como a análise distinta de acordo com fatores como gênero, severidade da patologia, grau de soproidade, grau de rugosidade, grau de tensão, grau de instabilidade, entre outros;
4. Implementação das medidas de quantificação de recorrência para o desenvolvimento de uma ferramenta direcionada ao diagnóstico de distúrbios da voz.

Referências Bibliográficas

- [1] J. I. Godino-Llorente, P. Gomez-Vilda, and M. Blanco-Velasco, "Dimensionality reduction of a pathological voice quality assessment system based on gaussian mixture models and short-term cepstral parameters," *Biomedical Engineering, IEEE Transactions on*, vol. 53, no. 10, pp. 1943–1953, 2006.
- [2] S. L. d. N. C. Costa, "Análise acústica, baseada no modelo linear de produção da fala, para discriminação de vozes patológicas," *Universidade Federal de Campina Grande. Tese de Doutorado*, 161 p., 2008.
- [3] W. C. d. A. Costa, "Análise dinâmica não linear de sinais de voz para detecção de patologias laríngeas," *Universidade Federal de Campina Grande. Tese de Doutorado*, 176 p., 2012.
- [4] G. Fant, *Speech Acoustics and Phonetics [: Selected Writings]*, vol. 24. Springer, 2004.
- [5] M. Behlau, *Voz, O Livro do Especialista*, vol. 1. Rio de Janeiro: Revinter, 2001.
- [6] A. B. C. Vieira, M. O. d. C. Rocha, A. C. C. Gama, and D. U. Gonçalves, "Fatores causais e profilaxia da disfonia na prática docente," *Cadernos de Educação*, no. 28, 2012.
- [7] R. H. Colton, J. K. Casper, and R. Leonard, *Understanding voice problems: A physiological perspective for diagnosis and treatment*. Wolters Kluwer Health, 2006.
- [8] J. Hirschberg, P. Dejonckere, M. Hirano, K. Mori, H.-J. Schultz-Coulon, and K. Vrtička, "Voice disorders in children," *International journal of pediatric otorhinolaryngology*, vol. 32, pp. S109–S125, 1995.
- [9] J. C. Kahane, "Growth of the human prepubertal and pubertal larynx," *Journal of Speech, Language and Hearing Research*, vol. 25, no. 3, p. 446, 1982.
- [10] R. J. F. d. Santos, "Avaliação de pacientes com paralisia unilateral das pregas vocais," *Universidade de Aveiro. Dissertação de Mestrado*, 171 p., 2009.
- [11] W. C. d. A. Costa, S. C. Costa, V. J. D. Vieira, C. F. Dourado, and T. B. P. Araújo, "Análise da dinâmica do sistema de produção vocal na presença de patologias da laringe," in *XI Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente (SBAI) e Conferência Brasileira de Dinâmica, Controle e Aplicações (DINCON 2013)*, 2013.

- [12] K. Nemr, A. Amar, M. Abrahão, G. C. d. A. Leite, J. Kohle, A. d. O. Santos, and L. A. C. Correa, "Análise comparativa entre avaliação fonoaudiológica perceptivo-auditiva, análise acústica e laringoscopias indiretas para avaliação vocal em população com queixa vocal," *Revista Brasileira de Otorrinolaringologia*, vol. 71, pp. 13 – 17, 2005.
- [13] M. Brockmann-Bauser and M. J. Drinnan, "Routine acoustic voice analysis: time to think again?," *Current opinion in otolaryngology & head and neck surgery*, vol. 19, no. 3, pp. 165–170, 2011.
- [14] N. Roy, J. Barkmeier-Kraemer, T. Eadie, M. P. Sivasankar, D. Mehta, D. Paul, and R. Hillman, "Evidence-based clinical voice assessment: A systematic review," *American Journal of Speech-Language Pathology*, vol. 22, no. 2, p. 212, 2013.
- [15] A. L. Reynolds, J. L. Vick, and N. J. Haak, "Telehealth applications in speech-language pathology: a modified narrative review," *Journal of Telemedicine and Telecare*, vol. 15, no. 6, pp. 310–316, 2009.
- [16] M. R. Schmeler, R. M. Schein, M. McCue, and K. Betz, "Telerehabilitation clinical and vocational applications for assistive technology: research, opportunities, and challenges," *International Journal of Telerehabilitation*, vol. 1, no. 1, pp. 59–72, 2009.
- [17] V. Valadez, A. Ysunza, E. Ocharan-Hernandez, N. Garrido-Bustamante, A. Sanchez-Valerio, and M. C. Pamplona, "Voice parameters and videonasolaryngoscopy in children with vocal nodules: A longitudinal study, before and after voice therapy," *International Journal of Pediatric Otorhinolaryngology*, 2012.
- [18] J. I. Godino-Llorente, V. Osma-Ruiz, N. Sáenz-Lechón, P. Gómez-Vilda, M. Blanco-Velasco, and F. Cruz-Roldán, "The effectiveness of the glottal to noise excitation ratio for the screening of voice disorders," *Journal of Voice*, vol. 24, no. 1, pp. 47–56, 2010.
- [19] M. K. Arjmandi, M. Pooyan, M. Mikaili, M. Vali, and A. Moqarehzadeh, "Identification of voice disorders using long-time features and support vector machine with different feature reduction methods," *Journal of Voice*, vol. 25, no. 6, pp. e275–e289, 2011.
- [20] M. M. Hakkesteeft, M. P. Brocaar, M. H. Wieringa, and L. Feenstra, "The relationship between perceptual evaluation and objective multiparametric evaluation of dysphonia severity," *Journal of Voice*, vol. 22, no. 2, pp. 138–145, 2008.
- [21] K. Umopathy, S. Krishnan, V. Parsa, and D. G. Jamieson, "Discrimination of pathological voices using a time-frequency approach," *Biomedical Engineering, IEEE Transactions on*, vol. 52, no. 3, pp. 421–430, 2005.

- [22] B. Garcia, J. Vicente, I. Ruiz, and A. Alonso, "Multiplatform interface adapted to pathological voices," in *Signal Processing and Information Technology, 2005. Proceedings of the Fifth IEEE International Symposium on*, pp. 912–917, IEEE, 2005.
- [23] C. Jo, T. Li, and J. Wang, "Estimation of harmonic and noise components from pathological voice using iterative method," in *Engineering in Medicine and Biology Society, 2005. IEEE-EMBS 2005. 27th Annual International Conference of the*, pp. 4678–4681, IEEE, 2006.
- [24] T. Li and C. Jo, "Discrimination of severely noisy pathological voice with spectral slope and hnr," in *Signal Processing, 2004. Proceedings. ICSP'04. 2004 7th International Conference on*, vol. 3, pp. 2218–2221, IEEE, 2004.
- [25] C. Manfredi, "Adaptive noise energy estimation in pathological speech signals," *Biomedical Engineering, IEEE Transactions on*, vol. 47, no. 11, pp. 1538–1543, 2000.
- [26] C. Hernandez-Espinosa, P. Gomez-Vilda, J. I. Godino-Llorente, and S. Aguilera-Navarro, "Diagnosis of vocal and voice disorders by the speech signal," in *Neural Networks, 2000. IJCNN 2000, Proceedings of the IEEE-INNS-ENNS International Joint Conference on*, vol. 4, pp. 253–258, IEEE, 2000.
- [27] R. T. Vieira, N. Brunet, S. C. Costa, S. Correia, B. G. A. Neto, and J. M. Fachine, "Combining entropy measures and cepstral analysis for pathological voices assessment," *Journal of Medical and Biological Engineering*, vol. 32, no. 6, pp. 429–435, 2012.
- [28] M. Bahoura and C. Pelletier, "Respiratory sounds classification using cepstral analysis and gaussian mixture models," in *Engineering in Medicine and Biology Society, 2004. IEMBS'04. 26th Annual International Conference of the IEEE*, vol. 1, pp. 9–12, IEEE, 2004.
- [29] A. Kumar and S. K. Mullick, "Nonlinear dynamical analysis of speech," *The Journal of the Acoustical Society of America*, vol. 100, p. 615, 1996.
- [30] H. Herzel and C. Knudsen, "Bifurcations in a vocal fold model," *Nonlinear Dynamics*, vol. 7, no. 1, pp. 53–64, 1995.
- [31] I. Hertrich, W. Lutzenberger, S. Spieker, and H. Ackermann, "Fractal dimension of sustained vowel productions in neurological dysphonias: An acoustic and electroglottographic analysis," *The Journal of the Acoustical Society of America*, vol. 102, p. 652, 1997.
- [32] J. Jiang and Y. Zhang, "Nonlinear dynamic analysis of speech from pathological subjects," *Electronics Letters*, vol. 38, no. 6, pp. 294–295, 2002.
- [33] W. C. d. A. Costa, S. L. d. N. C. Costa, F. M. de Assis, and B. G. A. Neto, "Classificação de sinais de vozes saudáveis e patológicas por meio da combinação entre medidas da análise dinâmica não linear e codificação preditiva linear," *Rev. Bras. Eng. Biom*, vol. 29, no. 1, pp. 1–12, 2013.

- [34] V. J. D. Vieira, S. C. Costa, W. C. d. A. Costa, S. E. N. Correia, and F. M. Assis, "Discriminação de sinais de voz com análise de quantificação de recorrência e redes neurais mlp," in *Anais do XXXI Simpósio Brasileiro de Telecomunicações (SBrT 2013)*, 2013.
- [35] J. J. Jiang, Y. Zhang, and C. McGilligan, "Chaos in voice, from modeling to measurement," *Journal of Voice*, vol. 20, no. 1, pp. 2–17, 2006.
- [36] Y. Zhang and J. J. Jiang, "Acoustic analyses of sustained and running voices from patients with laryngeal pathologies," *Journal of Voice*, vol. 22, no. 1, pp. 1–9, 2008.
- [37] P. Henríquez, J. B. Alonso, M. A. Ferrer, C. M. Travieso, J. I. Godino-Llorente, and F. Díaz-de María, "Characterization of healthy and pathological voice through measures based on nonlinear dynamics," *Audio, Speech, and Language Processing, IEEE Transactions on*, vol. 17, no. 6, pp. 1186–1195, 2009.
- [38] Y. Zhang and J. J. Jiang, "Chaotic vibrations of a vocal fold model with a unilateral polyp," *The Journal of the Acoustical Society of America*, vol. 115, p. 1266, 2004.
- [39] Y. Zhang, C. McGilligan, L. Zhou, M. Vig, and J. J. Jiang, "Nonlinear dynamic analysis of voices before and after surgical excision of vocal polyps," *The Journal of the Acoustical Society of America*, vol. 115, p. 2270, 2004.
- [40] M. A. Little, P. E. McSharry, S. J. Roberts, D. A. Costello, I. M. Moroz, *et al.*, "Exploiting nonlinear recurrence and fractal scaling properties for voice disorder detection," *BioMedical Engineering OnLine*, vol. 6, no. 1, p. 23, 2007.
- [41] M. E. Torres, L. G. Gamero, H. L. Rufiner, C. Martínez, D. H. Milone, and G. Schlotthauer, "Study of complexity in normal and pathological speech signals," in *Engineering in Medicine and Biology Society, 2003. Proceedings of the 25th Annual International Conference of the IEEE*, vol. 3, pp. 2339–2342, IEEE, 2003.
- [42] I. Tokuda, T. Miyano, and K. Aihara, "Surrogate analysis for detecting nonlinear dynamics in normal vowels," *The Journal of the Acoustical Society of America*, vol. 110, p. 3207, 2001.
- [43] P. Mergell, H. Herzel, and I. R. Titze, "Irregular vocal-fold vibration — high-speed observation and modeling," *The Journal of the Acoustical Society of America*, vol. 108, p. 2996, 2000.
- [44] M. A. Little, P. E. McSharry, S. J. Roberts, D. A. Costello, I. M. Moroz, *et al.*, "Exploiting nonlinear recurrence and fractal scaling properties for voice disorder detection," *BioMedical Engineering OnLine*, vol. 6, no. 1, p. 23, 2007.
- [45] J. D. Arias-Londoño, J. I. Godino-Llorente, G. Castellanos-Dominguez, N. Sáenz-Lechón, and V. Osma-Ruiz, "Complexity analysis of pathological voices by means of hidden markov entropy measurements," in *Engineering in Medicine and Biology Society, 2009. EMBC 2009. Annual International Conference of the IEEE*, pp. 2248–2251, IEEE, 2009.

- [46] G. Vaziri, F. Almasganj, and R. Behroozmand, "Pathological assessment of patients' speech signals using nonlinear dynamical analysis," *Computers in Biology and Medicine*, vol. 40, no. 1, pp. 54–63, 2010.
- [47] X. Wang, J. Zhang, and Y. Yan, "Discrimination between pathological and normal voices using gmm-svm approach," *Journal of Voice*, vol. 25, no. 1, pp. 38–43, 2011.
- [48] L. Salhi and A. Cherif, "Selection of pertinent acoustic features for detection of pathological voices," in *Modeling, Simulation and Applied Optimization (ICMSAO), 2013 5th International Conference on*, 2013.
- [49] B. S. Aghazadeh, H. Khadivi, and M. Nikkhah-Bahrami, "Nonlinear analysis and classification of vocal disorders," in *Engineering in Medicine and Biology Society, 2007. EMBS 2007. 29th Annual International Conference of the IEEE*, pp. 6199–6202, IEEE, 2007.
- [50] N. Marwan, "Encounters with neighbours," *University of Potsdam. Tese de Doutorado. 159 p.*, 2003.
- [51] W. C. d. A. Costa, F. M. Assis, B. G. A. Neto, S. C. Costa, and V. J. D. Vieira, "Pathological voice assessment by recurrence quantification analysis," in *Biosignals and Biorobotics Conference (BRC), 2012 ISSNIP*, pp. 1–6, IEEE, 2012.
- [52] BIREME, "Decs - descritores em ciências da saúde." online: <http://decs.bvs.br/>, Acesso em 14 de janeiro de 2014.
- [53] A. T. B. de Oliveira Britto, *Livro de Fonoaudiologia*. São José dos Campos: Pulso, 2005.
- [54] A. Rockland and J. Borba, *Primeiros Passos na Fonoaudiologia*. São José dos Campos: Pulso, 2 ed., 2006.
- [55] I. Russo and M. Behlau, *Percepção da fala: análise acústica do português brasileiro*. São Paulo: Lovise, 1993.
- [56] F. Le Huche and A. Allali, *La voix: anatomie et physiologie des organes de la voix et de la parole*. Masson: Paris, 2001.
- [57] M. d. O. Rosa, "Modelagem da laringe: da biologia ao computador," *Revista de Letras*, vol. 30, pp. 70–81, 2011.
- [58] S. M. Zitta, "Análise perceptivo-auditiva e acústica em mulheres com nódulos vocais," *Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná. Dissertação de Mestrado, 131 p.*, 2010.
- [59] M. L. Sulica, "Specialized care for the voice." Online: <http://voicemedicine.com/>, Acesso em 18 de novembro de 2013.

- [60] B. Benjamin and J. E. F. de Figueiredo, *Cirurgia endolaríngea*. Revinter, 2000.
- [61] L. Monday, "Clinical evaluation of functional dysphonia," *The Journal of otolaryngology*, vol. 12, no. 5, p. 307, 1983.
- [62] I. A. Kuhl, *Manual prático de laringologia*, vol. 11. Porto Alegre: Editora da Universidade UFRGS, 1982.
- [63] S. Bennett, S. Bishop, and S. M. Lumpkin, "Phonatory characteristics associated with bilateral diffuse polypoid degeneration," *The Laryngoscope*, vol. 97, no. 4, pp. 446–450, 1987.
- [64] K. J. Lee, *Princípios de Otorrinolaringologia*, vol. 1. McGraw-Hill, 9 ed., 2010.
- [65] S. S. da Costa, O. L. M. Cruz, and J. A. A. de Oliveira, *Otorrinolaringologia*. Artmed, 2 ed., 2006.
- [66] R. Yamasaki, S. Leão, G. Madazio, M. Padovani, R. Azevedo, and M. Behlau, "Correspondência entre escala analógico-visual e a escala numérica na avaliação perceptivo-auditiva de vozes," in *XVI Congresso Brasileiro de Fonoaudiologia*, pp. 24–27, 2008.
- [67] G. B. Kempster, B. R. Gerratt, K. Verdolini Abbott, J. Barkmeier-Kraemer, and R. E. Hillman, "Consensus auditory-perceptual evaluation of voice: development of a standardized clinical protocol," *American Journal of Speech-Language Pathology*, vol. 18, no. 2, p. 124, 2009.
- [68] M. Hirano, *Clinical Examination of Voice*. Wein Austria: Springer-Verlag, 1981.
- [69] I. V. Bele, "Reliability in perceptual analysis of voice quality," *Journal of Voice*, vol. 19, no. 4, pp. 555–573, 2005.
- [70] A. C. C. Gama, C. F. T. Alves, J. d. S. B. Cerceau, and L. C. Teixeira, "Correlation between acoustic-perceptual data and voice-related quality of life in elderly women," *Pró-Fono Revista de Atualização Científica*, vol. 21, no. 2, pp. 125–130, 2009.
- [71] L. W. Lopes, I. L. Barbosa Lima, L. N. Alves Almeida, D. P. Cavalcante, and A. A. F. de Almeida, "Severity of voice disorders in children: Correlations between perceptual and acoustic data," *Journal of Voice*, vol. 26, no. 6, pp. 819–e7, 2012.
- [72] K. Elemetrics, "Kay elemetrics corp. disordered voice database." Model 4337, 03 Ed., 1994.
- [73] E. S. Fonseca and J. C. Pereira, "Normal versus pathological voice signals," *Engineering in Medicine and Biology Magazine, IEEE*, vol. 28, no. 5, pp. 44–48, 2009.

- [74] J. D. Arias-Londono, J. I. Godino-Llorente, N. Sáenz-Lechón, V. Osma-Ruiz, and G. Castellanos-Dominguez, "Automatic detection of pathological voices using complexity measures, noise parameters, and mel-cepstral coefficients," *Biomedical Engineering, IEEE Transactions on*, vol. 58, no. 2, pp. 370–379, 2011.
- [75] R. Tavares, N. Monteiro, S. Correia, S. C. Costa, B. G. A. Neto, and J. M. Fachine, "Optimizing laryngeal pathology detection by using combined cepstral features," in *Proceedings of 20th International Congress on Acoustics (ICA 2010)*, 2010.
- [76] J. S. Lima, T. T. Palitó, S. C. Costa, S. E. N. Correia, and W. C. d. A. Costa, "Análise comparativa entre métodos de obtenção do parâmetro de hurst na detecção de patologias laríngeas," in *XXIII Congresso Brasileiro de Engenharia Biomédica*, 2012.
- [77] M. K. Arjmandi and M. Pooyan, "An optimum algorithm in pathological voice quality assessment using wavelet-packet-based features, linear discriminant analysis and support vector machine," *Biomedical Signal Processing and Control*, vol. 7, no. 1, pp. 3–19, 2012.
- [78] S. E. N. Correria, W. C. d. A. Costa, and S. C. Costa, "Detecção automática de patologias laríngeas usando a transformada wavelet discreta," in *Congresso Brasileiro de Inteligência Computacional (CBIC 2013)*, 2013.
- [79] H. F. Wertzner, S. Schreiber, and L. Amaro, "Análise da frequência fundamental, jitter, shimmer e intensidade vocal em crianças com transtorno fonológico," *Rev Bras Otorrinolaringol*, vol. 71, no. 5, pp. 582–8, 2005.
- [80] H. Wertzner, C. Andrade, D. Befi-Lopes, F. Fernandes, and H. Wertzner, "Abfw-teste de linguagem infantil: nas áreas de fonologia, vocabulário, fluência e pragmática," *Barueri: Pró-Fono*, 2000.
- [81] J.-F. Bonastre, C. Fredouille, A. Ghio, A. Giovanni, G. Pouchoulin, J. Revis, B. Teston, and P. Yu, "Complementary approaches for voice disorder assessment.," in *INTERSPEECH*, pp. 1194–1197, 2007.
- [82] J. B. Alonso, I. Alonso, M. A. Ferrer, *et al.*, "Automatic detection of pathologies in the voice by hos based parameters," *EURASIP Journal on Advances in Signal Processing*, vol. 2001, no. 4, pp. 275–284, 1900.
- [83] M. E. Torres, G. Schlotthauer, H. Rufiner, and M. Jackson-Menaldi, "Empirical mode decomposition. spectral properties in normal and pathological voices," in *4th European Conference of the International Federation for Medical and Biological Engineering*, pp. 252–255, Springer, 2009.

- [84] R. C. Oliveira, L. C. Teixeira, A. Gama, and A. M. de Medeiros, “Análise perceptivo-auditiva, acústica e autopercepção vocal em crianças,” *J Soc Bras Fonoaudiol*, vol. 23, no. 2, pp. 158–63, 2011.
- [85] V. Uloza, A. Verikas, M. Bacauskiene, A. Gelzinis, R. Pribuisiene, M. Kasetas, and V. Saferis, “Categorizing normal and pathological voices: Automated and perceptual categorization,” *Journal of Voice*, vol. 25, no. 6, pp. 700–708, 2011.
- [86] N. P. Solomon, S. N. Awan, L. B. Helou, and A. Stojadinovic, “Acoustic analyses of thyroidectomy-related changes in vowel phonation,” *Journal of Voice*, vol. 26, no. 6, pp. 711–720, 2012.
- [87] M. Simões-Zenari, K. Nemr, and M. Behlau, “Voice disorders in children and its relationship with auditory, acoustic and vocal behavior parameters,” *International Journal of Pediatric Otorhinolaryngology*, vol. 76, no. 6, pp. 896–900, 2012.
- [88] N. Marwan, M. Carmen Romano, M. Thiel, and J. Kurths, “Recurrence plots for the analysis of complex systems,” *Physics Reports*, vol. 438, no. 5, pp. 237–329, 2007.
- [89] H. Poincaré, “Sur le problème des trois corps et les équations de la dynamique,” *Acta mathematica*, vol. 13, no. 1, pp. A3–A270, 1890.
- [90] E. G. Altmann, “Tempo de retorno em sistemas dinamicos,” *Universidade do Estado de São Paulo. Dissertação de Mestrado*, 158 p., 2004.
- [91] E. G. Souza, “Caracterização de sistemas dinâmicos através de gráficos de recorrência,” *Universidade Federal do Paraná. Dissertação de Mestrado*, 158 p., 2008.
- [92] M. A. Savi, *Dinâmica não-linear e caos*. Editora E-papers, 2006.
- [93] L. H. A. Monteiro, *Sistemas dinâmicos*. Editora Livraria da Física, 2006.
- [94] E. N. Lorenz, “Deterministic nonperiodic flow,” *Journal of the atmospheric sciences*, vol. 20, no. 2, pp. 130–141, 1963.
- [95] F. Takens, “Detecting strange attractors in turbulence,” in *Dynamical systems and turbulence, Warwick 1980*, pp. 366–381, Springer, 1981.
- [96] M. Webb, “Lorenz attractor in the complex plane using ratinterp.” Online: <http://www2.maths.ox.ac.uk/chebfun/examples/ode/html/LorenzAttractor.shtml>, Acesso em 30 de novembro de 2013.
- [97] E. Ott, T. Sauer, and J. A. Yorke, *Coping with chaos: analysis of chaotic data and the exploitation of chaotic systems*. John Wiley & Sons New York:, 1994.

- [98] A. M. Fraser and H. L. Swinney, "Independent coordinates for strange attractors from mutual information," *Physical review A*, vol. 33, no. 2, p. 1134, 1986.
- [99] H. Kantz and T. Schreiber, *Nonlinear time series analysis*, vol. 7. Cambridge university press, 2004.
- [100] J.-P. Eckmann, S. O. Kamphorst, and D. Ruelle, "Recurrence plots of dynamical systems," *Europhys. Lett*, vol. 4, no. 9, pp. 973–977, 1987.
- [101] N. Marwan and J. Kurths, "Line structures in recurrence plots," *Physics Letters A*, vol. 336, no. 4, pp. 349–357, 2005.
- [102] J. P. Zbilut and C. L. Webber Jr, "Embeddings and delays as derived from quantification of recurrence plots," *Physics letters A*, vol. 171, no. 3, pp. 199–203, 1992.
- [103] C. L. Webber-Jr. and J. P. Zbilut, "Recurrence quantification analysis of nonlinear dynamical systems," in *Tutorials in Contemporary Nonlinear Methods for the Behavioral Sciences* (M. A. Riley and G. C. V. Orden, eds.), 2005.
- [104] M. Thiel, M. C. Romano, J. Kurths, R. Meucci, E. Allaria, and F. T. Arecchi, "Influence of observational noise on the recurrence quantification analysis," *Physica D: Nonlinear Phenomena*, vol. 171, no. 3, pp. 138–152, 2002.
- [105] N. Marwan, N. Wessel, U. Meyerfeldt, A. Schirdewan, and J. Kurths, "Recurrence-plot-based measures of complexity and their application to heart-rate-variability data," *Physical Review E*, vol. 66, no. 2, p. 026702, 2002.
- [106] B. KRESE, M. PERC, and E. Govekar, "Experimental observation of a chaos-to-chaos transition in laser droplet generation," *International Journal of Bifurcation and Chaos*, vol. 21, no. 06, pp. 1689–1699, 2011.
- [107] A. Facchini and H. Kantz, "Curved structures in recurrence plots: The role of the sampling time," *Physical Review E*, vol. 75, no. 3, p. 036215, 2007.
- [108] C. L. Webber-Jr and J. P. Zbilut, "Dynamical assessment of physiological systems and states using recurrence plot strategies," *J. Appl. Physiol.*, vol. 76, pp. 965–973, 1994.
- [109] N. Marwan, J. F. Donges, Y. Zou, R. V. Donner, and J. Kurths, "Complex network approach for recurrence analysis of time series," *Physics Letters A*, vol. 373, no. 46, pp. 4246–4254, 2009.
- [110] J. P. Zbilut, J. M. Zaldivar-Comenges, and F. Strozzi, "Recurrence quantification based liapunov exponents for monitoring divergence in experimental data," *Physics Letters A*, vol. 297, no. 3, pp. 173–181, 2002.

- [111] C. L. Webber-Jr and J. P. Zbilut, "Recurrence quantifications: Feature extractions from recurrence plots," *International Journal of Bifurcation and Chaos*, vol. 17, no. 10, pp. 3467–3475, 2007.
- [112] J. Gao and H. Cai, "On the structures and quantification of recurrence plots," *Physics Letters A*, vol. 270, no. 1, pp. 75–87, 2000.
- [113] J. Gao, Y. Cao, L. Gu, J. Harris, and J. Principe, "Detection of weak transitions in signal dynamics using recurrence time statistics," *Physics Letters A*, vol. 317, no. 1, pp. 64–72, 2003.
- [114] W. C. d. A. Costa, V. J. D. Vieira, S. C. Costa, F. M. Assis, and B. G. Aguiar Neto, "Avaliação do uso combinado de medidas de quantificação de recorrência e análise lpc na classificação de vozes patológicas," in *XXIII Congresso Brasileiro em Engenharia Biomédica (XXIII CBEB)*, 2012.
- [115] E. Kononov, "Visual recurrence analysis 4.9," March 2006. Software disponível em <http://nonlinear.110mb.com/vra/>. Acesso em outubro de 2010.
- [116] C. L. Webber-Jr., "Recurrence quantification analysis, v. 13.1," 2009. Software package disponível em <http://homepages.luc.edu/~cwebber/>. Acesso em outubro de 2010.
- [117] N. Marwan, "Cross recurrence plot toolbox for matlab, version 5.17 (r28.16)," 2013. Disponível em <http://tocsy.pik-potsdam.de/CRPtoolbox/index.html>. Acesso em fevereiro de 2013.
- [118] F. J. Massey Jr, "The kolmogorov-smirnov test for goodness of fit," *Journal of the American statistical Association*, vol. 46, no. 253, pp. 68–78, 1951.
- [119] H. B. Mann, D. R. Whitney, *et al.*, "On a test of whether one of two random variables is stochastically larger than the other," *The annals of mathematical statistics*, vol. 18, no. 1, pp. 50–60, 1947.
- [120] M. Hall, E. Frank, G. Holmes, B. Pfahringer, P. Reutemann, and I. H. Witten, "The weka data mining software: An update; sigkdd explorations, volume 11, issue 1," 2009. Disponível em <http://www.cs.waikato.ac.nz/ml/weka/index.html>. Acesso em março de 2013.
- [121] R. Hegger, H. Kantz, and T. Schreiber, "Practical implementation of nonlinear time series methods: The tisean package," *Chaos: An Interdisciplinary Journal of Nonlinear Science*, vol. 9, no. 2, pp. 413–435, 1999.
- [122] S. S. Shapiro and M. B. Wilk, "An analysis of variance test for normality (complete samples)," *Biometrika*, vol. 52, pp. 591–611, 1965.

- [123] D. Owen, "The power of student's t-test," *Journal of the American Statistical Association*, vol. 60, no. 309, pp. 320–333, 1965.
- [124] C. A. A. Varella, "Estimativa da produtividade e do estresse nutricional da cultura do milho usando imagens digitais," *Universidade Federal de Viçosa. Tese de Doutorado*, 92 p., 2004.
- [125] S. Balakrishnama and A. Ganapathiraju, "Linear discriminant analysis-a brief tutorial," *Institute for Signal and information Processing*, 1998.
- [126] G. P. Zhang, "Neural networks for classification: a survey," *Systems, Man, and Cybernetics, Part C: Applications and Reviews, IEEE Transactions on*, vol. 30, no. 4, pp. 451–462, 2000.
- [127] S. S. Haykin, *Neural networks: a comprehensive foundation*. Prentice Hall, Inc., 1999.

APÊNDICES

Caracterização dos Sinais de Voz Avaliados no Estudo de Caso 1

Neste Apêndice, são apresentados, com mais detalhe, os resultados referentes ao processo de caracterização dos sinais a partir da análise de quantificação de recorrência, no Estudo de Caso 1. Esta caracterização foi realizada com as medidas extraídas com segmentação. Os procedimentos de análise estatística seguem a metodologia apresentada na Seção 4.2.3.

A.1 – Caracterização e Análise Estatística

A.1.1 – Raio de vizinhança (*RAIO*)

Na Figura A.1, é apresentada a distribuição dos valores de raio de vizinhança obtidos com a variação da taxa de recorrência de 1% a 5%, nos sinais de voz oriundos de laringes saudáveis (SDL), laringes com paralisia (PRL), laringes com edema (EDM), laringes com nódulos (NDL), e o conjunto com as três patologias consideradas (PTL).

Para uma taxa de recorrência menor que 1%, os valores de raio de vizinhança para laringes saudáveis e laringes afetadas por nódulos são mais concentrados do que nos demais grupos. Já os valores para o grupo de laringes afetadas por paralisia tem uma maior dispersão nos valores dessa medida. Esse comportamento pode ser notado, também, com os valores de desvio padrão (σ) apresentados na Tabela A.1. Com o aumento da taxa de recorrência até valores próximos a 5%, o grupo de laringes afetadas por nódulos apresenta os menores valores de média, enquanto o grupo saudável obtém os maiores valores médios se comparado com cada grupo de patologias individualmente. Isso indica que para os sinais de laringes saudáveis é preciso observar mais detalhes na dinâmica do sistema (aumentar o raio) para atingir patamares mais elevados de taxa de recorrência.

A maior dispersão nos valores de raio de vizinhança com o aumento da taxa de recorrência pode ser explicado pela variedade de sinais em cada grupo analisado. Esses grupos contêm sinais dos dois gêneros, nos quais há diferentes características não levadas em consideração nesta pesquisa. Além disso, nos grupos de patologias há diferentes graus de severidade. Esse comportamento indica que, o valor do raio de vizinhança que mantenha a

taxa de recorrência em um determinado patamar depende de cada sinal, e isso fica mais claro à medida em que se aumenta a taxa de recorrência.

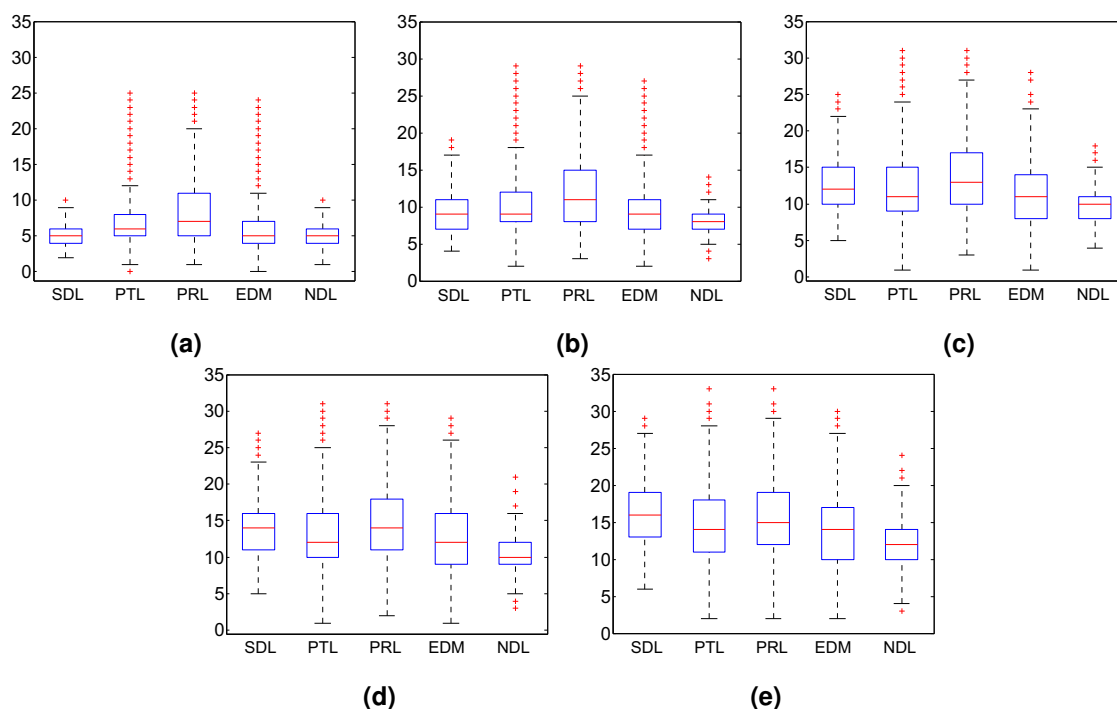


Figura A.1 – Distribuição dos valores de raio de vizinhança (*RAIO*), obtidos de forma segmentada em sinais de laringes saudáveis e patológicas, para os seguintes patamares de taxa de recorrência (*REC*): (a) $REC \leq 1\%$; (b) $REC \leq 2\%$; (c) $REC \leq 3\%$; (d) $REC \leq 4\%$; (e) $REC \leq 5\%$.

Tabela A.1 – Valores de média (μ) e desvio-padrão (σ) da medida raio de vizinhança (*RAIO*) para os grupos saudável (SDL), patológica (PTL), paralisia (PRL), edema (EDM) e nódulos (NDL), com a variação da taxa de recorrência (*REC*) de 1% a 5%.

Medida <i>RAIO</i>	Grupos de Sinais				
	SDL	PTL	PRL	EDM	NDL
$REC \leq 1\%$	$4,87 \pm 1,54$	$7,20 \pm 4,04$	$8,68 \pm 4,49$	$6,38 \pm 3,49$	$4,91 \pm 1,51$
$REC \leq 2\%$	$9,38 \pm 2,47$	$10,50 \pm 4,35$	$12,04 \pm 4,78$	$9,74 \pm 3,81$	$7,91 \pm 1,88$
$REC \leq 3\%$	$12,45 \pm 3,24$	$12,23 \pm 4,61$	$13,84 \pm 4,93$	$11,30 \pm 4,24$	$9,80 \pm 2,26$
$REC \leq 4\%$	$14,04 \pm 3,81$	$13,22 \pm 4,78$	$14,71 \pm 4,97$	$12,56 \pm 4,58$	$10,55 \pm 2,66$
$REC \leq 5\%$	$16,18 \pm 4,25$	$14,53 \pm 4,98$	$15,71 \pm 5,15$	$14,12 \pm 4,99$	$12,13 \pm 3,05$

Os resultados dos testes estatísticos são apresentados na Tabela A.2, em que são apresentados os valores de significância obtidos em cada caso de discriminação. Em quase todos os casos há diferenças significativamente estatísticas entre os grupos de sinais considerados. A exceção está em dois casos: na discriminação entre vozes de laringes saudáveis (SDL) e vozes de laringes afetadas por edema (EDM) com a taxa de recorrência entre 1% e 2%, e na discriminação entre vozes de laringes saudáveis e vozes de laringes afetadas por nódulos (NDL) com a taxa de recorrência entre 0% e 1%.

Tabela A.2 – Potencial discriminativo da medida *RAIO* na discriminação entre os grupos de sinais de voz.

Medida <i>RAIO</i>	Pares de Grupos de Sinais						
	SDL × PTL	SDL × PRL	SDL × EDM	SDL × NDL	PRL × EDM	PRL × NDL	EDM × NDL
$REC \leq 1\%$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p = 0,362^*$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$
$REC \leq 2\%$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p = 0,628^*$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$
$REC \leq 3\%$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$
$REC \leq 4\%$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$
$REC \leq 5\%$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$

* $p > 0,05$.

A.1.2 – Taxa de Recorrência (*REC*)

Esta pesquisa utilizou a taxa de recorrência como um parâmetro para extrair as demais medidas de quantificação de recorrência. Patamares dessa medida foram estabelecidos, e não um valor fixo. Isso quer dizer que cada sinal avaliado obteve um valor de taxa de recorrência que fosse menor ou igual aos seguintes patamares: 1%, 2%, 3%, 4% e 5%. Dessa forma, essa medida também foi avaliada como fator discriminante entre os sinais de voz neste estudo de caso.

Na Figura A.2, é apresentada a distribuição dos valores de raio de vizinhança obtidos com a variação da taxa de recorrência de 1% a 5%, nos sinais de voz oriundos de laringes saudáveis, laringes com paralisia, laringes com edema, laringes com nódulos, e o conjunto com as três patologias consideradas.

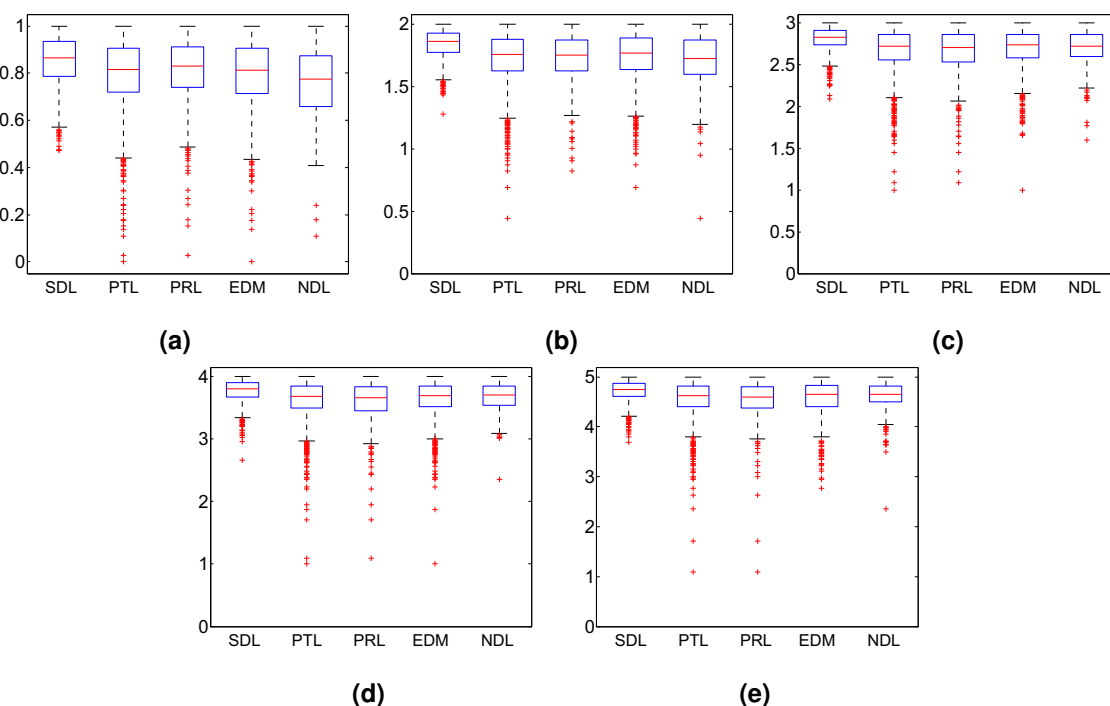


Figura A.2 – Distribuição dos valores de taxa de recorrência (*REC*), obtidos de forma segmentada em sinais de laringes saudáveis e patológicas, para os seguintes patamares dessa medida: (a) $REC \leq 1\%$; (b) $REC \leq 2\%$; (c) $REC \leq 3\%$; (d) $REC \leq 4\%$; (e) $REC \leq 5\%$.

Com o aumento da taxa de recorrência, os valores dessa medida nos grupos de sinais de voz avaliados tendem a ficar mais concentrados. Há, ainda, sinais que mantêm o valor de *REC* mesmo com o patamar aumentado. Isso significa que o aumento em uma unidade no valor

do raio de vizinhança levaria a obtenção de um valor de taxa de recorrência acima de 5%. Esse comportamento ocorreu principalmente com sinais dos grupos de patologias, o que pode indicar que esses sinais são mais sensíveis à variação do raio de vizinhança. Na Tabela A.3, estão apresentados os valores de média (μ) e desvio-padrão (σ) dos valores de taxa de recorrência nos grupos de sinais avaliados.

Tabela A.3 – Valores de média (μ) e desvio-padrão (σ) da taxa de recorrência (*REC*) para os grupos saudável (SDL), patológica (PTL), paralisia (PRL), edema (EDM) e nódulos (NDL), com a variação dessa mesma medida nos patamares de 1% a 5%.

Medida <i>REC</i>	Grupos de Sinais				
	SDL	PTL	PRL	EDM	NDL
<i>REC</i> ≤ 1%	0,85 ± 0,10	0,80 ± 0,13	0,82 ± 0,12	0,80 ± 0,14	0,77 ± 0,14
<i>REC</i> ≤ 2%	1,84 ± 0,11	1,74 ± 0,18	1,74 ± 0,17	1,74 ± 0,19	1,71 ± 0,19
<i>REC</i> ≤ 3%	2,81 ± 0,14	2,68 ± 0,23	2,68 ± 0,23	2,69 ± 0,24	2,70 ± 0,20
<i>REC</i> ≤ 4%	3,77 ± 0,17	3,64 ± 0,28	3,62 ± 0,27	3,63 ± 0,30	3,68 ± 0,22
<i>REC</i> ≤ 5%	4,72 ± 0,20	4,58 ± 0,32	4,57 ± 0,31	4,58 ± 0,34	4,62 ± 0,27

Na Tabela A.4, estão apresentados os valores de significância estatística obtidos em cada caso de discriminação. Em quase todos os casos há diferenças significativamente estatísticas entre os grupos de sinais considerados. Há exceções no seguintes casos: na discriminação entre vozes de laringes com paralisia (PRL) e vozes de laringes afetadas por edema (EDM) com a taxa de recorrência entre 1% e 2%, e na discriminação entre vozes de laringes afetadas por edema e vozes de laringes afetadas por nódulos (NDL) com a taxa de recorrência entre 2% e 5%.

Tabela A.4 – Potencial discriminativo da medida *REC* na discriminação entre os grupos de sinais de voz.

Medida <i>REC</i>	Pares de Grupos de Sinais						
	SDL × PTL	SDL × PRL	SDL × EDM	SDL × NDL	PRL × EDM	PRL × NDL	EDM × NDL
<i>REC</i> ≤ 1%	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p = 0,001$
<i>REC</i> ≤ 2%	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p = 0,090^*$	$p = 0,011$	$p < 0,001$
<i>REC</i> ≤ 3%	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p = 0,016$	$p = 0,021$	$p = 0,836^*$
<i>REC</i> ≤ 4%	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p = 0,005$	$p < 0,001$	$p = 0,306^*$
<i>REC</i> ≤ 5%	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p = 0,191^*$

* $p > 0,05$.

A.1.3 – Transitividade (*TRANS*)

Na Figura A.3, é apresentada a distribuição dos valores de determinismo obtidos com a variação da taxa de recorrência de 1% a 5%, nos sinais de voz oriundos de laringes saudáveis, laringes com paralisia, laringes com edema, laringes com nódulos, e o conjunto com as três patologias consideradas.

A concentração dos valores dessa medida para o grupo saudável (SDL) atinge maiores valores do que os grupos de patologias, como pode ser observado na Figura A.3. Como essa medida representa uma taxa de recorrência local, esse comportamento pode ser um indício de que a recorrência, observada de forma mais detalhada com *TRANS*, é mais presente nos sinais de laringes saudáveis. Na Tabela A.5, estão apresentados os valores de média (μ) e de desvio-padrão (σ) da transitividade, em diferentes patamares de taxa de recorrência para cada grupo

considerado neste estudo de caso. Os menores valores médios dessa medida são obtidos para o grupo paralisia (PRL), o que pode indicar que os pontos de recorrência ficam mais dispersos ao longo do gráfico de recorrência para este grupo de sinais.

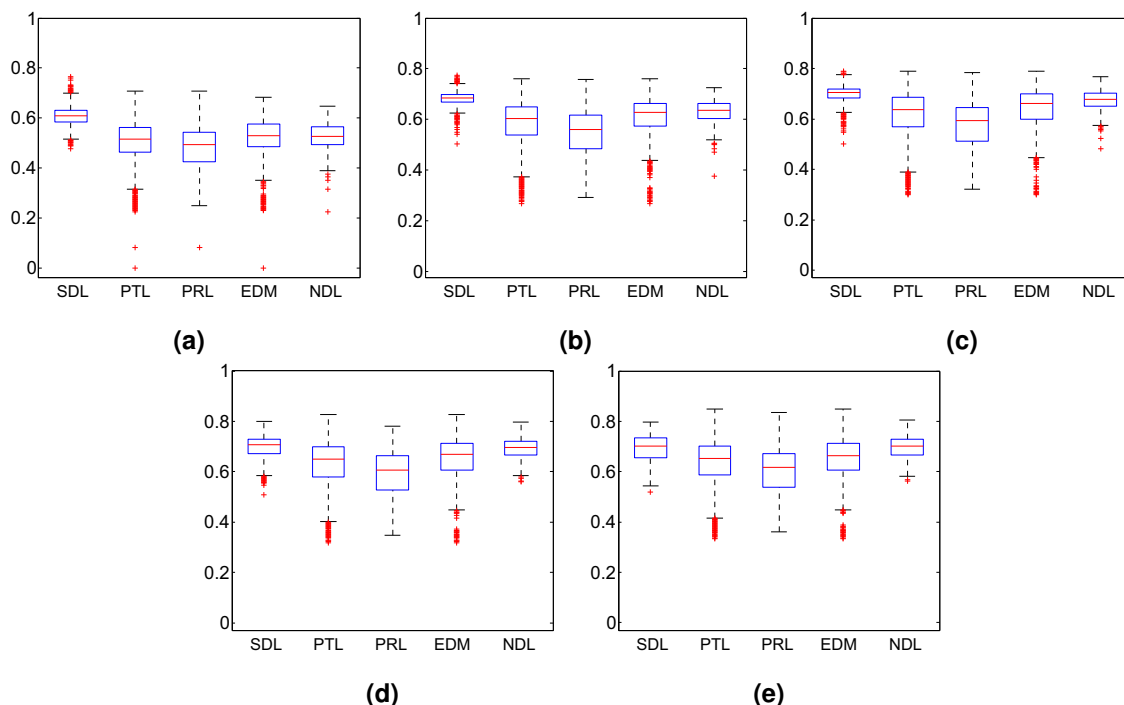


Figura A.3 – Distribuição dos valores de transitividade (*TRANS*), obtidos de forma segmentada em sinais de laringes saudáveis e patológicas, para os seguintes patamares de taxa de recorrência (*REC*): (a) $REC \leq 1\%$; (b) $REC \leq 2\%$; (c) $REC \leq 3\%$; (d) $REC \leq 4\%$; (e) $REC \leq 5\%$.

Tabela A.5 – Valores de média (μ) e desvio-padrão (σ) da medida transitividade (*TRANS*) para os grupos saudável (SDL), patológica (PTL), paralisia (PRL), edema (EDM) e nódulos (NDL), com a variação da taxa de recorrência (*REC*) de 1% a 5%.

Medida <i>TRANS</i>	Grupos de Sinais				
	SDL	PTL	PRL	EDM	NDL
$REC \leq 1\%$	$0,61 \pm 0,04$	$0,50 \pm 0,08$	$0,48 \pm 0,09$	$0,52 \pm 0,08$	$0,53 \pm 0,05$
$REC \leq 2\%$	$0,68 \pm 0,03$	$0,58 \pm 0,09$	$0,54 \pm 0,10$	$0,61 \pm 0,08$	$0,63 \pm 0,04$
$REC \leq 3\%$	$0,70 \pm 0,03$	$0,61 \pm 0,10$	$0,57 \pm 0,10$	$0,64 \pm 0,09$	$0,68 \pm 0,04$
$REC \leq 4\%$	$0,70 \pm 0,04$	$0,63 \pm 0,10$	$0,59 \pm 0,10$	$0,65 \pm 0,09$	$0,69 \pm 0,04$
$REC \leq 5\%$	$0,69 \pm 0,05$	$0,63 \pm 0,10$	$0,60 \pm 0,10$	$0,65 \pm 0,09$	$0,70 \pm 0,05$

Os resultados dos testes estatísticos são apresentados na Tabela A.6, em que são apresentados os valores de significância obtidos em cada caso de discriminação. Em quase todos os casos observados nos testes estatísticos, há diferenças significativamente estatísticas entre os grupos de sinais considerados, com a medida determinismo. A exceção está em dois casos: discriminação entre os grupos saudável (SDL) e nódulos (NDL), com taxa de recorrência entre 4% e 5%; e na discriminação entre os grupos edema (EDM) e nódulos, com taxa de recorrência entre 0% e 1%.

Tabela A.6 – Potencial discriminativo da medida *TRANS* na discriminação entre os grupos de sinais de voz.

Medida <i>TRANS</i>	Pares de Grupos de Sinais						
	SDL × PTL	SDL × PRL	SDL × EDM	SDL × NDL	PRL × EDM	PRL × NDL	EDM × NDL
$REC \leq 1\%$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p = 0,150^*$
$REC \leq 2\%$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$
$REC \leq 3\%$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$
$REC \leq 4\%$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p = 0,004$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$
$REC \leq 5\%$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p = 0,383^*$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$

* $p > 0,05$.

A.1.4 – Determinismo (*DET*)

Na Figura A.4, é apresentada a distribuição dos valores de determinismo obtidos com a variação da taxa de recorrência de 1% a 5%, nos sinais de voz oriundos de laringes saudáveis, laringes com paralisia, laringes com edema, laringes com nódulos, e o conjunto com as três patologias consideradas.

Com o aumento da taxa de recorrência, os valores dessa medida tende a aumentar para todos os grupos de sinais. Entretanto, para o grupo saudável o determinismo tem valores mais concentrados entre 80% e 100%. Nos grupos de patologias, os valores são mais dispersos, principalmente para o grupo paralisia. Uma razão que pode explicar a maior dispersão da medida determinismo nos grupos de patologias é o fato de estarem compreendidos diferentes tipos e graus de severidade de uma mesma patologia no mesmo grupo, além de quê neste trabalho não há separação por gênero.

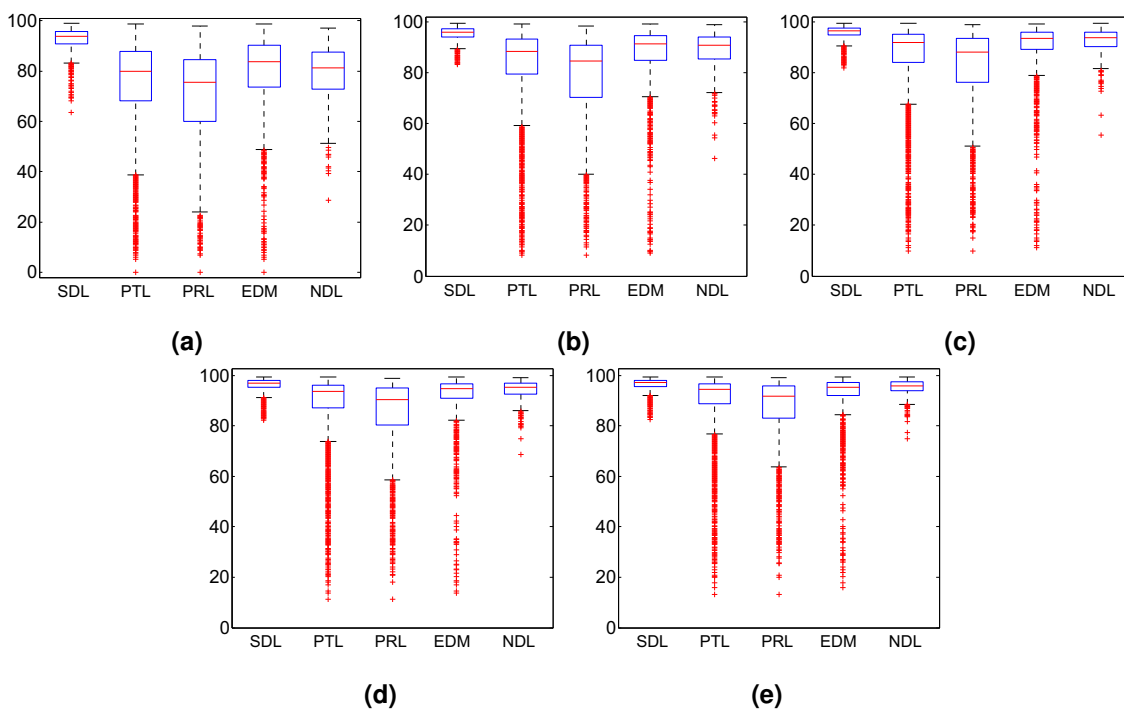


Figura A.4 – Distribuição dos valores de determinismo (*DET*), obtidos de forma segmentada em sinais de laringes saudáveis e patológicas, para os seguintes patamares de taxa de recorrência (*REC*): (a) $REC \leq 1\%$; (b) $REC \leq 2\%$; (c) $REC \leq 3\%$; (d) $REC \leq 4\%$; (e) $REC \leq 5\%$.

Na Tabela A.7, estão apresentados os valores médios (μ) e de desvio-padrão (σ) da medida determinismo para os grupos de sinais considerados. O determinismo é uma medida do grau de previsibilidade do sistema. Os valores mais elevados dessa medida para o grupo saudável pode ser um reflexo da regularidade desses sinais, em contraste, principalmente, com os sinais de laringes afetadas por paralisia. O determinismo médio no grupo de sinais de vozes de laringes saudáveis, apresenta, para todos os patamares de taxa de recorrência considerados, valores acima de 90%.

Tabela A.7 – Valores de média (μ) e desvio-padrão (σ) da medida determinismo (*DET*) para os grupos saudável (SDL), patológica (PTL), paralisia (PRL), edema (EDM) e nódulos (NDL), com a variação da taxa de recorrência (*REC*) de 1% a 5%.

Medida <i>DET</i>	Grupos de Sinais				
	SDL	PTL	PRL	EDM	NDL
<i>REC</i> ≤ 1%	92,53 ± 4,57	74,71 ± 18,31	69,95 ± 19,87	78,68 ± 17,19	78,74 ± 11,85
<i>REC</i> ≤ 2%	95,27 ± 2,77	82,81 ± 16,36	77,92 ± 18,21	86,13 ± 15,00	88,80 ± 7,48
<i>REC</i> ≤ 3%	95,91 ± 2,73	86,32 ± 15,10	81,84 ± 16,99	89,02 ± 13,86	92,64 ± 5,09
<i>REC</i> ≤ 4%	96,21 ± 2,72	88,26 ± 14,09	84,31 ± 15,95	90,46 ± 13,03	94,30 ± 3,82
<i>REC</i> ≤ 5%	96,43 ± 2,60	89,50 ± 13,21	85,96 ± 15,02	91,36 ± 12,26	95,18 ± 3,19

Os resultados dos testes estatísticos são apresentados na Tabela A.8, em que são apresentados os valores de significância obtidos em cada caso de discriminação. Em quase todos os casos observados nos testes estatísticos, há diferenças significativamente estatísticas entre os grupos de sinais considerados, com a medida determinismo. A exceção está no caso de discriminação entre os grupos edema (EDM) e nódulos (NDL) com a taxa de recorrência entre 1% e 2%.

Tabela A.8 – Potencial discriminativo da medida *DET* na discriminação entre os grupos de sinais de voz.

Medida <i>DET</i>	Pares de Grupos de Sinais						
	SDL × PTL	SDL × PRL	SDL × EDM	SDL × NDL	PRL × EDM	PRL × NDL	EDM × NDL
<i>REC</i> ≤ 1%	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$
<i>REC</i> ≤ 2%	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p = 0,685^*$
<i>REC</i> ≤ 3%	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p = 0,047^*$
<i>REC</i> ≤ 4%	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p = 0,001$
<i>REC</i> ≤ 5%	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$

* $p > 0,05$.

A.1.5 – Relação entre Determinismo e Taxa de Recorrência (*RATIO*)

Na Figura A.5, é apresentada a distribuição dos valores da relação entre determinismo e taxa de recorrência, obtidos com a variação da taxa de recorrência de 1% a 5%, nos sinais de voz oriundos de laringes saudáveis, laringes com paralisia, laringes com edema, laringes com nódulos, e o conjunto com as três patologias consideradas.

Diferentemente do que ocorre com a medida determinismo, os valores de *RATIO* diminuem com o aumento da taxa de recorrência. Para o grupo saudável, essa medida tem maior concentração, para todos os patamares de taxa de recorrência. O grupo nódulos tem mais concentração nos valores de *RATIO* em valores de taxa de recorrência entre 3% e 5%. Os

demais grupos de patologias tem valores mais dispersos. A média (μ) e o desvio-padrão (σ) de *RATIO* para cada grupo em cada patamar de taxa de recorrência são apresentados na Tabela A.9.

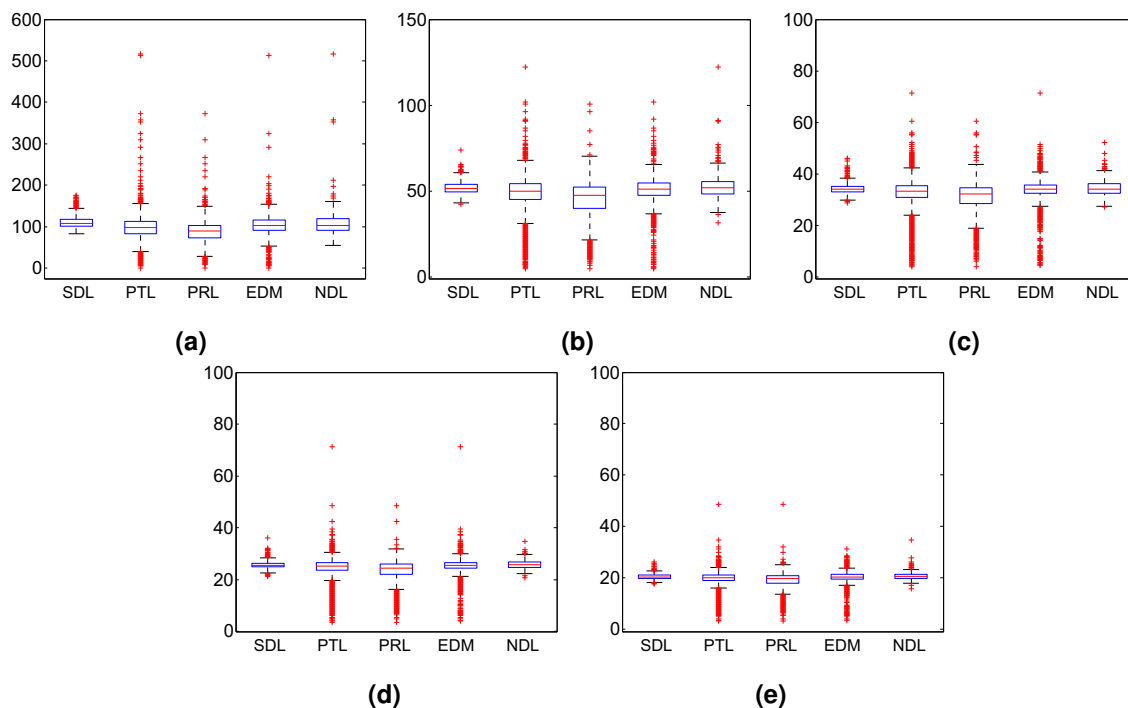


Figura A.5 – Distribuição dos valores da relação entre determinismo e taxa de recorrência (*RATIO*), obtidos de forma segmentada em sinais de laringes saudáveis e patológicas, para os seguintes patamares de taxa de recorrência (*REC*): (a) *REC* ≤ 1%; (b) *REC* ≤ 2%; (c) *REC* ≤ 3%; (d) *REC* ≤ 4%; (e) *REC* ≤ 5%.

Tabela A.9 – Valores de média (μ) e desvio-padrão (σ) da relação entre determinismo e taxa de recorrência (*RATIO*) para os grupos saudável (SDL), patológica (PTL), paralisia (PRL), edema (EDM) e nódulos (NDL), com a variação da taxa de recorrência (*REC*) de 1% a 5%.

Medida <i>RATIO</i>	Grupos de Sinais				
	SDL	PTL	PRL	EDM	NDL
<i>REC</i> ≤ 1%	110,34 ± 13,80	96,06 ± 31,37	87,82 ± 30,74	101,43 ± 29,15	106,76 ± 32,35
<i>REC</i> ≤ 2%	51,89 ± 3,37	48,18 ± 10,60	45,17 ± 11,37	49,95 ± 9,78	52,51 ± 7,23
<i>REC</i> ≤ 3%	34,25 ± 1,85	32,32 ± 6,05	30,74 ± 6,69	33,34 ± 5,74	34,41 ± 2,81
<i>REC</i> ≤ 4%	25,58 ± 1,29	24,36 ± 4,13	23,32 ± 4,51	25,03 ± 4,08	25,72 ± 1,60
<i>REC</i> ≤ 5%	20,48 ± 0,97	19,60 ± 3,05	18,88 ± 3,43	20,03 ± 2,86	20,65 ± 1,37

Na Tabela A.10, são apresentados os valores de significância obtidos em cada caso de discriminação. Na maioria dos casos observados nos testes estatísticos, há diferenças significativamente estatísticas entre os grupos de sinais considerados. Os casos que não obtiveram significância estatística foram: discriminação entre os grupos saudável (SDL) e edema (EDM), com taxa de recorrência entre 3% e 4%; discriminação entre os grupos saudável e nódulos (NDL), com taxa de recorrência entre 1% e 4%; e discriminação entre os grupos edema e nódulos, com taxa de recorrência entre 0% e 1%.

Tabela A.10 – Potencial discriminativo da medida *RATIO* na discriminação entre os grupos de sinais de voz.

Medida <i>RATIO</i>	Pares de Grupos de Sinais						
	SDL × PTL	SDL × PRL	SDL × EDM	SDL × NDL	PRL × EDM	PRL × NDL	EDM × NDL
<i>REC</i> ≤ 1%	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p = 0,091^*$
<i>REC</i> ≤ 2%	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p = 0,424^*$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$
<i>REC</i> ≤ 3%	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p = 0,045$	$p = 0,453^*$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p = 0,030$
<i>REC</i> ≤ 4%	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p = 0,201^*$	$p = 0,067^*$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$
<i>REC</i> ≤ 5%	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p = 0,020$	$p = 0,110^*$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p = 0,003$

* $p > 0,05$.

A.1.6 – Comprimento Médio das Linhas Diagonais (L_{med})

Na Figura A.6, é apresentada a distribuição dos valores do comprimento médio das linhas diagonais, obtidos com a variação da taxa de recorrência de 1% a 5%, nos sinais de voz oriundos de laringes saudáveis, laringes com paralisia, laringes com edema, laringes com nódulos, e o conjunto com as três patologias consideradas.

Em todos os patamares de taxa de recorrência considerados, o grupo saudável apresenta os maiores valores para essa medida. Isso significa que a formação de estruturas diagonais é mais comum em sinais bem comportados (ou próximo disso), como é o caso dos sinais de voz oriundos de laringes saudáveis. Na Tabela A.11, são apresentados os valores de média (μ) e de desvio-padrão (σ) do comprimento médio das linhas diagonais obtidos de cada um dos grupos considerados neste estudo de caso. O grupo paralisia (PRL) é o que apresenta os menores valores médios para essa medida em todos os patamares de taxa de recorrência.

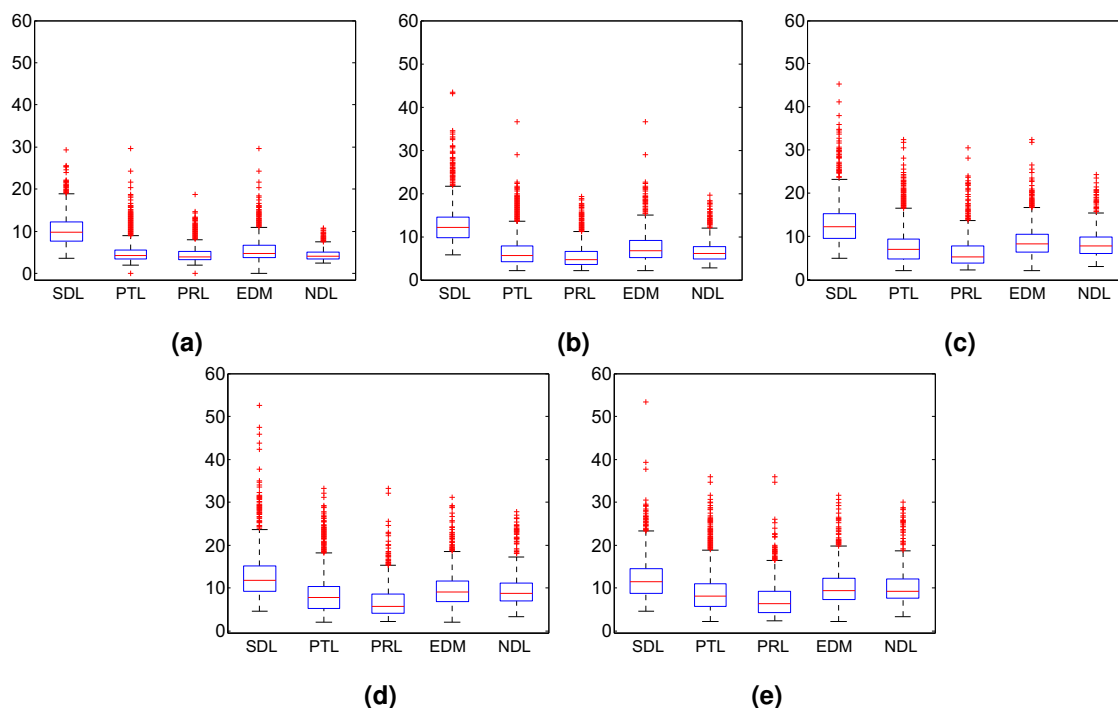


Figura A.6 – Distribuição dos valores do comprimento médio das linhas diagonais (L_{med}), obtidos de forma segmentada em sinais de laringes saudáveis e patológicas, para os seguintes patamares de taxa de recorrência (*REC*): (a) *REC* ≤ 1%; (b) *REC* ≤ 2%; (c) *REC* ≤ 3%; (d) *REC* ≤ 4%; (e) *REC* ≤ 5%.

Tabela A.11 – Valores de média (μ) e desvio-padrão (σ) do comprimento médio das linhas diagonais (L_{med}) para os grupos saudável (SDL), patológica (PTL), paralisia (PRL), edema (EDM) e nódulos (NDL), com a variação da taxa de recorrência (REC) de 1% a 5%.

Medida L_{med}	Grupos de Sinais				
	SDL	PTL	PRL	EDM	NDL
$REC \leq 1\%$	10,29 \pm 3,57	4,96 \pm 2,40	4,50 \pm 1,94	5,67 \pm 2,93	4,56 \pm 1,63
$REC \leq 2\%$	12,86 \pm 4,53	6,48 \pm 3,27	5,48 \pm 2,77	7,54 \pm 3,53	6,79 \pm 3,02
$REC \leq 3\%$	13,03 \pm 4,79	7,64 \pm 3,94	6,27 \pm 3,47	8,85 \pm 3,99	8,61 \pm 3,80
$REC \leq 4\%$	12,85 \pm 5,24	8,38 \pm 4,29	6,82 \pm 3,70	9,63 \pm 4,26	9,84 \pm 4,40
$REC \leq 5\%$	12,31 \pm 4,77	8,86 \pm 4,48	7,25 \pm 3,90	10,05 \pm 4,36	10,57 \pm 4,76

Os resultados dos testes estatísticos são apresentados na Tabela A.12, em que são apresentados os valores de significância obtidos em cada caso de discriminação. Como pode observado, em quase todos os casos há diferenças significativamente estatísticas entre os grupos de sinais considerados. A exceção está na discriminação entre vozes de laringes afetadas por edema (EDM) e vozes de laringes afetadas por nódulos (NDL), com taxa de recorrência entre 3% e 5%.

Tabela A.12 – Potencial discriminativo da medida L_{med} na discriminação entre os grupos de sinais de voz.

Medida L_{med}	Pares de Grupos de Sinais						
	SDL \times PTL	SDL \times PRL	SDL \times EDM	SDL \times NDL	PRL \times EDM	PRL \times NDL	EDM \times NDL
$REC \leq 1\%$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p = 0,023$	$p < 0,001$
$REC \leq 2\%$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$
$REC \leq 3\%$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p = 0,025$
$REC \leq 4\%$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p = 0,756^*$
$REC \leq 5\%$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p = 0,385^*$

* $p > 0,05$.

A.1.7 – Comprimento Máximo das Linhas Diagonais (L_{max})

Na Figura A.6, é apresentada a distribuição dos valores do comprimento máximo das linhas diagonais, obtidos com a variação da taxa de recorrência de 1% a 5%, nos sinais de voz oriundos de laringes saudáveis, laringes com paralisia, laringes com edema, laringes com nódulos, e o conjunto com as três patologias consideradas.

Como ocorreu para a medida do comprimento médio, o comprimento máximo das linhas diagonais tem maiores valores para o grupo saudável. Na Tabela A.13, estão apresentados os valores de média (μ) e de desvio-padrão (σ) para cada grupo considerado, com a variação da taxa de recorrência. A distribuição dos valores dessa medida nos grupos de patologias é mais dispersa em L_{max} do que em L_{med} , quando são observadas taxa de recorrência mais elevadas (entre 2% e 5%).

Na Tabela A.14, são apresentados os resultados dos testes estatísticos realizados com a medida L_{max} em cada caso de discriminação. Há diferenças significativamente estatísticas entre os grupos de sinais considerados, em quase todos os casos. A exceção está em dois casos: na discriminação entre sinais de vozes de laringes afetadas por paralisia (PRL) e sinais de vozes de laringes afetadas por nódulos (NDL) com a taxa de recorrência entre 2% e 3%, e na

discriminação entre laringes afetadas por edema (EDM) e laringes afetadas por nódulos com a taxa de recorrência entre 4% e 5%.

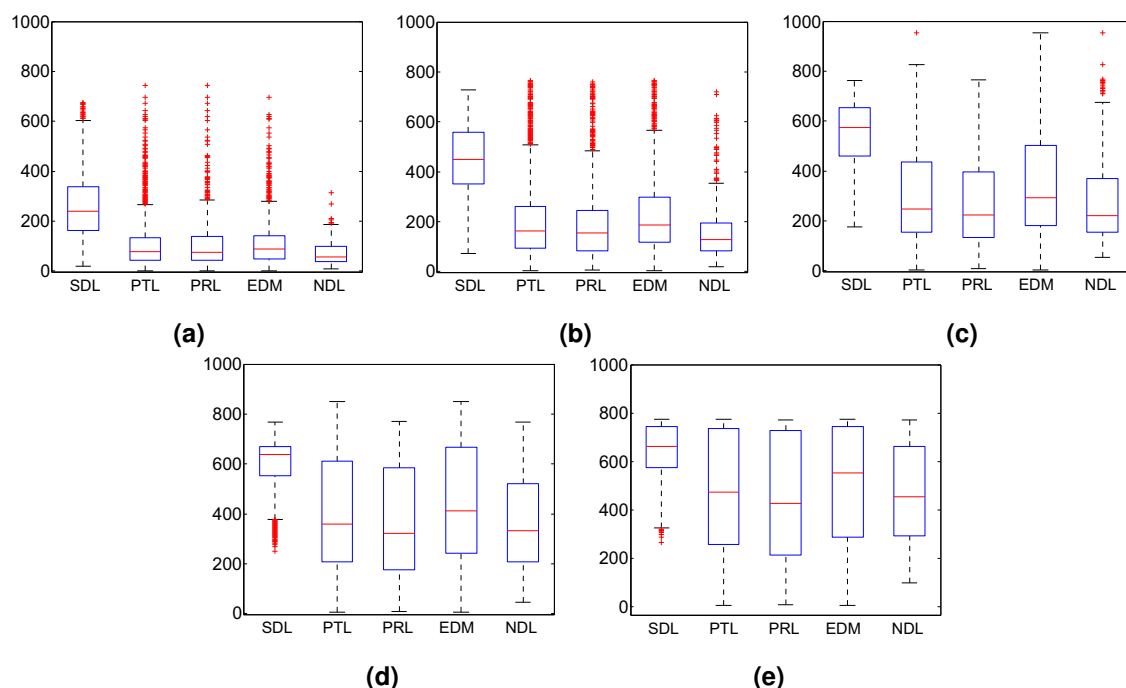


Figura A.7 – Distribuição dos valores do comprimento máximo das linhas diagonais (L_{max}), obtidos de forma segmentada em sinais de laringes saudáveis e patológicas, para os seguintes patamares de taxa de recorrência (REC): (a) $REC \leq 1\%$; (b) $REC \leq 2\%$; (c) $REC \leq 3\%$; (d) $REC \leq 4\%$; (e) $REC \leq 5\%$.

Tabela A.13 – Valores de média (μ) e desvio-padrão (σ) do comprimento máximo das linhas diagonais (L_{max}) para os grupos saudável (SDL), patológica (PTL), paralisia (PRL), edema (EDM) e nódulos (NDL), com a variação da taxa de recorrência (REC) de 1% a 5%.

Medida L_{max}	Grupos de Sinais				
	SDL	PTL	PRL	EDM	NDL
$REC \leq 1\%$	259,21 ± 128,00	101,22 ± 88,14	102,80 ± 91,56	112,44 ± 93,91	69,22 ± 45,87
$REC \leq 2\%$	451,27 ± 137,92	206,22 ± 163,56	196,19 ± 163,34	235,17 ± 170,76	164,45 ± 130,67
$REC \leq 3\%$	549,35 ± 124,60	314,21 ± 217,64	288,78 ± 208,89	352,35 ± 223,16	294,42 ± 215,19
$REC \leq 4\%$	601,08 ± 115,66	417,25 ± 259,75	375,16 ± 235,48	459,65 ± 264,03	435,16 ± 295,22
$REC \leq 5\%$	641,25 ± 109,47	492,42 ± 269,99	445,13 ± 245,80	531,27 ± 272,46	534,06 ± 306,71

Tabela A.14 – Potencial discriminativo da medida L_{max} na discriminação entre os grupos de sinais de voz.

Medida L_{max}	Pares de Grupos de Sinais						
	SDL × PTL	SDL × PRL	SDL × EDM	SDL × NDL	PRL × EDM	PRL × NDL	EDM × NDL
$REC \leq 1\%$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$
$REC \leq 2\%$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p = 0,001$	$p < 0,001$
$REC \leq 3\%$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p = 0,273^*$	$p < 0,001$
$REC \leq 4\%$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p = 0,001$
$REC \leq 5\%$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p = 0,062^*$

* $p > 0,05$.

A.1.8 – Divergência (*DIV*)

Na Figura A.6, é apresentada a distribuição dos valores da divergência, obtidos com a variação da taxa de recorrência de 1% a 5%, nos sinais de voz oriundos de laringes saudáveis, laringes com paralisia, laringes com edema, laringes com nódulos, e o conjunto com as três patologias consideradas.

Na Tabela A.15, são apresentados os valores de média (μ) e de desvio-padrão (σ) para essa medida nos grupos de sinais considerados. Os mais baixos valores são para o grupo saudável. Esse resultado indica que sinais oriundos de laringes saudáveis tem trajetórias menos divergentes que os sinais oriundos de laringes afetadas por patologias. Com isso, na recorrência da trajetória no espaço de fase os estados tendem a evoluir de forma paralela e, assim, apresentarem mais estruturas diagonais no gráfico de recorrência, como foi observado com as medidas L_{med} e L_{max} . O maior valor de divergência para os grupos de patologias pode ser reflexo de um comportamento caótico nesses sinais.

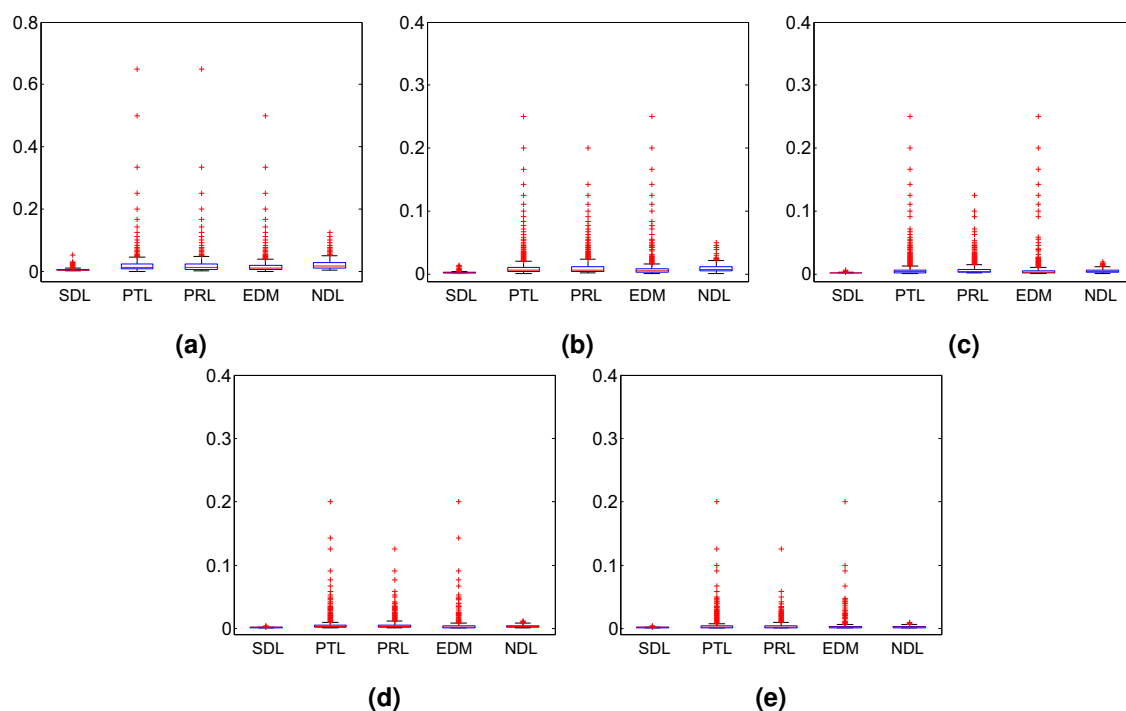


Figura A.8 – Distribuição dos valores da divergência (*DIV*), obtidos de forma segmentada em sinais de laringes saudáveis e patológicas, para os seguintes patamares de taxa de recorrência (*REC*): (a) $REC \leq 1\%$; (b) $REC \leq 2\%$; (c) $REC \leq 3\%$; (d) $REC \leq 4\%$; (e) $REC \leq 5\%$.

Os resultados dos testes estatísticos são apresentados na Tabela A.16, em que são apresentados os valores de significância obtidos em cada caso de discriminação. Na maioria dos casos observados nos testes estatísticos, há diferenças significativamente estatísticas entre os grupos de sinais considerados. A exceção está em dois casos (os mesmos casos observados com a medida L_{max}): na discriminação entre os grupos paralisia (PRL) e nódulos (NDL) com a taxa de recorrência entre 2% e 3%, e na discriminação entre os grupos edema (EDM) e nódulos com a taxa de recorrência entre 4% e 5%.

Tabela A.15 – Valores de média (μ) e desvio-padrão (σ) da divergência (*DIV*) para os grupos saudável (SDL), patológica (PTL), paralisia (PRL), edema (EDM) e nódulos (NDL), com a variação da taxa de recorrência (*REC*) de 1% a 5%.

Medida <i>DIV</i>	Grupos de Sinais				
	SDL	PTL	PRL	EDM	NDL
<i>REC</i> ≤ 1%	0,005 ± 0,004	0,019 ± 0,112	0,042 ± 0,167	0,022 ± 0,040	0,024 ± 0,021
<i>REC</i> ≤ 2%	0,003 ± 0,001	0,010 ± 0,019	0,011 ± 0,016	0,010 ± 0,024	0,009 ± 0,006
<i>REC</i> ≤ 3%	0,002 ± 0,001	0,007 ± 0,013	0,007 ± 0,010	0,006 ± 0,019	0,005 ± 0,003
<i>REC</i> ≤ 4%	0,002 ± 0,001	0,005 ± 0,010	0,005 ± 0,007	0,005 ± 0,013	0,003 ± 0,002
<i>REC</i> ≤ 5%	0,002 ± 0,001	0,004 ± 0,007	0,004 ± 0,006	0,003 ± 0,009	0,003 ± 0,001

Tabela A.16 – Potencial discriminativo da medida *DIV* na discriminação entre os grupos de sinais de voz.

Medida <i>DIV</i>	Pares de Grupos de Sinais						
	SDL × PTL	SDL × PRL	SDL × EDM	SDL × NDL	PRL × EDM	PRL × NDL	EDM × NDL
<i>REC</i> ≤ 1%	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$
<i>REC</i> ≤ 2%	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$
<i>REC</i> ≤ 3%	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p = 0,273^*$	$p < 0,001$
<i>REC</i> ≤ 4%	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p = 0,001$
<i>REC</i> ≤ 5%	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p = 0,062^*$

* $p > 0,05$.

A.1.9 – Entropia de Shannon (*ENTR*)

Na Figura A.9, é apresentada a distribuição dos valores da entropia de Shannon da frequência de distribuição das linhas diagonais, obtidos com a variação da taxa de recorrência de 1% a 5%, nos sinais de voz oriundos de laringes saudáveis, laringes com paralisia, laringes com edema, laringes com nódulos, e o conjunto com as três patologias consideradas.

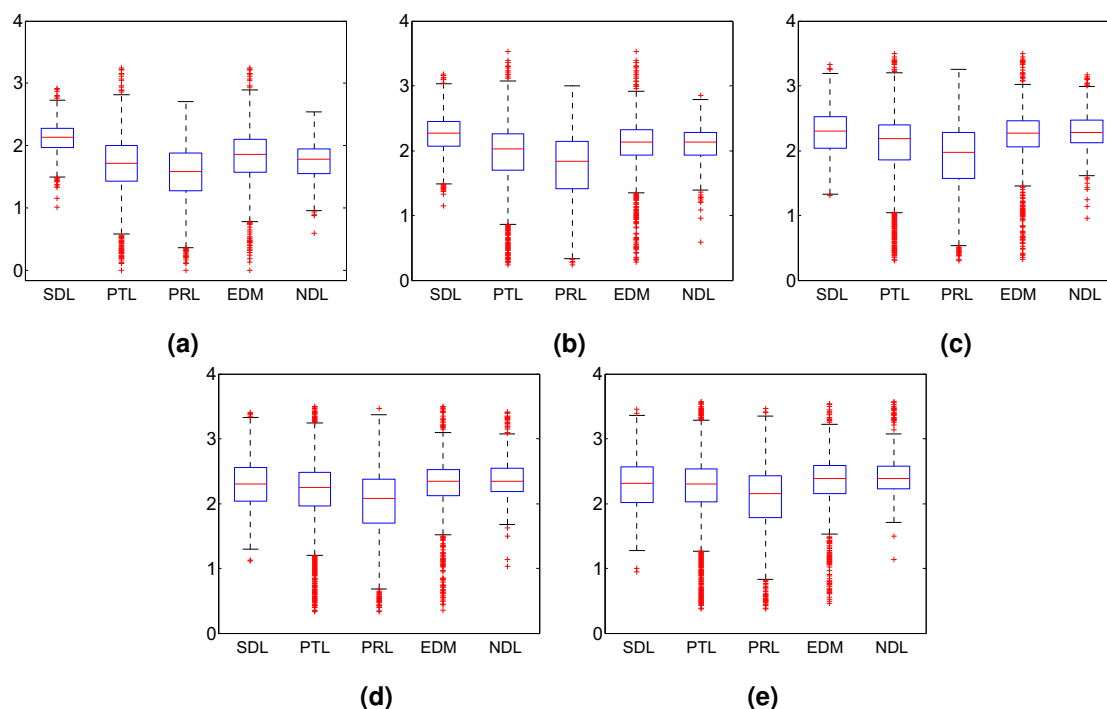


Figura A.9 – Distribuição dos valores da entropia de Shannon (*ENTR*), obtidos de forma segmentada em sinais de laringes saudáveis e patológicas, para os seguintes patamares de taxa de recorrência (*REC*): (a) *REC* ≤ 1%; (b) *REC* ≤ 2%; (c) *REC* ≤ 3%; (d) *REC* ≤ 4%; (e) *REC* ≤ 5%.

Com a taxa de recorrência até 2%, a concentração da entropia de Shannon para o grupo saudável atinge maiores valores que os grupos das patologias. Para valores maiores de taxa de recorrência, pode ser observado na Figura A.9 que os grupos de patologias tendem a se equiparar ao grupo de sinais de voz oriundos de laringes saudáveis. Na Tabela A.17, são apresentados os valores de média (μ) e de desvio-padrão (σ) para essa medida nos grupos de sinais considerados para essa medida.

Tabela A.17 – Valores de média (μ) e desvio-padrão (σ) da entropia de Shannon (*ENTR*) para os grupos saudável (SDL), patológica (PTL), paralisia (PRL), edema (EDM) e nódulos (NDL), com a variação da taxa de recorrência (*REC*) de 1% a 5%.

Medida <i>ENTR</i>	Grupos de Sinais				
	SDL	PTL	PRL	EDM	NDL
<i>REC</i> ≤ 1%	2,12 ± 0,25	1,68 ± 0,46	1,55 ± 0,46	1,81 ± 0,46	1,74 ± 0,32
<i>REC</i> ≤ 2%	2,25 ± 0,30	1,94 ± 0,48	1,77 ± 0,50	2,07 ± 0,45	2,10 ± 0,30
<i>REC</i> ≤ 3%	2,28 ± 0,34	2,08 ± 0,50	1,91 ± 0,53	2,21 ± 0,46	2,29 ± 0,30
<i>REC</i> ≤ 4%	2,29 ± 0,37	2,17 ± 0,50	2,00 ± 0,53	2,28 ± 0,46	2,38 ± 0,33
<i>REC</i> ≤ 5%	2,29 ± 0,39	2,23 ± 0,50	2,08 ± 0,54	2,33 ± 0,46	2,43 ± 0,36

Na Tabela A.18, são apresentados os valores de significância obtidos em cada caso de discriminação. Na maioria dos casos observados nos testes estatísticos, há diferenças significativamente estatísticas entre os grupos de sinais considerados. Os casos em que há exceção são: discriminação entre laringes saudáveis (SDL) e laringes afetadas por edema (EDM), com taxa de recorrência entre 3% e 4%; discriminação entre laringes saudáveis e laringes afetadas por nódulos (NDL), com taxa de recorrência entre 2% e 3%; e discriminação entre laringes afetadas por edema (EDM) e laringes afetadas por nódulos, com taxa de recorrência entre 1% e 3% e entre 4% e 5%.

Tabela A.18 – Potencial discriminativo da medida *ENTR* na discriminação entre os grupos de sinais de voz.

Medida <i>ENTR</i>	Pares de Grupos de Sinais						
	SDL × PTL	SDL × PRL	SDL × EDM	SDL × NDL	PRL × EDM	PRL × NDL	EDM × NDL
<i>REC</i> ≤ 1%	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$
<i>REC</i> ≤ 2%	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p = 0,559^*$
<i>REC</i> ≤ 3%	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p = 0,012$	$p = 0,934^*$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p = 0,092^*$
<i>REC</i> ≤ 4%	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p = 0,097^*$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p = 0,026$
<i>REC</i> ≤ 5%	$p = 0,037$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p = 0,109^*$

* $p > 0,05$.

A.1.10 – Laminaridade (*LAM*)

Na Figura A.10, é apresentada a distribuição dos valores da laminaridade, obtidos com a variação da taxa de recorrência de 1% a 5%, nos sinais de voz oriundos de laringes saudáveis, laringes com paralisia, laringes com edema, laringes com nódulos, e o conjunto com as três patologias consideradas.

Com a taxa de recorrência entre 0% e 1%, os valores dessa medida para o grupo saudável (SDL) são menores e mais dispersos do que os valores obtidos para os grupos de patologias. Entretanto, à medida que se aumenta a taxa de recorrência, os valores de

laminaridade para todos os grupos tendem a se concentrar em torno da média. Os casos em que há maior valor de laminaridade indica maior presença de estados laminares, ou seja, há mais comportamento caótico. Na Tabela A.19, são apresentados os valores de média (μ) e de desvio-padrão (σ) para essa medida nos grupos de sinais considerados para essa medida.

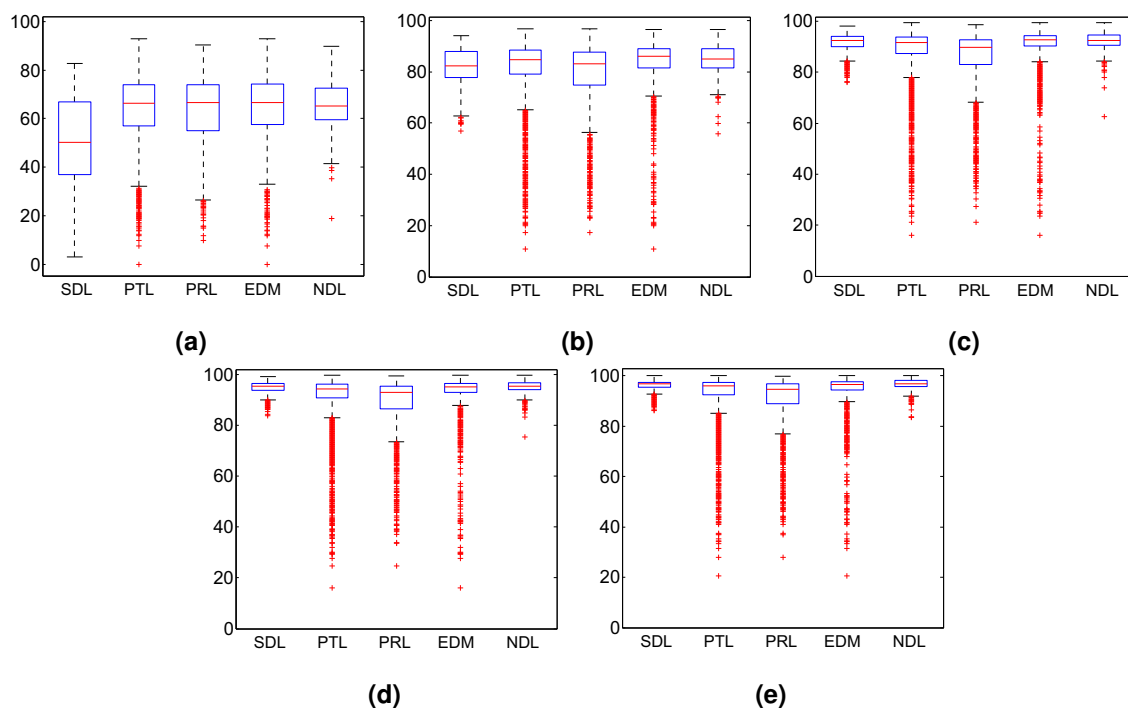


Figura A.10 – Distribuição dos valores da Laminaridade (LAM), obtidos de forma segmentada em sinais de laringes saudáveis e patológicas, para os seguintes patamares de taxa de recorrência (REC): (a) $REC \leq 1\%$; (b) $REC \leq 2\%$; (c) $REC \leq 3\%$; (d) $REC \leq 4\%$; (e) $REC \leq 5\%$.

Tabela A.19 – Valores de média (μ) e desvio-padrão (σ) da Laminaridade (LAM) para os grupos saudável (SDL), patológica (PTL), paralisia (PRL), edema (EDM) e nódulos (NDL), com a variação da taxa de recorrência (REC) de 1% a 5%.

Medida LAM	Grupos de Sinais				
	SDL	PTL	PRL	EDM	NDL
$REC \leq 1\%$	$50,82 \pm 17,46$	$64,50 \pm 13,37$	$64,06 \pm 14,26$	$64,56 \pm 13,51$	$65,65 \pm 9,87$
$REC \leq 2\%$	$82,03 \pm 7,11$	$81,57 \pm 11,81$	$79,17 \pm 13,25$	$83,05 \pm 11,30$	$84,91 \pm 5,67$
$REC \leq 3\%$	$91,73 \pm 3,36$	$87,93 \pm 11,22$	$85,18 \pm 12,54$	$89,48 \pm 10,79$	$92,12 \pm 3,62$
$REC \leq 4\%$	$94,96 \pm 2,21$	$90,86 \pm 10,57$	$88,33 \pm 11,80$	$92,12 \pm 10,26$	$95,11 \pm 2,64$
$REC \leq 5\%$	$96,19 \pm 1,87$	$92,44 \pm 9,89$	$90,15 \pm 11,06$	$93,49 \pm 9,64$	$96,50 \pm 2,19$

Os resultados dos testes estatísticos são apresentados na Tabela A.20, em que são apresentados os valores de significância obtidos em cada caso de discriminação. Em quase todos os casos há diferenças significativamente estatísticas entre os grupos de sinais considerados. A exceção está nos seguintes casos: discriminação entre os grupos saudável (SDL) e edema (EDM), com taxa de recorrência entre 2% e 3%; e discriminação entre os grupos edema e nódulos (NDL), com taxa de recorrência entre 0% e 3%.

Tabela A.20 – Potencial discriminativo da medida *LAM* na discriminação entre os grupos de sinais de voz.

Medida <i>LAM</i>	Pares de Grupos de Sinais						
	SDL × PTL	SDL × PRL	SDL × EDM	SDL × NDL	PRL × EDM	PRL × NDL	EDM × NDL
$REC \leq 1\%$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p = 0,461^*$	$p = 0,004$	$p = 0,065^*$
$REC \leq 2\%$	$p < 0,001$	$p < 0,119^*$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p = 0,546^*$
$REC \leq 3\%$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p = 0,134^*$	$p = 0,019$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p = 0,242^*$
$REC \leq 4\%$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p = 0,008$	$p = 0,043$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$
$REC \leq 5\%$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p = 0,003$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$

* $p > 0,05$.

A.1.11 – Tempo de Permanência (*TT*)

Na Figura A.10, é apresentada a distribuição dos valores da medida tempo de permanência (*Trapping Time*), obtidos com a variação da taxa de recorrência de 1% a 5%, nos sinais de voz oriundos de laringes saudáveis, laringes com paralisia, laringes com edema, laringes com nódulos, e o conjunto com as três patologias consideradas.

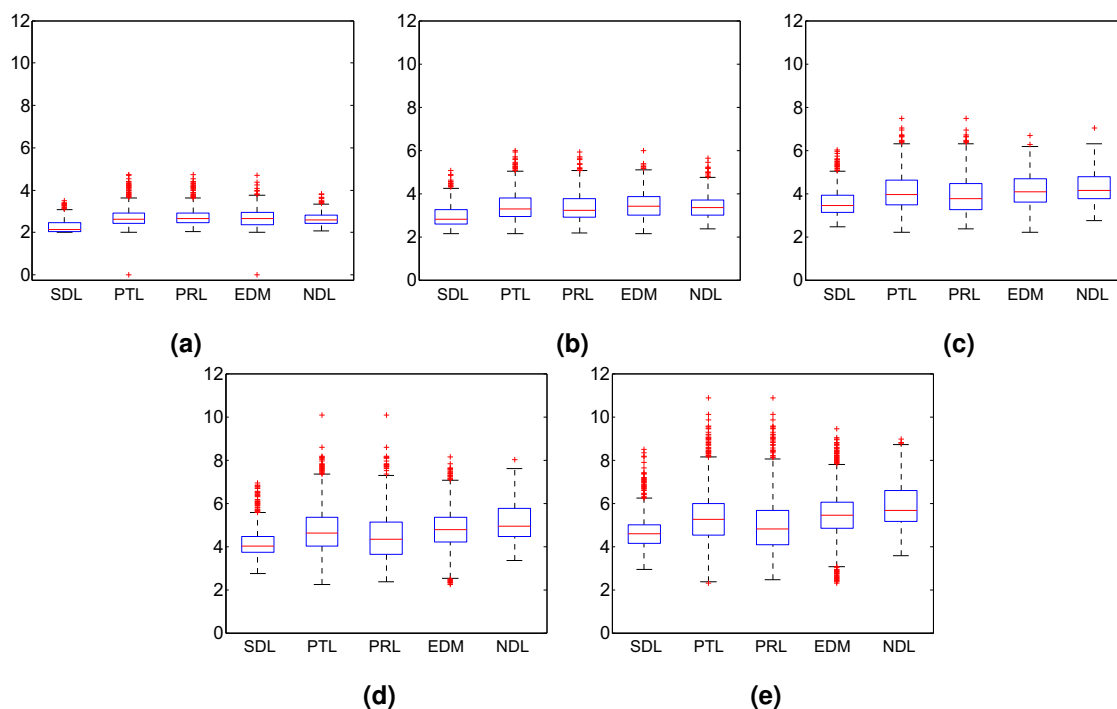


Figura A.11 – Distribuição dos valores do tempo de permanência (*TT*), obtidos de forma segmentada em sinais de laringes saudáveis e patológicas, para os seguintes patamares de taxa de recorrência (*REC*): (a) $REC \leq 1\%$; (b) $REC \leq 2\%$; (c) $REC \leq 3\%$; (d) $REC \leq 4\%$; (e) $REC \leq 5\%$.

Essa medida mede o comprimento médio das linhas verticais (porém é mais conhecida como tempo de permanência). A concentração dos valores obtidos para os grupos de patologias atingem maiores valores do que o grupo de sinais oriundos de laringes saudáveis, considerando todos os patamares de taxa de recorrência. Isso é um indício de que os estados de um sistema de produção vocal afetado por patologia tendem a evoluir mais lentamente do que estados de sistemas de produção vocal sem patologia. Ou seja, a presença de estruturas verticais é mais comum em sinais de voz oriundos de laringes patológicas. Essa medida, além de indicar a maior presença de estados laminares nos sinais de vozes de laringes patológicas, mostra que o tempo

médio em que ocorre os estados laminares é maior que em sinais de voz de laringes saudáveis. Na Tabela A.21, estão apresentados os valores de média (μ) e de desvio-padrão (σ) para essa medida nos grupos de sinais considerados para essa medida.

Tabela A.21 – Valores de média (μ) e desvio-padrão (σ) do tempo de permanência (TT) para os grupos saudável (SDL), patológica (PTL), paralisia (PRL), edema (EDM) e nódulos (NDL), com a variação da taxa de recorrência (REC) de 1% a 5%.

Medida TT	Grupos de Sinais				
	SDL	PTL	PRL	EDM	NDL
$REC \leq 1\%$	$2,27 \pm 0,29$	$2,70 \pm 0,38$	$2,73 \pm 0,39$	$2,69 \pm 0,40$	$2,66 \pm 0,31$
$REC \leq 2\%$	$2,94 \pm 0,48$	$3,40 \pm 0,62$	$3,35 \pm 0,64$	$3,44 \pm 0,61$	$3,44 \pm 0,55$
$REC \leq 3\%$	$3,56 \pm 0,57$	$4,08 \pm 0,84$	$3,93 \pm 0,89$	$4,16 \pm 0,78$	$4,30 \pm 0,74$
$REC \leq 4\%$	$4,12 \pm 0,65$	$4,72 \pm 1,06$	$4,46 \pm 1,11$	$4,85 \pm 0,96$	$5,13 \pm 0,91$
$REC \leq 5\%$	$4,62 \pm 0,75$	$5,31 \pm 1,26$	$4,96 \pm 1,32$	$5,49 \pm 1,14$	$5,89 \pm 1,04$

Na Tabela A.22, são apresentados os resultados dos testes estatísticos, com os valores de significância obtidos em cada caso de discriminação. Há diferenças significativamente estatísticas entre praticamente todos os grupos de sinais considerados com o tempo de permanência. A exceção está no caso de discriminação entre os grupos edema (EDM) e nódulos (NDL), com taxa de recorrência entre 0% e 2%. Contudo, a medida TT apresenta potencial discriminativo neste estudo de caso.

Tabela A.22 – Potencial discriminativo da medida TT na discriminação entre os grupos de sinais de voz.

Medida TT	Pares de Grupos de Sinais						
	SDL × PTL	SDL × PRL	SDL × EDM	SDL × NDL	PRL × EDM	PRL × NDL	EDM × NDL
$REC \leq 1\%$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p = 0,012$	$p < 0,001$	$p = 0,274^*$
$REC \leq 2\%$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p = 0,624^*$
$REC \leq 3\%$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p = 0,005$
$REC \leq 4\%$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$
$REC \leq 5\%$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$

* $p < 0,05$.

A.1.12 – Comprimento Máximo das Linhas Verticais (V_{max})

Na Figura A.10, é apresentada a distribuição dos valores do comprimento máximo das linhas verticais, obtidos com a variação da taxa de recorrência de 1% a 5%, nos sinais de voz oriundos de laringes saudáveis, laringes com paralisia, laringes com edema, laringes com nódulos, e o conjunto com as três patologias consideradas.

Assim como ocorreu para a medida tempo de permanência (ou comprimento médio das linhas verticais), o comprimento máximo das linhas verticais tem concentração de valores mais elevados nos grupos de sinais de voz oriundos de laringes afetadas por patologias, indicando a presença mais comum de estados laminares em sistemas de produção vocal afetados por patologias laríngeas. Além disso, a duração desses estados laminares é maior nos casos de patologias, indicando que um estado caótico é mais duradouro nesses sinais. Na Tabela A.23, estão apresentados os valores de média (μ) e de desvio-padrão (σ) para essa medida nos grupos de sinais considerados para essa medida.

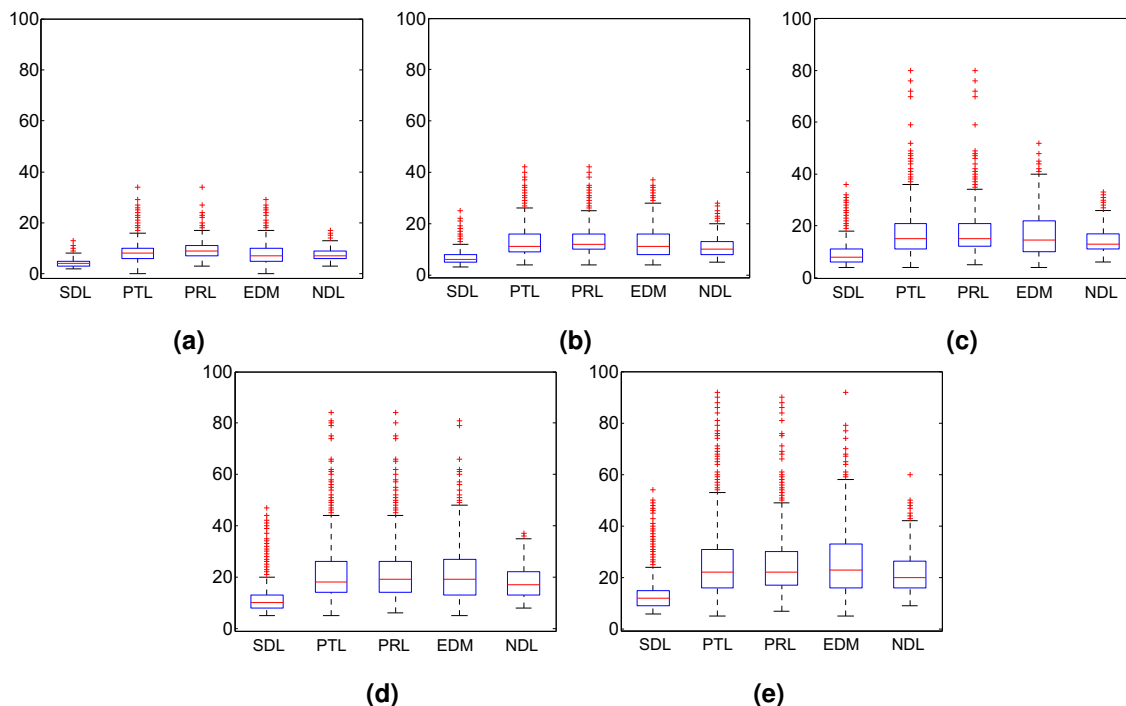


Figura A.12 – Distribuição dos valores do comprimento máximo das linhas verticais (V_{max}), obtidos de forma segmentada em sinais de laringes saudáveis e patológicas, para os seguintes patamares de taxa de recorrência (REC): (a) $REC \leq 1\%$; (b) $REC \leq 2\%$; (c) $REC \leq 3\%$; (d) $REC \leq 4\%$; (e) $REC \leq 5\%$.

Tabela A.23 – Valores de média (μ) e desvio-padrão (σ) do comprimento máximo das linhas verticais (V_{max}) para os grupos saudável (SDL), patológica (PTL), paralisia (PRL), edema (EDM) e nódulos (NDL), com a variação da taxa de recorrência (REC) de 1% a 5%.

Medida V_{max}	Grupos de Sinais				
	SDL	PTL	PRL	EDM	NDL
$REC \leq 1\%$	4,18 ± 1,57	8,43 ± 3,42	8,91 ± 3,32	8,21 ± 3,74	7,59 ± 2,54
$REC \leq 2\%$	6,78 ± 2,72	12,68 ± 5,50	13,29 ± 5,46	12,56 ± 5,94	11,24 ± 3,98
$REC \leq 3\%$	9,25 ± 4,16	16,68 ± 7,75	17,34 ± 8,13	16,69 ± 7,97	14,76 ± 5,41
$REC \leq 4\%$	11,64 ± 5,67	20,71 ± 9,75	21,18 ± 10,06	21,09 ± 10,32	18,44 ± 6,63
$REC \leq 5\%$	14,05 ± 7,41	24,69 ± 11,64	24,89 ± 11,90	25,48 ± 12,34	22,21 ± 8,31

Os resultados dos testes estatísticos são apresentados na Tabela A.24, em que são apresentados os valores de significância obtidos. Em quase todos os casos há diferenças significativamente estatísticas entre os grupos de sinais considerados. A exceção está em dois casos: discriminação entre os grupos paralisia (PRL) e edema (EDM), com taxa de recorrência entre 3% e 5%; e discriminação entre os grupos edema e nódulos (NDL), com taxa de recorrência entre 0% e 1%.

Tabela A.24 – Potencial discriminativo da medida V_{max} na discriminação entre os grupos de sinais de voz.

Medida V_{max}	Pares de Grupos de Sinais						
	SDL × PTL	SDL × PRL	SDL × EDM	SDL × NDL	PRL × EDM	PRL × NDL	EDM × NDL
$REC \leq 1\%$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p = 0,102^*$
$REC \leq 2\%$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p = 0,012$
$REC \leq 3\%$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p = 0,002$	$p < 0,001$	$p = 0,002$
$REC \leq 4\%$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p = 0,408^*$	$p < 0,001$	$p < 0,001$
$REC \leq 5\%$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p = 0,278^*$	$p < 0,001$	$p < 0,001$

* $p > 0,05$.

A.1.13 – Tempo de Recorrência do Tipo 1 (T^1)

Na Figura A.13, é apresentada a distribuição dos valores da medida tempo de recorrência do tipo 1, obtidos com a variação da taxa de recorrência de 1% a 5%, nos sinais de voz oriundos de laringes saudáveis, laringes com paralisia, laringes com edema, laringes com nódulos, e o conjunto com as três patologias consideradas.

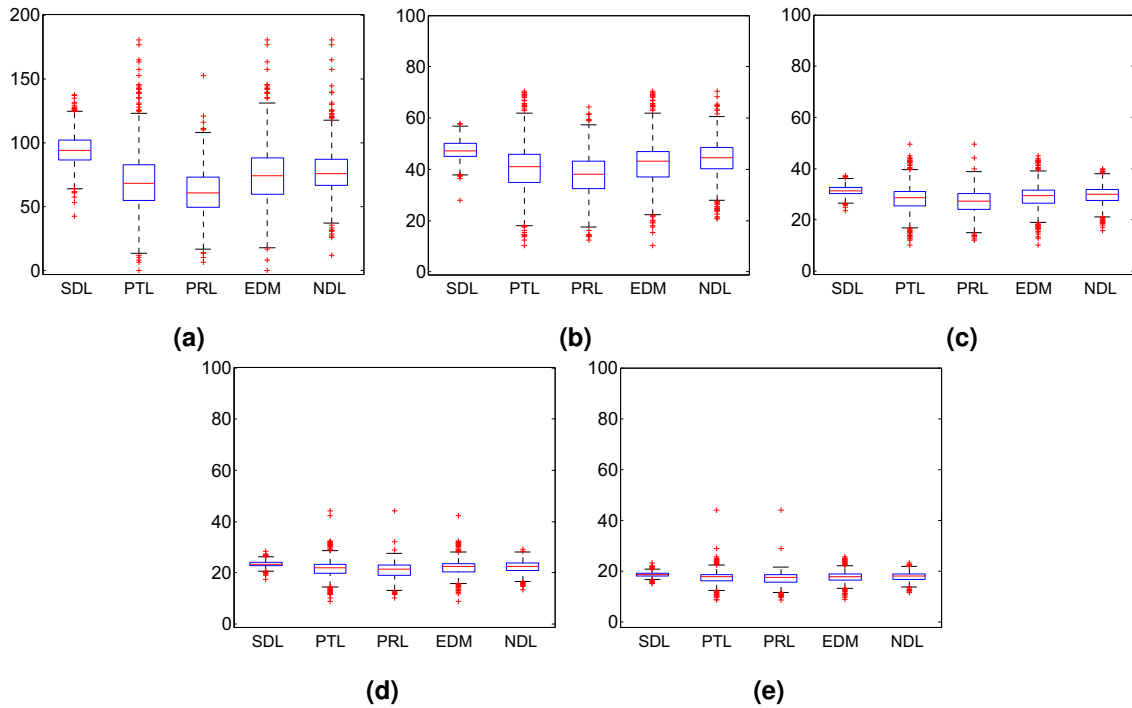


Figura A.13 – Distribuição dos valores do tempo de recorrência do tipo 1 (T^1), obtidos de forma segmentada em sinais de laringes saudáveis e patológicas, para os seguintes patamares de taxa de recorrência (REC): (a) $REC \leq 1\%$; (b) $REC \leq 2\%$; (c) $REC \leq 3\%$; (d) $REC \leq 4\%$; (e) $REC \leq 5\%$.

Com o aumento da taxa de recorrência, os valores dessa medida tendem a diminuir. Essa diminuição dos valores de T^1 é resultado do aumento nos valores do raio de vizinhança, fazendo com que os pontos de recorrência (os estados recorrentes) possam pertencer a mais de uma vizinhança, pertencendo por um tempo menor ao raio de vizinhança do estado anterior. Esses pontos são chamados de pontos de permanência temporária (*sojourn points*) [112]. A concentração de valores maiores dessa medida está no grupo dos sinais de voz oriundos de laringes saudáveis. Isso indica maior regularidade desses sinais. Na Tabela A.25, estão apresentados os valores de média (μ) e de desvio-padrão (σ) para essa medida nos grupos de sinais considerados para essa medida.

Na Tabela A.26, estão os resultados dos testes estatísticos realizados. Em praticamente todos os casos observados nos testes estatísticos, há diferenças significativamente estatísticas entre os grupos de sinais considerados. A exceção está na discriminação entre laringes afetadas por edema (EDM) e laringes afetadas por nódulos (NDL), com taxa de recorrência entre 4% e 5%.

Tabela A.25 – Valores de média (μ) e desvio-padrão (σ) do tempo de recorrência do tipo 1 (T^1) para os grupos saudável (SDL), patológica (PTL), paralisia (PRL), edema (EDM) e nódulos (NDL), com a variação da taxa de recorrência (REC) de 1% a 5%.

Medida T^1	Grupos de Sinais				
	SDL	PTL	PRL	EDM	NDL
$REC \leq 1\%$	94,60 \pm 12,08	69,03 \pm 21,28	61,42 \pm 17,81	74,52 \pm 22,30	77,59 \pm 20,56
$REC \leq 2\%$	47,46 \pm 3,65	40,36 \pm 8,33	37,69 \pm 7,63	42,06 \pm 8,40	43,89 \pm 7,69
$REC \leq 3\%$	31,31 \pm 1,87	28,14 \pm 4,51	26,99 \pm 4,49	28,91 \pm 4,40	29,59 \pm 4,02
$REC \leq 4\%$	23,41 \pm 1,22	21,53 \pm 2,92	20,90 \pm 2,95	21,99 \pm 2,88	22,26 \pm 2,55
$REC \leq 5\%$	18,79 \pm 0,93	17,48 \pm 2,14	17,11 \pm 2,21	17,76 \pm 2,11	17,89 \pm 1,79

Tabela A.26 – Potencial discriminativo da medida T^1 na discriminação entre os grupos de sinais de voz.

Medida T^1	Pares de Grupos de Sinais						
	SDL \times PTL	SDL \times PRL	SDL \times EDM	SDL \times NDL	PRL \times EDM	PRL \times NDL	EDM \times NDL
$REC \leq 1\%$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p = 0,019$
$REC \leq 2\%$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$
$REC \leq 3\%$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$
$REC \leq 4\%$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p = 0,031$
$REC \leq 5\%$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p = 0,091^*$

* $p > 0,05$.

A.1.14 – Tempo de Recorrência do Tipo 2 (T^2)

Na Figura A.14, é apresentada a distribuição dos valores da medida tempo de recorrência do tipo 2, obtidos com a variação da taxa de recorrência de 1% a 5%, nos sinais de voz oriundos de laringes saudáveis, laringes com paralisia, laringes com edema, laringes com nódulos, e o conjunto com as três patologias consideradas.

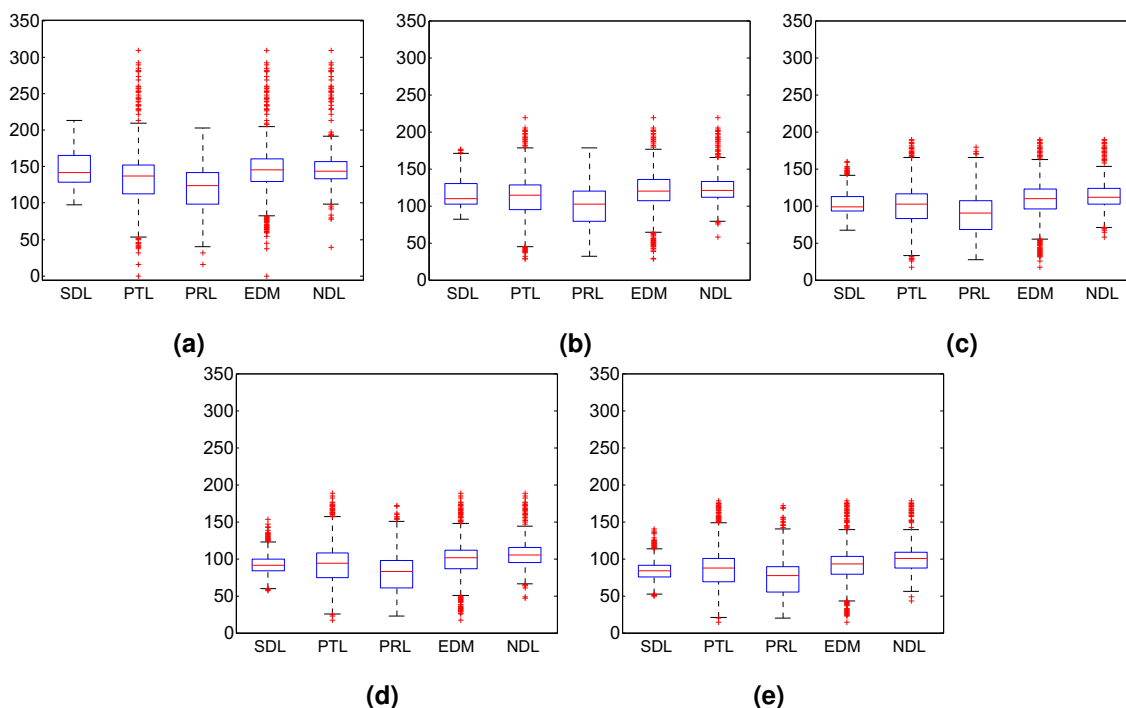


Figura A.14 – Distribuição dos valores do tempo de recorrência do tipo 2 (T^2), obtidos de forma segmentada em sinais de laringes saudáveis e patológicas, para os seguintes patamares de taxa de recorrência (REC): (a) $REC \leq 1\%$; (b) $REC \leq 2\%$; (c) $REC \leq 3\%$; (d) $REC \leq 4\%$; (e) $REC \leq 5\%$.

Como ocorreu para o tempo de recorrência do tipo 1, com a medida do tempo de recorrência do tipo 2 os seus valores para os grupos considerados neste estudo de caso tendem a diminuir com o aumento da taxa de recorrência. Maiores valores dessa medida podem indicar maior quantidade de transições de energia na série temporal. Na Tabela A.27, estão apresentados os valores de média (μ) e de desvio-padrão (σ) para essa medida nos grupos de sinais considerados para essa medida.

Tabela A.27 – Valores de média (μ) e desvio-padrão (σ) do tempo de recorrência do tipo 2 (T^2) para os grupos saudável (SDL), patológica (PTL), paralisia (PRL), edema (EDM) e nódulos (NDL), com a variação da taxa de recorrência (REC) de 1% a 5%.

Medida T^2	Grupos de Sinais				
	SDL	PTL	PRL	EDM	NDL
REC ≤ 1%	147,29 ± 23,15	133,83 ± 34,18	120,20 ± 29,09	143,43 ± 33,92	149,72 ± 33,61
REC ≤ 2%	116,05 ± 19,83	111,49 ± 28,90	100,24 ± 27,52	118,82 ± 26,91	126,07 ± 25,01
REC ≤ 3%	102,29 ± 15,85	99,43 ± 28,05	88,33 ± 27,04	106,23 ± 25,93	114,85 ± 22,85
REC ≤ 4%	92,00 ± 13,86	91,07 ± 27,42	80,18 ± 26,46	97,20 ± 25,27	107,53 ± 21,81
REC ≤ 5%	83,87 ± 13,29	84,54 ± 26,63	74,11 ± 25,64	89,93 ± 24,51	101,48 ± 21,25

Os resultados dos testes estatísticos são apresentados na Tabela A.28, em que são apresentados os valores de significância obtidos. Há diferenças significativamente estatísticas entre quase todos os grupos de sinais considerados. A exceção está nos seguintes casos: discriminação entre o grupo saudável (SDL) e o grupo patológica (PTL), com taxa de recorrência entre 1% e 3%; discriminação entre o grupo saudável e o grupo edema (EDM), com taxa de recorrência entre 0% e 1%; discriminação entre o grupo saudável e o grupo nódulos (NDL), com taxa de recorrência entre 0% e 1%; e discriminação entre os grupos edema e nódulos, com taxa de recorrência entre 0% e 1%.

Tabela A.28 – Potencial discriminativo da medida T^2 na discriminação entre os grupos de sinais de voz.

Medida T^2	Pares de Grupos de Sinais						
	SDL × PTL	SDL × PRL	SDL × EDM	SDL × NDL	PRL × EDM	PRL × NDL	EDM × NDL
REC ≤ 1%	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p = 0,179^*$	$p = 0,458^*$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p = 0,471^*$
REC ≤ 2%	$p = 0,052^*$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p = 0,008$
REC ≤ 3%	$p = 0,603^*$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$
REC ≤ 4%	$p = 0,024$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$
REC ≤ 5%	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$

* $p > 0,05$.

A.1.15 – Entropia do Tempo de Recorrência do Tipo 1 (RPDE)

Na Figura A.15, é apresentada a distribuição dos valores da medida entropia do tempo de recorrência do tipo 1, obtidos com a variação da taxa de recorrência de 1% a 5%, nos sinais de voz oriundos de laringes saudáveis, laringes com paralisia, laringes com edema, laringes com nódulos, e o conjunto com as três patologias considerada.

Para valores de taxa de recorrência até 2%, os valores dessa medida para o grupo saudável (SDL) são menores que aqueles para os grupos de patologias. Menores valores dessa

medida indicam quase periodicidade da série temporal [40], o que indica a maior regularidade dos sinais de laringes saudáveis. Com a taxa de recorrência acima de 2%, o grupo dos sinais oriundos de laringes saudáveis tende a se equiparar com os grupos de patologias. Na Tabela A.29, estão apresentados os valores de média (μ) e de desvio-padrão (σ) para essa medida nos grupos de sinais considerados para essa medida.

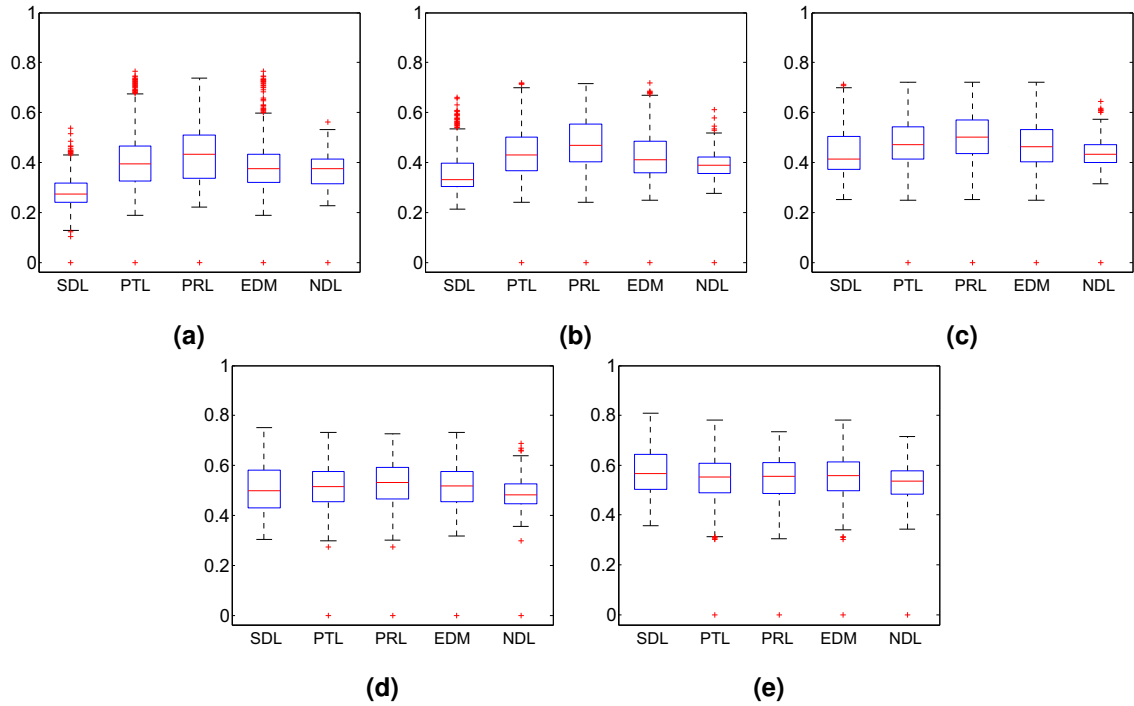


Figura A.15 – Distribuição dos valores da entropia do tempo de recorrência do tipo 1 (*RPDE*), obtidos de forma segmentada em sinais de laringes saudáveis e patológicas, para os seguintes patamares de taxa de recorrência (*REC*): (a) $REC \leq 1\%$; (b) $REC \leq 2\%$; (c) $REC \leq 3\%$; (d) $REC \leq 4\%$; (e) $REC \leq 5\%$.

Tabela A.29 – Valores de média (μ) e desvio-padrão (σ) da entropia do tempo de recorrência do tipo 2 (*RPDE*) para os grupos saudável (SDL), patológica (PTL), paralisia (PRL), edema (EDM) e nódulos (NDL), com a variação da taxa de recorrência (*REC*) de 1% a 5%.

Medida <i>RPDE</i>	Grupos de Sinais				
	SDL	PTL	PRL	EDM	NDL
$REC \leq 1\%$	$0,28 \pm 0,07$	$0,37 \pm 0,17$	$0,40 \pm 0,19$	$0,36 \pm 0,15$	$0,33 \pm 0,15$
$REC \leq 2\%$	$0,36 \pm 0,07$	$0,43 \pm 0,14$	$0,46 \pm 0,15$	$0,41 \pm 0,12$	$0,38 \pm 0,09$
$REC \leq 3\%$	$0,44 \pm 0,09$	$0,47 \pm 0,12$	$0,49 \pm 0,14$	$0,46 \pm 0,12$	$0,43 \pm 0,09$
$REC \leq 4\%$	$0,51 \pm 0,09$	$0,50 \pm 0,12$	$0,51 \pm 0,13$	$0,51 \pm 0,11$	$0,48 \pm 0,10$
$REC \leq 5\%$	$0,57 \pm 0,09$	$0,54 \pm 0,12$	$0,53 \pm 0,13$	$0,55 \pm 0,12$	$0,52 \pm 0,11$

Na Tabela A.30, são apresentados os valores de significância obtidos em cada caso de discriminação. Em todos os casos considerados, há diferenças significativamente estatísticas entre os grupos de sinais considerados.

Tabela A.30 – Potencial discriminativo da medida *RPDE* na discriminação entre os grupos de sinais de voz.

Medida <i>RPDE</i>	Pares de Grupos de Sinais						
	SDL × PTL	SDL × PRL	SDL × EDM	SDL × NDL	PRL × EDM	PRL × NDL	EDM × NDL
<i>REC</i> ≤ 1%	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p = 0,023$
<i>REC</i> ≤ 2%	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$
<i>REC</i> ≤ 3%	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p = 0,032$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$
<i>REC</i> ≤ 4%	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p = 0,018$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$
<i>REC</i> ≤ 5%	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p = 0,035$	$p < 0,001$	$p < 0,001$

Caracterização dos Sinais de Voz Avaliados no Estudo de Caso 2

Neste Apêndice, são apresentados, com mais detalhe, os resultados referentes ao processo de caracterização dos sinais a partir da análise de quantificação de recorrência, no Estudo de Caso 2. Esta caracterização foi realizada com as medidas extraídas com e sem segmentação. Os procedimentos de análise estatística seguem a metodologia apresentada na Seção 4.3

B.1 – Caracterização e Análise Estatística com as Medidas Extraídas sem Segmentação

Neste processo de caracterização, os sinais de voz e as medidas de recorrência utilizados são aqueles indicados na Seção 4.3.2. A seguir, é apresentado o comportamento das medidas de quantificação de recorrência, extraídas sem segmentação, quando empregadas em sinais de voz de crianças com grau geral normal, leve e moderado.

B.1.1 – Raio de vizinhança (*RAIO*)

Na Figura B.1, é apresentada a distribuição dos valores de raio de vizinhança obtidos com a variação da taxa de recorrência de 1% a 5%, nos sinais de voz de crianças com grau geral normal (GG1), grau geral leve (GG2), grau geral moderado (GG3), e o conjunto de vozes alteradas, compreendido pelos graus leve e moderado (GG2 e GG3).

Os valores dessa medida para o grupo de sinais considerados sem alteração (grau geral normal – GG1) são mais concentrados do que os demais grupos para taxa de recorrência até 2%. Acima desse patamar, as distribuições são semelhantes. Na Tabela B.1, estão apresentados os valores de média (μ) e de desvio-padrão (σ) para essa medida nos grupos de sinais considerados para essa medida. Os maiores valores de raio para os grupos de sinais de vozes alteradas indicam a necessidade de aumentar o raio de vizinhança para que a dinâmica presente nesses sinais seja observada com o mesmo detalhe que os sinais de vozes normais.

Os resultados dos testes estatísticos são apresentados na Tabela B.2, em que são apresentados os valores de significância obtidos. Há diferenças significativamente estatísticas

apenas em um caso de discriminação: entre o grupo grau geral normal e o grupo grau geral moderado, com taxa de recorrência entre 0% e 1%. A quantidade de observações neste estudo de caso pode ter influenciado esse resultado.

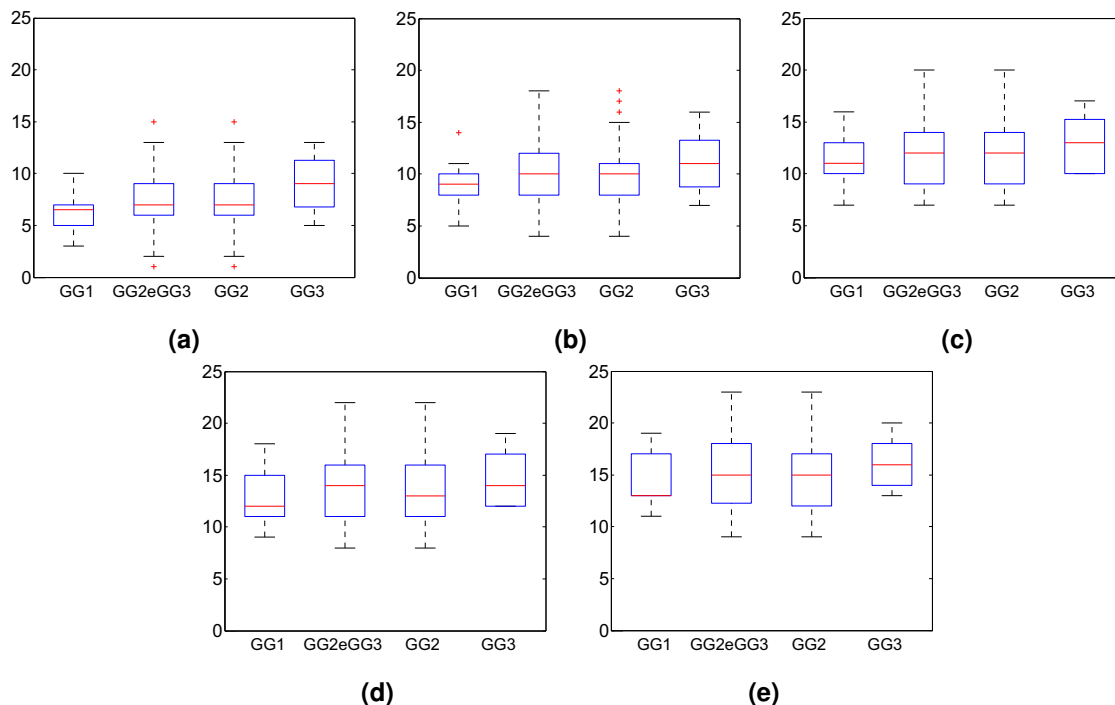


Figura B.1 – Distribuição dos valores do raio de vizinhança (RAIO), obtidos sem segmentação em sinais de voz de crianças com grau geral normal (GG1), grau geral leve (GG2) e grau geral moderado (GG3), para os seguintes patamares de taxa de recorrência (REC): (a) $REC \leq 1\%$; (b) $REC \leq 2\%$; (c) $REC \leq 3\%$; (d) $REC \leq 4\%$; (e) $REC \leq 5\%$.

Tabela B.1 – Valores de média (μ) e desvio-padrão (σ) dos valores do raio de vizinhança (RAIO), obtidos sem segmentação em sinais de voz de crianças com grau geral normal (GG1), grau geral leve (GG2), e grau geral moderado (GG3), com a variação da taxa de recorrência (REC) de 1% a 5%.

Medida RAIO	Grupos de Sinais			
	GG1	GG2 e GG3	GG2	GG3
$REC \leq 1\%$	6,40 ± 1,90	7,57 ± 2,76	7,36 ± 2,72	8,69 ± 2,75
$REC \leq 2\%$	9,20 ± 2,35	10,05 ± 2,93	9,84 ± 2,92	11,15 ± 2,82
$REC \leq 3\%$	11,20 ± 2,57	11,92 ± 3,19	11,71 ± 3,25	13,00 ± 2,71
$REC \leq 4\%$	12,90 ± 2,85	13,55 ± 3,38	13,31 ± 3,46	14,85 ± 2,64
$REC \leq 5\%$	14,40 ± 2,88	14,93 ± 3,50	14,67 ± 3,61	16,31 ± 2,50

Tabela B.2 – Potencial discriminativo da medida RAIO, obtida sem segmentação, na discriminação entre os grupos de sinais de vozes infantis.

Medida RAIO	Pares de Grupos de Sinais			
	GG1 × GG2 e GG3	GG1 × GG2	GG1 × GG3	GG2 × GG3
$REC \leq 1\%$	$p = 0,198$	$p = 0,287$	$p = 0,035^*$	$p = 0,109$
$REC \leq 2\%$	$p = 0,424$	$p = 0,567$	$p = 0,092$	$p = 0,129$
$REC \leq 3\%$	$p = 0,596$	$p = 0,770$	$p = 0,121$	$p = 0,117$
$REC \leq 4\%$	$p = 0,558$	$p = 0,719$	$p = 0,105$	$p = 0,134$
$REC \leq 5\%$	$p = 0,584$	$p = 0,827$	$p = 0,068$	$p = 0,123$

* $p < 0,05$.

B.1.2 – Determinismo (*DET*)

Na Figura B.1, é apresentada a distribuição dos valores de raio de vizinhança obtidos com a variação da taxa de recorrência de 1% a 5%, nos sinais de voz de crianças com grau geral normal (GG1), grau geral leve (GG2), grau geral moderado (GG3), e o conjunto de vozes alteradas, compreendido pelos graus leve e moderado (GG2 e GG3).

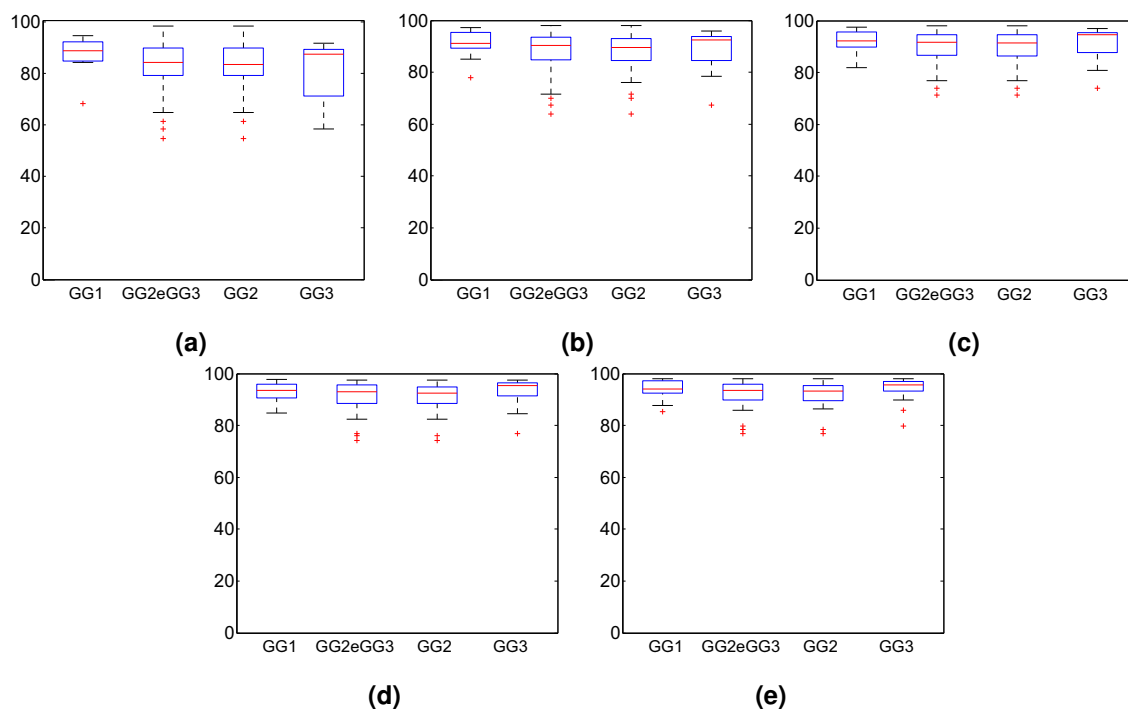


Figura B.2 – Distribuição dos valores do determinismo (*DET*), obtidos sem segmentação em sinais de voz de crianças com grau geral normal (GG1), grau geral leve (GG2) e grau geral moderado (GG3), para os seguintes patamares de taxa de recorrência (*REC*): (a) $REC \leq 1\%$; (b) $REC \leq 2\%$; (c) $REC \leq 3\%$; (d) $REC \leq 4\%$; (e) $REC \leq 5\%$.

Para todos os patamares de taxa de recorrência, a concentração maior de valores do grupo de sinais com grau geral normal está entre 80% e 100%. Os valores dessa medida para o grupo grau geral moderado são mais espalhado para menores taxas de recorrência (até 2%), e tendem a se concentrar com o aumento de *REC*. Na Tabela B.3, estão apresentados os valores de média (μ) e de desvio-padrão (σ) para essa medida nos grupos de sinais considerados para essa medida.

Tabela B.3 – Valores de média (μ) e desvio-padrão (σ) dos valores do determinismo (*DET*), obtidos sem segmentação em sinais de voz de crianças com grau geral normal (GG1), grau geral leve (GG2), e grau geral moderado (GG3), com a variação da taxa de recorrência (*REC*) de 1% a 5%.

Medida <i>DET</i>	Grupos de Sinais			
	GG1	GG2 e GG3	GG2	GG3
$REC \leq 1\%$	$87,35 \pm 7,47$	$88,23 \pm 8,77$	$83,49 \pm 8,37$	$81,70 \pm 10,95$
$REC \leq 2\%$	$90,55 \pm 5,73$	$88,23 \pm 6,87$	$88,14 \pm 6,63$	$88,71 \pm 8,35$
$REC \leq 3\%$	$91,62 \pm 5,04$	$90,26 \pm 5,73$	$90,11 \pm 5,50$	$91,07 \pm 7,05$
$REC \leq 4\%$	$92,73 \pm 4,69$	$91,57 \pm 5,04$	$91,36 \pm 4,85$	$92,70 \pm 6,08$
$REC \leq 5\%$	$93,67 \pm 4,34$	$92,52 \pm 4,49$	$92,32 \pm 4,32$	$93,04 \pm 5,38$

Na Tabela B.4, são apresentados os resultados dos testes estatísticos com a medida determinismo. Em nenhum caso há diferenças significativamente estatísticas entre os grupos considerados neste estudo de caso. Isso pode indicar que os sinais avaliados apresentam grau de previsibilidade semelhante quando observado em intervalos de tempo considerados não estacionários.

Tabela B.4 – Potencial discriminativo da medida DET , obtida sem segmentação, na discriminação entre os grupos de sinais de vozes infantis.

Medida DET	Pares de Grupos de Sinais			
	GG1 × GG2 e GG3	GG1 × GG2	GG1 × GG3	GG2 × GG3
$REC \leq 1\%$	$p = 0,085$	$p = 0,089$	$p = 0,172$	$p = 0,920$
$REC \leq 2\%$	$p = 0,333$	$p = 0,244$	$p = 0,901$	$p = 0,380$
$REC \leq 3\%$	$p = 0,560$	$p = 0,414$	$p = 0,804$	$p = 0,201$
$REC \leq 4\%$	$p = 0,449$	$p = 0,352$	$p = 0,852$	$p = 0,112$
$REC \leq 5\%$	$p = 0,406$	$p = 0,309$	$p = 0,852$	$p = 0,101$

B.1.3 – Comprimento Máximo das Linhas Diagonais (L_{max})

Na Figura B.3, é apresentada a distribuição dos valores de raio de vizinhança obtidos com a variação da taxa de recorrência de 1% a 5%, nos sinais de voz de crianças com grau geral normal (GG1), grau geral leve (GG2), grau geral moderado (GG3), e o conjunto de vozes alteradas, compreendido pelos graus leve e moderado (GG2 e GG3).

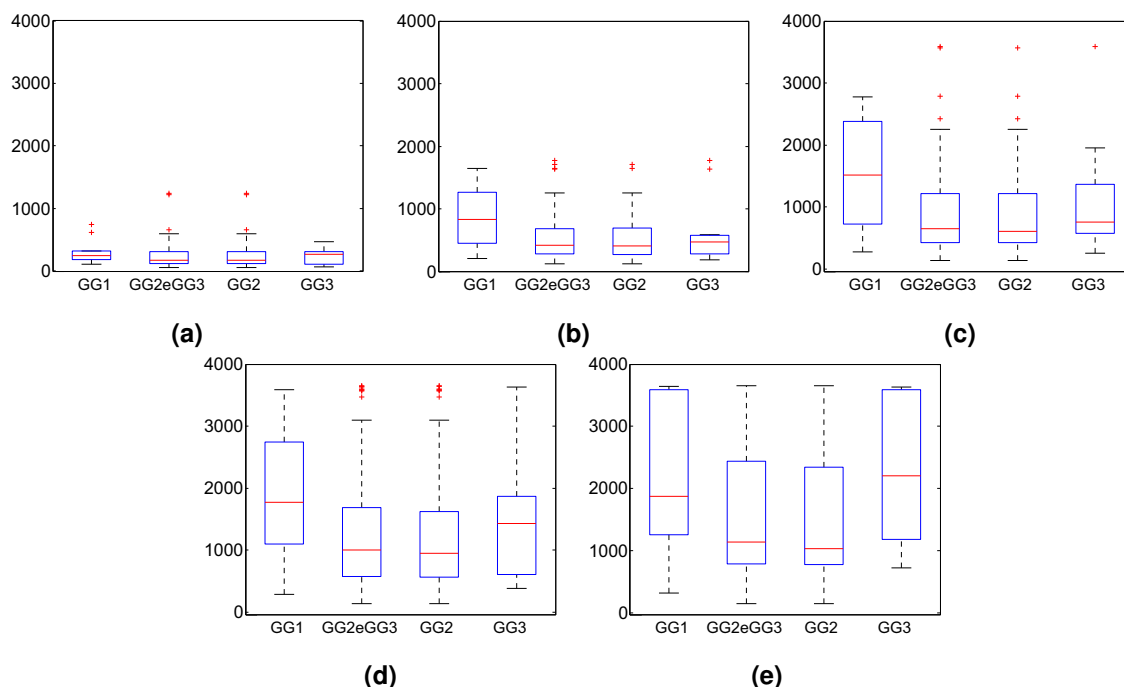


Figura B.3 – Distribuição dos valores do comprimento máximo das linhas diagonais (L_{max}), obtidos sem segmentação em sinais de voz de crianças com grau geral normal (GG1), grau geral leve (GG2) e grau geral moderado (GG3), para os seguintes patamares de taxa de recorrência (REC): (a) $REC \leq 1\%$; (b) $REC \leq 2\%$; (c) $REC \leq 3\%$; (d) $REC \leq 4\%$; (e) $REC \leq 5\%$.

Com o aumento da taxa de recorrência, há uma maior dispersão nos valores dessa medida para todos os grupos considerados neste estudo de caso, principalmente o grupo dos

sinais de voz de crianças com grau geral normal. Maiores valores de L_{max} indicam mais regularidade dos sinais, o que é refletida na formação de estruturas diagonais maiores no gráfico de recorrência. Na Tabela B.5, estão apresentados os valores de média (μ) e de desvio-padrão (σ) para essa medida nos grupos de sinais considerados para essa medida.

Tabela B.5 – Valores de média (μ) e desvio-padrão (σ) dos valores do comprimento máximo das linhas diagonais (L_{max}), obtidos sem segmentação em sinais de voz de crianças com grau geral normal (GG1), grau geral leve (GG2), e grau geral moderado (GG3), com a variação da taxa de recorrência (REC) de 1% a 5%.

Medida L_{max}	Grupos de Sinais			
	GG1	GG2 e GG3	GG2	GG3
$REC \leq 1\%$	313,60 \pm 206,55	251,64 \pm 204,63	254,71 \pm 215,37	235,08 \pm 138,14
$REC \leq 2\%$	866,60 \pm 505,30	520,05 \pm 367,91	506,47 \pm 338,63	593,15 \pm 508,65
$REC \leq 3\%$	1.481,10 \pm 855,00	917,99 \pm 727,29	884,83 \pm 692,51	1.096,54 \pm 903,35
$REC \leq 4\%$	1.847,60 \pm 1.105,46	1.322,90 \pm 1.018,27	1.279,37 \pm 1.013,73	1.557,31 \pm 1.051,53
$REC \leq 5\%$	2.122,50 \pm 1.235,54	1.643,54 \pm 1.144,08	1.537,41 \pm 1.118,53	2.215,00 \pm 1.153,62

Os resultados dos testes estatísticos são apresentados na Tabela B.6, em que são apresentados os valores de significância obtidos. Há diferenças significativamente estatísticas apenas nos seguintes casos: discriminação entre o grupo com grau geral normal (GG1) e o conjunto dos grupos grau geral leve e moderado (GG2 e GG3), com taxa de recorrência entre 1% e 3%; discriminação entre o grupo com grau geral normal e o grupo com grau geral leve (GG2), com taxa de recorrência entre 1% e 3%; e discriminação entre o grupo com grau geral leve e o grau geral moderado (GG3), com taxa de recorrência entre 4% e 5%.

Tabela B.6 – Potencial discriminativo da medida L_{max} , obtida sem segmentação, na discriminação entre os grupos de sinais de vozes infantis.

Medida L_{max}	Pares de Grupos de Sinais			
	GG1 \times GG2 e GG3	GG1 \times GG2	GG1 \times GG3	GG2 \times GG3
$REC \leq 1\%$	$p = 0,163$	$p = 0,160$	$p = 0,321$	$p = 0,866$
$REC \leq 2\%$	$p = 0,032^*$	$p = 0,029^*$	$p = 0,172$	$p = 0,812$
$REC \leq 3\%$	$p = 0,038^*$	$p = 0,031^*$	$p = 0,239$	$p = 0,284$
$REC \leq 4\%$	$p = 0,111$	$p = 0,082$	$p = 0,577$	$p = 0,239$
$REC \leq 5\%$	$p = 0,199$	$p = 0,121$	$p = 0,855$	$p = 0,040^*$

* $p < 0,05$.

B.1.4 – Entropia de Shannon ($ENTR$)

Na Figura B.4, é apresentada a distribuição dos valores da entropia de Shannon da frequência de distribuição das linhas diagonais, obtidos com a variação da taxa de recorrência de 1% a 5%, nos sinais de voz de crianças com grau geral normal (GG1), grau geral leve (GG2), grau geral moderado (GG3), e o conjunto de vozes alteradas, compreendido pelos graus leve e moderado (GG2 e GG3).

Com a taxa de recorrência no patamar 1%, o grupo dos sinais de voz de crianças com grau geral normal (GG1) apresentam concentração dos maiores valores de entropia. Com o aumento da taxa de recorrência, os demais grupos tendem a se equiparar, e o grupo dos sinais de crianças com grau geral moderado (GG3) apresenta os maiores valores de entropia com a

taxa de recorrência entre 4% e 5%. Na Tabela B.7, estão apresentados os valores de média (μ) e de desvio-padrão (σ) para essa medida nos grupos de sinais considerados para essa medida.

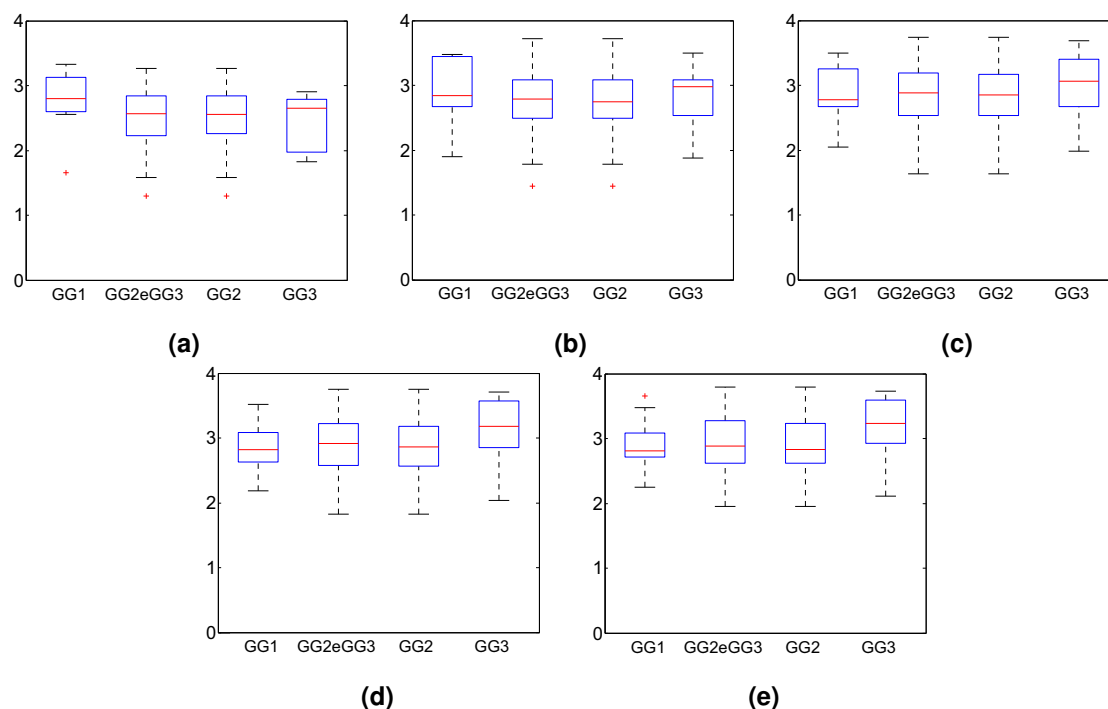


Figura B.4 – Distribuição dos valores da entropia de Shannon ($ENTR$), obtidos sem segmentação em sinais de voz de crianças com grau geral normal (GG1), grau geral leve (GG2) e grau geral moderado (GG3), para os seguintes patamares de taxa de recorrência (REC): (a) $REC \leq 1\%$; (b) $REC \leq 2\%$; (c) $REC \leq 3\%$; (d) $REC \leq 4\%$; (e) $REC \leq 5\%$.

Tabela B.7 – Valores de média (μ) e desvio-padrão (σ) dos valores da entropia de Shannon ($ENTR$), obtidos sem segmentação em sinais de voz de crianças com grau geral normal (GG1), grau geral leve (GG2), e grau geral moderado (GG3), com a variação da taxa de recorrência (REC) de 1% a 5%.

Medida $ENTR$	Grupos de Sinais			
	GG1	GG2 e GG3	GG2	GG3
$REC \leq 1\%$	$2,77 \pm 0,47$	$2,55 \pm 0,55$	$2,56 \pm 0,56$	$2,45 \pm 0,42$
$REC \leq 2\%$	$2,95 \pm 0,51$	$2,77 \pm 0,44$	$2,76 \pm 0,43$	$2,84 \pm 0,48$
$REC \leq 3\%$	$2,87 \pm 0,43$	$2,86 \pm 0,44$	$2,84 \pm 0,42$	$3,00 \pm 0,53$
$REC \leq 4\%$	$2,85 \pm 0,41$	$2,91 \pm 0,44$	$2,87 \pm 0,42$	$3,10 \pm 0,52$
$REC \leq 5\%$	$2,89 \pm 0,45$	$2,95 \pm 0,46$	$2,91 \pm 0,44$	$3,16 \pm 0,50$

Os resultados dos testes estatísticos são apresentados na Tabela B.8, na qual estão os valores de significância obtidos em cada caso de discriminação. Não há diferenças significativamente estatísticas entre os grupos de sinais considerados com essa medida.

B.1.5 – Tendência ($TREND$)

Na Figura B.5, é apresentada a distribuição dos valores da tendência, obtidos com a variação da taxa de recorrência de 1% a 5%, nos sinais de voz de crianças com grau geral normal (GG1), grau geral leve (GG2), grau geral moderado (GG3), e o conjunto de vozes alteradas, compreendido pelos graus leve e moderado (GG2 e GG3).

Tabela B.8 – Potencial discriminativo da medida *ENTR*, obtida sem segmentação, na discriminação entre os grupos de sinais de vozes infantis.

Medida <i>ENTR</i>	Pares de Grupos de Sinais			
	GG1 × GG2 e GG3	GG1 × GG2	GG1 × GG3	GG2 × GG3
$REC \leq 1\%$	$p = 0,192$	$p = 0,246$	$p = 0,107$	$p = 0,474$
$REC \leq 2\%$	$p = 0,237$	$p = 0,207$	$p = 0,605$	$p = 0,540$
$REC \leq 3\%$	$p = 0,933$	$p = 0,787$	$p = 0,537$	$p = 0,209$
$REC \leq 4\%$	$p = 0,704$	$p = 0,888$	$p = 0,225$	$p = 0,087$
$REC \leq 5\%$	$p = 0,723$	$p = 0,921$	$p = 0,197$	$p = 0,067$

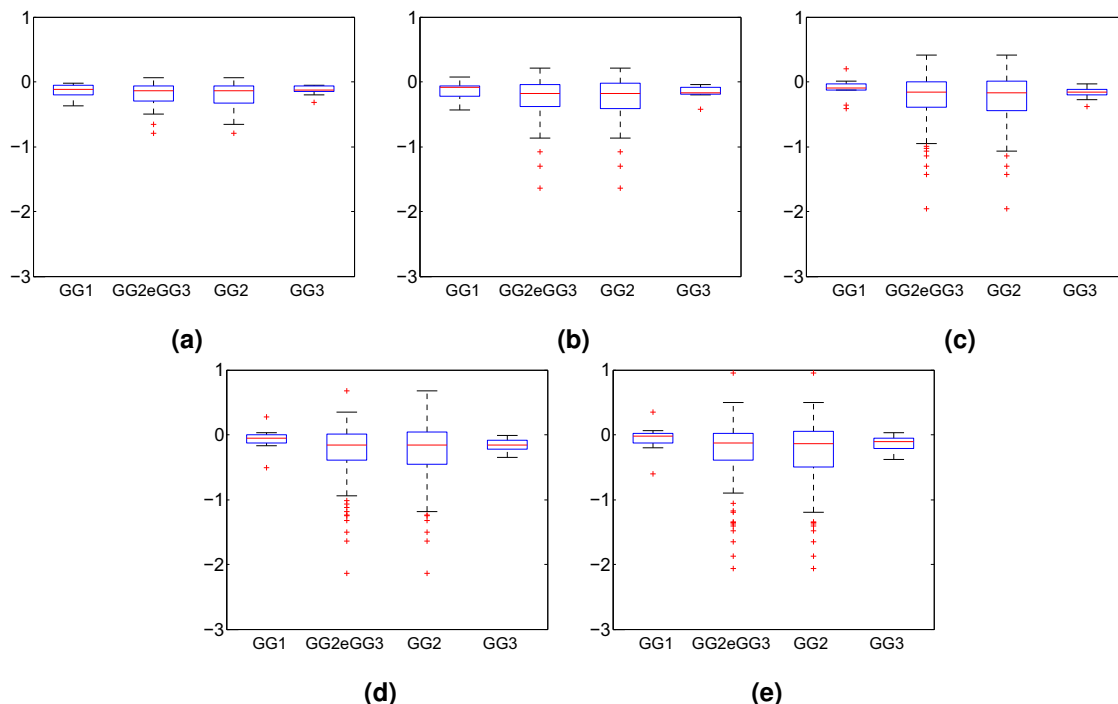


Figura B.5 – Distribuição dos valores da tendência (*TREND*), obtidos sem segmentação em sinais de voz de crianças com grau geral normal (GG1), grau geral leve (GG2) e grau geral moderado (GG3), para os seguintes patamares de taxa de recorrência (*REC*): (a) $REC \leq 1\%$; (b) $REC \leq 2\%$; (c) $REC \leq 3\%$; (d) $REC \leq 4\%$; (e) $REC \leq 5\%$.

Para os grupos de sinais de vozes infantis alteradas (grau geral leve e grau geral moderado), os valores dessa medida são menores em alguns patamares de taxa de recorrência, indicando que para estes tipos de sinais a densidade de pontos de recorrência diminui à medida em que se afasta da diagonal principal. Apesar disso, todos os valores estão próximos de zero, indicando que a distribuição dos pontos recorrentes é quase constante ao longo do gráfico de recorrência. Na Tabela A.5, estão os valores de média (μ) e de desvio-padrão (σ) nos grupos de sinais considerados para essa medida.

Na Tabela B.10, são apresentados os valores de significância obtidos em cada caso de discriminação. Não foram identificadas diferenças estatísticas significativas entre os grupos de sinais considerados.

Tabela B.9 – Valores de média (μ) e desvio-padrão (σ) dos valores da tendência (*TREND*), obtidos sem segmentação em sinais de voz de crianças com grau geral normal (GG1), grau geral leve (GG2), e grau geral moderado (GG3), com a variação da taxa de recorrência (*REC*) de 1% a 5%.

Medida <i>TREND</i>	Grupos de Sinais			
	GG1	GG2 e GG3	GG2	GG3
<i>REC</i> ≤ 1%	-0,14 ± 0,11	-0,19 ± 0,17	-0,20 ± 0,20	-0,13 ± 0,07
<i>REC</i> ≤ 2%	-0,14 ± 0,15	-0,26 ± 0,33	-0,28 ± 0,35	-0,16 ± 0,10
<i>REC</i> ≤ 3%	-0,11 ± 0,18	-0,28 ± 0,41	-0,31 ± 0,44	-0,17 ± 0,09
<i>REC</i> ≤ 4%	-0,08 ± 0,19	-0,29 ± 0,48	-0,31 ± 0,52	-0,16 ± 0,10
<i>REC</i> ≤ 5%	-0,06 ± 0,24	-0,28 ± 0,55	-0,31 ± 0,59	-0,13 ± 0,11

Tabela B.10 – Potencial discriminativo da medida *TREND*, obtida sem segmentação, na discriminação entre os grupos de sinais de vozes infantis.

Medida <i>TREND</i>	Pares de Grupos de Sinais			
	GG1 × GG2 e GG3	GG1 × GG2	GG1 × GG3	GG2 × GG3
<i>REC</i> ≤ 1%	$p = 0,399$	$p = 0,348$	$p = 0,755$	$p = 0,377$
<i>REC</i> ≤ 2%	$p = 0,352$	$p = 0,344$	$p = 0,535$	$p = 0,634$
<i>REC</i> ≤ 3%	$p = 0,239$	$p = 0,295$	$p = 0,321$	$p = 0,759$
<i>REC</i> ≤ 4%	$p = 0,206$	$p = 0,282$	$p = 0,210$	$p = 0,822$
<i>REC</i> ≤ 5%	$p = 0,189$	$p = 0,239$	$p = 0,336$	$p = 0,721$

B.1.6 – Laminaridade (*LAM*)

Na Figura B.6, é apresentada a distribuição dos valores da laminaridade, obtidos com a variação da taxa de recorrência de 1% a 5%, nos sinais de voz de crianças com grau geral normal (GG1), grau geral leve (GG2), grau geral moderado (GG3), e o conjunto de vozes alteradas, compreendido pelos graus leve e moderado (GG2 e GG3).

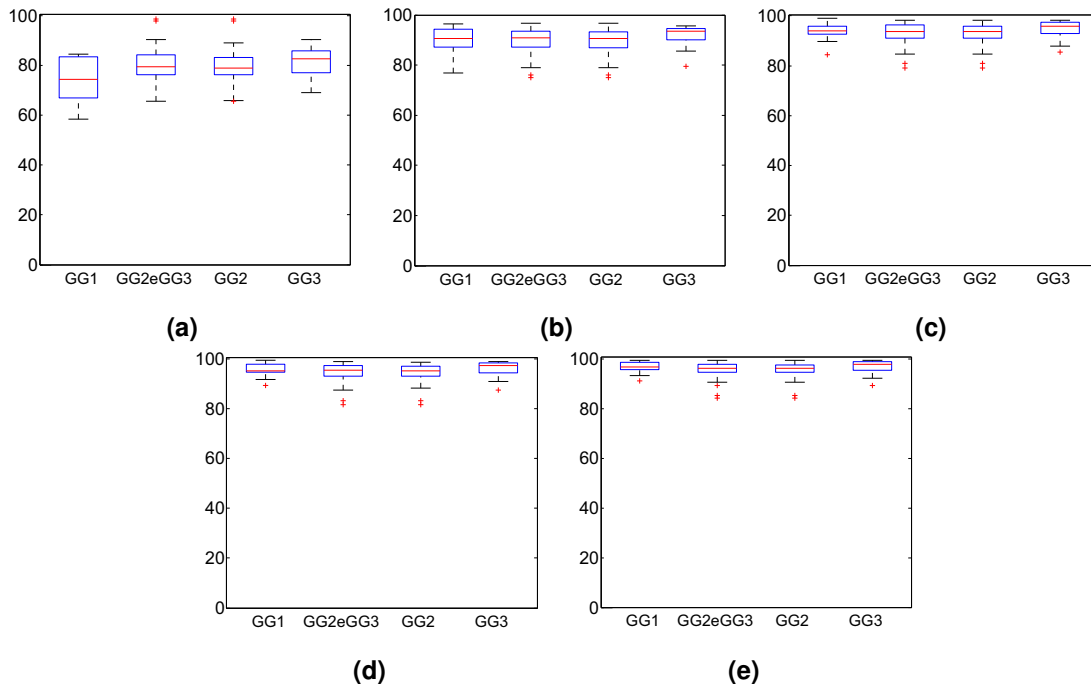


Figura B.6 – Distribuição dos valores da laminaridade (*LAM*), obtidos sem segmentação em sinais de voz de crianças com grau geral normal (GG1), grau geral leve (GG2) e grau geral moderado (GG3), para os seguintes patamares de taxa de recorrência (*REC*): (a) *REC* ≤ 1%; (b) *REC* ≤ 2%; (c) *REC* ≤ 3%; (d) *REC* ≤ 4%; (e) *REC* ≤ 5%.

Com a taxa de recorrência entre 0% e 1%, os valores da laminaridade para o grupo de sinais de voz de crianças com grau geral normal são menores e mais espalhados do que aqueles para os demais grupos. Isso pode indicar que, em uma observação com patamares mais baixos de taxa de recorrência, pode ser observada a maior presença de estados laminares (comportamento caótico) em sinais de vozes alteradas. Com o aumento da taxa de recorrência, os grupos envolvidos neste estudo de caso se equiparam nos valores da laminaridade. Na Tabela B.11, estão apresentados os valores de média (μ) e de desvio-padrão (σ) nos grupos de sinais considerados para essa medida.

Tabela B.11 – Valores de média (μ) e desvio-padrão (σ) dos valores da laminaridade (LAM), obtidos sem segmentação em sinais de voz de crianças com grau geral normal (GG1), grau geral leve (GG2), e grau geral moderado (GG3), com a variação da taxa de recorrência (REC) de 1% a 5%.

Medida LAM	Grupos de Sinais			
	GG1	GG2 e GG3	GG2	GG3
$REC \leq 1\%$	73,87 \pm 8,95	79,94 \pm 6,23	79,72 \pm 6,25	81,18 \pm 6,21
$REC \leq 2\%$	89,65 \pm 5,73	90,00 \pm 4,43	89,73 \pm 4,37	91,43 \pm 4,60
$REC \leq 3\%$	93,63 \pm 4,13	93,28 \pm 3,79	93,07 \pm 3,72	94,43 \pm 4,08
$REC \leq 4\%$	95,42 \pm 3,02	94,88 \pm 3,34	94,69 \pm 3,29	95,96 \pm 3,52
$REC \leq 5\%$	96,42 \pm 2,54	95,77 \pm 2,89	95,61 \pm 2,85	96,62 \pm 3,08

Os resultados dos testes estatísticos são apresentados na Tabela B.12, em que estão os valores de significância obtidos. Os casos de discriminação em que há diferenças significativamente estatísticas são: discriminação entre o grupo de sinais de voz com grau geral normal e o conjunto dos grupos grau geral leve e grau geral moderado; discriminação entre o grupo de sinais de vozes com grau geral normal e grau geral leve; e discriminação entre o grupo de sinais de vozes com grau geral normal e o grupo de sinais com grau geral moderado. Em todos esses casos, a taxa de recorrência está entre 0% e 1%.

Tabela B.12 – Potencial discriminativo da medida LAM , obtida sem segmentação, na discriminação entre os grupos de sinais de vozes infantis.

Medida LAM	Pares de Grupos de Sinais			
	GG1 \times GG2 e GG3	GG1 \times GG2	GG1 \times GG3	GG2 \times GG3
$REC \leq 1\%$	$p = 0,007^*$	$p = 0,011^*$	$p = 0,031^*$	$p = 0,440$
$REC \leq 2\%$	$p = 0,960$	$p = 0,884$	$p = 0,385$	$p = 0,060$
$REC \leq 3\%$	$p = 0,728$	$p = 0,658$	$p = 0,385$	$p = 0,098$
$REC \leq 4\%$	$p = 0,785$	$p = 0,621$	$p = 0,457$	$p = 0,084$
$REC \leq 5\%$	$p = 0,507$	$p = 0,356$	$p = 0,535$	$p = 0,086$

* $p < 0,05$.

B.1.7 – Tempo de Permanência (TT)

Na Figura B.7, é apresentada a distribuição dos valores da medida tempo de permanência (*Trapping Time* – TT), obtidos com a variação da taxa de recorrência de 1% a 5%, nos sinais de voz de crianças com grau geral normal (GG1), grau geral leve (GG2), grau geral moderado (GG3), e o conjunto de vozes alteradas, compreendido pelos graus leve e moderado (GG2 e GG3).

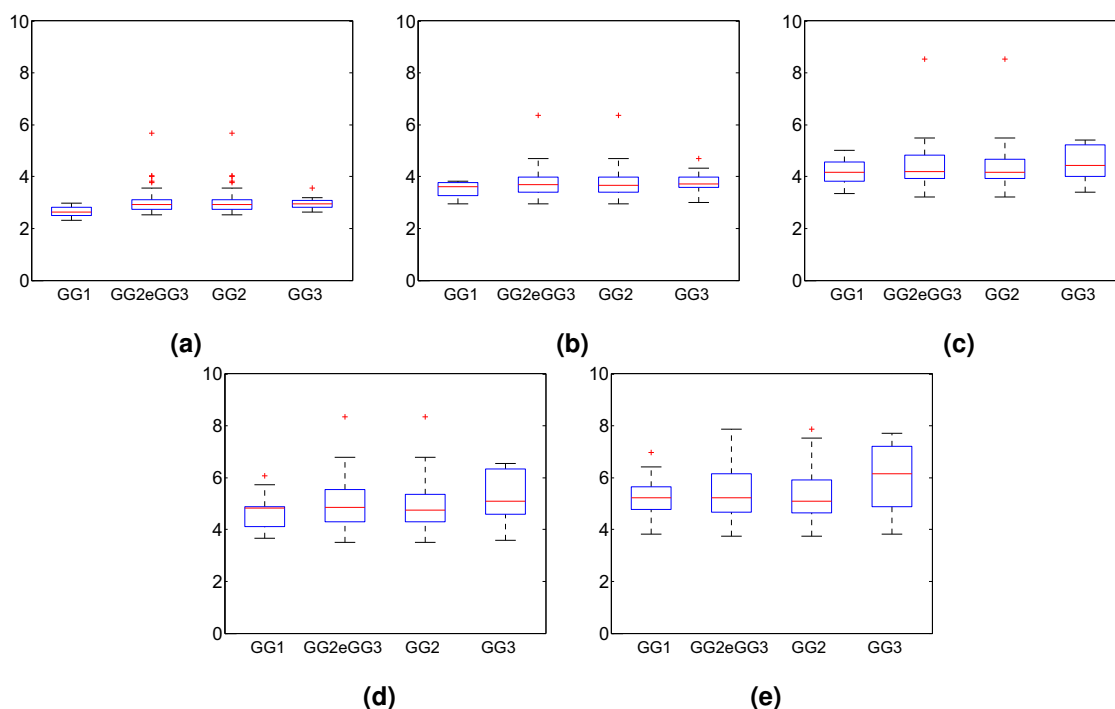


Figura B.7 – Distribuição dos valores do tempo de permanência (TT), obtidos sem segmentação em sinais de voz de crianças com grau geral normal (GG1), grau geral leve (GG2) e grau geral moderado (GG3), para os seguintes patamares de taxa de recorrência (REC): (a) $REC \leq 1\%$; (b) $REC \leq 2\%$; (c) $REC \leq 3\%$; (d) $REC \leq 4\%$; (e) $REC \leq 5\%$.

Com a taxa de recorrência entre 0% e 2%, é possível perceber que os valores do tempo de permanência para os grupos de sinais vozes alteradas (graus gerais 2 e 3) são ligeiramente maiores do que aqueles para o grupo de sinais de vozes com grau geral normal. Com o aumento da taxa de recorrência, há uma dispersão nos valores de TT para o grupo com grau geral moderado (GG3). Na Tabela B.13, estão apresentados os valores de média (μ) e de desvio-padrão (σ) nos grupos de sinais considerados para essa medida. Os maiores valores para os grupos de vozes alteradas pode indicar que o tempo médio de um estado caótico nesses sinais seja maior se comparado com os sinais de voz considerados normais.

Tabela B.13 – Valores de média (μ) e desvio-padrão (σ) dos valores do tempo de permanência (TT), obtidos sem segmentação em sinais de voz de crianças com grau geral normal (GG1), grau geral leve (GG2), e grau geral moderado (GG3), com a variação da taxa de recorrência (REC) de 1% a 5%.

Medida TT	Grupos de Sinais			
	GG1	GG2 e GG3	GG2	GG3
$REC \leq 1\%$	$2,66 \pm 0,20$	$3,44 \pm 4,06$	$3,52 \pm 4,41$	$2,97 \pm 0,25$
$REC \leq 2\%$	$3,49 \pm 0,30$	$4,00 \pm 2,42$	$4,03 \pm 2,63$	$3,80 \pm 0,43$
$REC \leq 3\%$	$4,16 \pm 0,53$	$4,39 \pm 0,74$	$4,37 \pm 0,75$	$4,54 \pm 0,70$
$REC \leq 4\%$	$4,74 \pm 0,77$	$4,96 \pm 0,92$	$4,89 \pm 0,89$	$5,32 \pm 1,01$
$REC \leq 5\%$	$5,26 \pm 0,96$	$5,45 \pm 1,09$	$5,35 \pm 1,02$	$5,97 \pm 1,31$

Na Tabela B.14, estão apresentados os valores de significância obtidos dos testes estatísticos. Como ocorreu para a medida laminaridade (Tabela B.12), os casos de discriminação em que há diferenças significativamente estatísticas são: discriminação entre o grupo de sinais de voz com grau geral normal e o conjunto dos grupos grau geral leve e grau geral moderado;

discriminação entre o grupo de sinais de vozes com grau geral normal e grau geral leve; e discriminação entre o grupo de sinais de vozes com grau geral normal e o grupo de sinais com grau geral moderado. Em todos esses casos, a taxa de recorrência está entre 0% e 1%. Isso é um indício de que, nesses casos de discriminação, a formação de estruturas verticais é um fator mais presente em sinais de vozes alteradas, como é o caso dos grupos com grau geral leve e com grau geral moderado.

Tabela B.14 – Potencial discriminativo da medida TT , obtida sem segmentação, na discriminação entre os grupos de sinais de vozes infantis.

Medida TT	Pares de Grupos de Sinais			
	GG1 × GG2 e GG3	GG1 × GG2	GG1 × GG3	GG2 × GG3
$REC \leq 1\%$	$p = 0,002^*$	$p = 0,002^*$	$p = 0,004^*$	$p = 0,621$
$REC \leq 2\%$	$p = 0,093$	$p = 0,121$	$p = 0,063$	$p = 0,374$
$REC \leq 3\%$	$p = 0,596$	$p = 0,503$	$p = 0,172$	$p = 0,304$
$REC \leq 4\%$	$p = 0,466$	$p = 0,604$	$p = 0,146$	$p = 0,123$
$REC \leq 5\%$	$p = 0,799$	$p = 0,994$	$p = 0,166$	$p = 0,101$

* $p < 0,05$.

B.1.8 – Comprimento Máximo das Linhas Verticais (V_{max})

Na Figura B.8, é apresentada a distribuição dos valores do comprimento máximo das linhas verticais, obtidos com a variação da taxa de recorrência de 1% a 5%, nos sinais de voz de crianças com grau geral normal (GG1), grau geral leve (GG2), grau geral moderado (GG3), e o conjunto de vozes alteradas, compreendido pelos graus leve e moderado (GG2 e GG3).

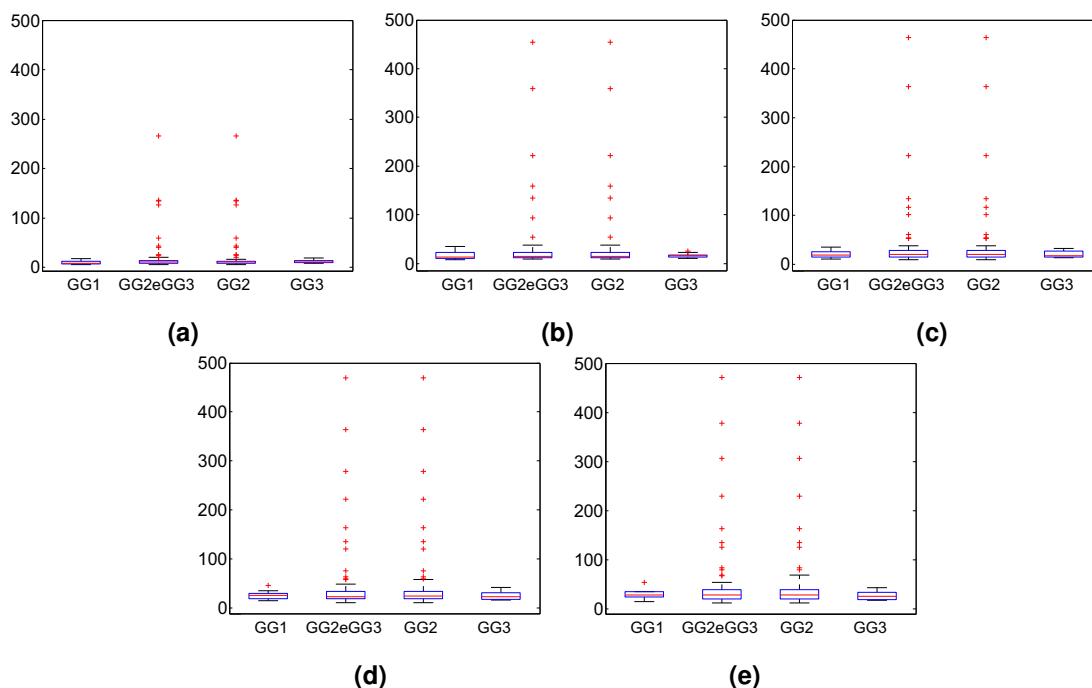


Figura B.8 – Distribuição dos valores do comprimento máximo das linhas verticais (V_{max}), obtidos sem segmentação em sinais de voz de crianças com grau geral normal (GG1), grau geral leve (GG2) e grau geral moderado (GG3), para os seguintes patamares de taxa de recorrência (REC): (a) $REC \leq 1\%$; (b) $REC \leq 2\%$; (c) $REC \leq 3\%$; (d) $REC \leq 4\%$; (e) $REC \leq 5\%$.

Nos grupos de sinais de vozes alteradas (graus gerais leve e moderado), há uma maior dispersão nos valores de V_{max} , principalmente no grupo com grau geral leve, o qual contém consideravelmente mais sinais, dentre os quais há diferentes graus de outras características presentes em sinais de vozes infantis, tais como rugosidade, tensão e sopro. Na Tabela B.15, estão apresentados os valores de média (μ) e de desvio-padrão (σ) nos grupos de sinais considerados para essa medida. Os maiores valores de V_{max} para o grupo de sinais com grau geral leve indica que há mais comportamento caótico nesses sinais. Entretanto, nesse grupo há diferentes graus de rugosidade, sopro, tensão e instabilidade (não tratados nesta pesquisa), que podem indicar que a presença do caos seja mais comum em graus de severidade mais elevados. Além disso, a análise não segmentada pode ter “mascarado” a presença de estados laminares mais duradouros no grupo de sinais com grau geral moderado.

Tabela B.15 – Valores de média (μ) e desvio-padrão (σ) dos valores do comprimento máximo das linhas verticais (V_{max}), obtidos sem segmentação em sinais de voz de crianças com grau geral normal (GG1), grau geral leve (GG2), e grau geral moderado (GG3), com a variação da taxa de recorrência (REC) de 1% a 5%.

Medida V_{max}	Grupos de Sinais			
	GG1	GG2 e GG3	GG2	GG3
$REC \leq 1\%$	9,70 ± 3,74	20,33 ± 36,24	21,87 ± 39,29	12,00 ± 3,06
$REC \leq 2\%$	16,50 ± 8,28	33,06 ± 67,43	36,21 ± 73,05	16,08 ± 4,61
$REC \leq 3\%$	21,10 ± 8,43	39,49 ± 70,07	42,99 ± 75,81	20,69 ± 6,50
$REC \leq 4\%$	26,20 ± 9,32	44,54 ± 72,87	48,29 ± 78,79	24,38 ± 8,14
$REC \leq 5\%$	29,60 ± 10,63	49,00 ± 74,43	53,11 ± 80,39	26,85 ± 8,15

Os resultados dos testes estatísticos são apresentados na Tabela B.16, em que são apresentados os valores de significância obtidos. O único caso de discriminação em que foi identificada a significância estatística foi o caso entre o grupo de sinais de vozes com grau geral normal (GG1) e o conjunto dos graus gerais leve e moderado (GG2 e GG3), com taxa de recorrência entre 0% e 1%.

Tabela B.16 – Potencial discriminativo da medida V_{max} , obtida sem segmentação, na discriminação entre os grupos de sinais de vozes infantis.

Medida V_{max}	Pares de Grupos de Sinais			
	GG1 × GG2 e GG3	GG1 × GG2	GG1 × GG3	GG2 × GG3
$REC \leq 1\%$	$p = 0,049^*$	$p = 0,056$	$p = 0,119$	$p = 0,753$
$REC \leq 2\%$	$p = 0,391$	$p = 0,370$	$p = 0,423$	$p = 0,624$
$REC \leq 3\%$	$p = 0,392$	$p = 0,610$	$p = 0,876$	$p = 0,611$
$REC \leq 4\%$	$p = 0,901$	$p = 0,971$	$p = 0,624$	$p = 0,590$
$REC \leq 5\%$	$p = 0,946$	$p = 0,824$	$p = 0,489$	$p = 0,298$

* $p < 0,05$.

B.2 – Caracterização e Análise Estatística com as Medidas Extraídas com Segmentação

Neste processo de caracterização, os sinais de voz e as medidas de recorrência utilizados são aqueles definidos na Seção 4.3.3. A seguir, é apresentado o comportamento das medidas de quantificação de recorrência, extraídas com segmentação, quando empregadas em sinais de voz de crianças com grau geral normal, leve e moderado.

B.2.1 – Raio de vizinhança (*RAIO*)

Na Figura B.9, é apresentada a distribuição dos valores de raio de vizinhança obtidos de forma segmentada com a variação da taxa de recorrência de 1% a 5%, nos sinais de voz de crianças com grau geral normal (GG1), grau geral leve (GG2), grau geral moderado (GG3), e o conjunto de vozes alteradas, compreendido pelos graus leve e moderado (GG2 e GG3).

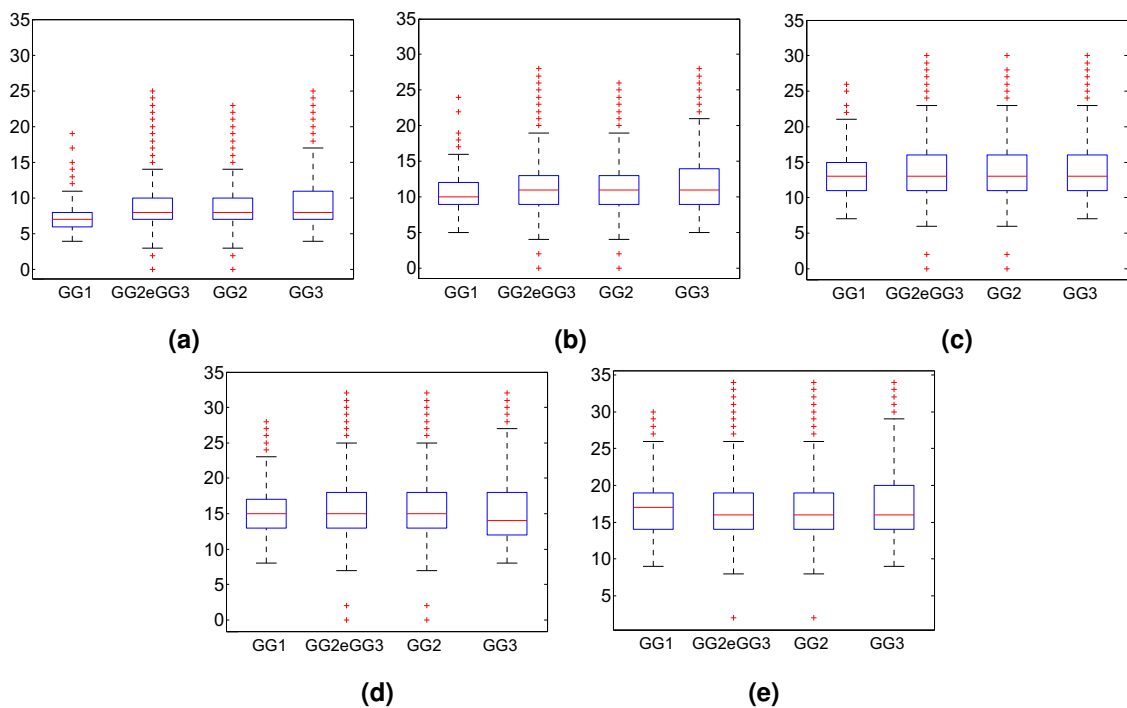


Figura B.9 – Distribuição dos valores do raio de vizinhança (*RAIO*), obtidos com segmentação em sinais de voz de crianças com grau geral normal (GG1), grau geral leve (GG2) e grau geral moderado (GG3), para os seguintes patamares de taxa de recorrência (*REC*): (a) $REC \leq 1\%$; (b) $REC \leq 2\%$; (c) $REC \leq 3\%$; (d) $REC \leq 4\%$; (e) $REC \leq 5\%$.

Os valores de *RAIO* para o grupo de sinais de voz de crianças com grau geral normal são mais concentrados do que os demais grupos, quando considerada a taxa de recorrência até 1%. Com o aumento da taxa de recorrência, a maior concentração dos valores para cada grupo tende a se equiparar com os demais. Na Tabela B.17, estão apresentados os valores de média (μ) e de desvio-padrão (σ) nos grupos de sinais considerados para essa medida. Com a taxa de recorrência entre 4% e 5%, o valor médio do raio de vizinhança para o grupo com grau geral

moderado é maior do que nos demais grupos. Como observado no caso sem segmentação, isso indica que, para este grupo, são necessários maiores valores de raio de vizinhança para se atingir tal patamar de taxa de recorrência. Ou seja, é preciso mais detalhe para observar a dinâmica desses sinais, mesmo quando analisados em trechos considerados estacionários.

Tabela B.17 – Valores de média (μ) e desvio-padrão (σ) dos valores do raio de vizinhança (*RAIO*), obtidos sem segmentação em sinais de voz de crianças com grau geral normal (GG1), grau geral leve (GG2), e grau geral moderado (GG3), com a variação da taxa de recorrência (*REC*) de 1% a 5%.

Medida <i>RAIO</i>	Grupos de Sinais			
	GG1	GG2 e GG3	GG2	GG3
<i>REC</i> ≤ 1%	7,35 ± 1,91	8,70 ± 2,96	8,59 ± 2,82	9,29 ± 3,54
<i>REC</i> ≤ 2%	10,48 ± 2,45	11,55 ± 3,34	11,48 ± 3,21	11,89 ± 3,91
<i>REC</i> ≤ 3%	13,09 ± 2,93	13,78 ± 3,66	13,75 ± 3,57	13,90 ± 4,12
<i>REC</i> ≤ 4%	15,21 ± 3,28	15,59 ± 3,89	15,58 ± 3,82	15,63 ± 4,24
<i>REC</i> ≤ 5%	16,92 ± 3,51	17,09 ± 4,03	17,10 ± 3,98	17,08 ± 4,31

Na Tabela B.18, em que são apresentados os valores de significância obtidos. Na maioria dos casos de discriminação há diferenças estatísticas significativas entre os grupos de sinais considerados. Há exceções nos seguintes casos: discriminação entre o grupo com grau geral normal (GG1) e o conjunto com graus gerais leve e moderado (GG2 e GG3), com taxa de recorrência entre 3% e 5%; discriminação entre o grupo com grau geral normal e o grupo com grau geral leve (GG2), com taxa de recorrência entre 3% e 5%; discriminação entre o grupo com grau geral normal e o grupo com grau geral moderado (GG3), com taxa de recorrência entre 3% e 5%; e discriminação entre o grupo com grau geral leve e o grupo com grau geral moderado, com taxa de recorrência entre 1% e 4%.

Tabela B.18 – Potencial discriminativo da medida *RAIO*, obtida com segmentação, na discriminação entre os grupos de sinais de vozes infantis.

Medida <i>RAIO</i>	Pares de Grupos de Sinais			
	GG1 × GG2 e GG3	GG1 × GG2	GG1 × GG3	GG2 × GG3
<i>REC</i> ≤ 1%	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$
<i>REC</i> ≤ 2%	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p = 0,504^*$
<i>REC</i> ≤ 3%	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p = 0,172^*$
<i>REC</i> ≤ 4%	$p = 0,121^*$	$p = 0,078^*$	$p = 0,810^*$	$p = 0,092^*$
<i>REC</i> ≤ 5%	$p = 0,991^*$	$p = 0,779^*$	$p = 0,248^*$	$p = 0,046$

* $p > 0,05$.

B.2.2 – Taxa de Recorrência (*REC*)

Como realizado para o Estudo de Caso 1 com segmentação (APÊNDICE A, Seção A.1.2), o potencial discriminativo da medida taxa de recorrência também foi investigado neste estudo de caso. Na Figura B.10, é apresentada a distribuição dos valores de *REC* obtidos de forma segmentada com a variação dessa medida nos patamares de 1% a 5%, nos sinais de voz de crianças com grau geral normal (GG1), grau geral leve (GG2), grau geral moderado (GG3), e o conjunto de vozes alteradas, compreendido pelos graus leve e moderado (GG2 e GG3).

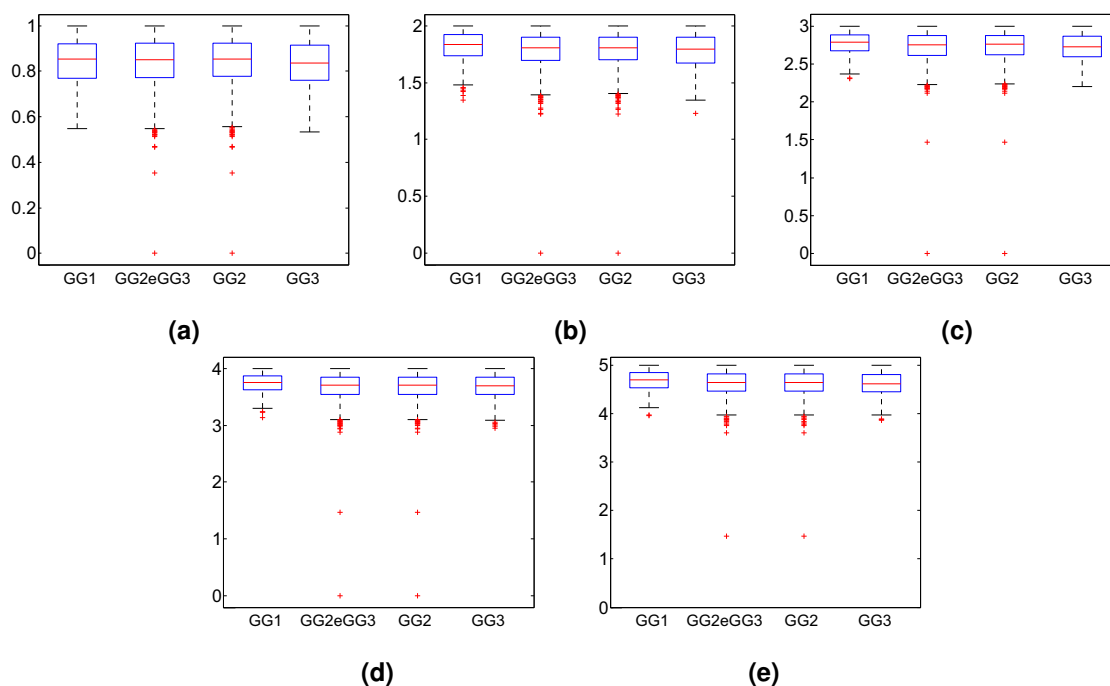


Figura B.10 – Distribuição dos valores da taxa de recorrência (REC), obtidos com segmentação em sinais de voz de crianças com grau geral normal (GG1), grau geral leve (GG2) e grau geral moderado (GG3), para os seguintes patamares dessa medida: (a) $REC \leq 1\%$; (b) $REC \leq 2\%$; (c) $REC \leq 3\%$; (d) $REC \leq 4\%$; (e) $REC \leq 5\%$.

Em todos os patamares de taxa de recorrência, os valores dessa medida parecem estar, para todos os grupos analisados, com concentração semelhante da distribuição de REC . Com o aumento da taxa de recorrência, há sinais que mantêm o valor de taxa de recorrência mesmo com o patamar aumentado. Isso significa que o aumento em uma unidade no valor do raio de vizinhança levaria a obtenção de um valor de taxa de recorrência acima de 5%. Na Tabela B.19, estão apresentados os valores de média (μ) e desvio-padrão (σ) dos valores de taxa de recorrência nos grupos de sinais avaliados.

Tabela B.19 – Valores de média (μ) e desvio-padrão (σ) dos valores da taxa de recorrência (REC), obtidos sem segmentação em sinais de voz de crianças com grau geral normal (GG1), grau geral leve (GG2), e grau geral moderado (GG3), com a variação dessa medida de 1% a 5%.

Medida REC	Grupos de Sinais			
	GG1	GG2 e GG3	GG2	GG3
$REC \leq 1\%$	$0,84 \pm 0,10$	$0,84 \pm 0,10$	$0,84 \pm 0,10$	$0,83 \pm 0,10$
$REC \leq 2\%$	$1,82 \pm 0,13$	$1,79 \pm 0,14$	$1,79 \pm 0,14$	$1,78 \pm 0,14$
$REC \leq 3\%$	$2,77 \pm 0,14$	$2,74 \pm 0,17$	$2,74 \pm 0,17$	$2,72 \pm 0,17$
$REC \leq 4\%$	$3,74 \pm 0,16$	$3,69 \pm 0,20$	$3,69 \pm 0,20$	$3,68 \pm 0,20$
$REC \leq 5\%$	$4,69 \pm 0,20$	$4,64 \pm 0,23$	$4,64 \pm 0,23$	$4,62 \pm 0,22$

Os resultados dos testes estatísticos são apresentados na Tabela B.20, em que são apresentados os valores de significância obtidos. Os casos de discriminação em que há exceções são: discriminação entre o grupo de sinais de vozes com grau geral normal (GG1) e o conjunto dos graus gerais leve e moderado (GG2 e GG3), com taxa de recorrência entre 0% e 1%; discriminação entre o grupo de sinais de vozes com grau geral normal e o grupo de sinais com

grau geral leve (GG2), com taxa de recorrência entre 0% e 1%; e discriminação entre o grupo de sinais de vozes com grau geral leve e o grupo de sinais de voz com grau geral moderado (GG3), com taxa de recorrência entre 3% e 4%.

Tabela B.20 – Potencial discriminativo da medida *REC*, obtida com segmentação, na discriminação entre os grupos de sinais de vozes infantis.

Medida <i>REC</i>	Pares de Grupos de Sinais			
	GG1 × GG2 e GG3	GG1 × GG2	GG1 × GG3	GG2 × GG3
$REC \leq 1\%$	$p < 0,975^*$	$p = 0,556^*$	$p = 0,017$	$p < 0,001$
$REC \leq 2\%$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p = 0,015$
$REC \leq 3\%$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$
$REC \leq 4\%$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p = 0,547^*$
$REC \leq 5\%$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p = 0,008$

* $p > 0,05$.

B.2.3 – Transitividade (*TRANS*)

Na Figura B.11, é apresentada a distribuição dos valores de raio de vizinhança obtidos de forma segmentada com a variação da taxa de recorrência de 1% a 5%, nos sinais de voz de crianças com grau geral normal (GG1), grau geral leve (GG2), grau geral moderado (GG3), e o conjunto de vozes alteradas, compreendido pelos graus leve e moderado (GG2 e GG3).

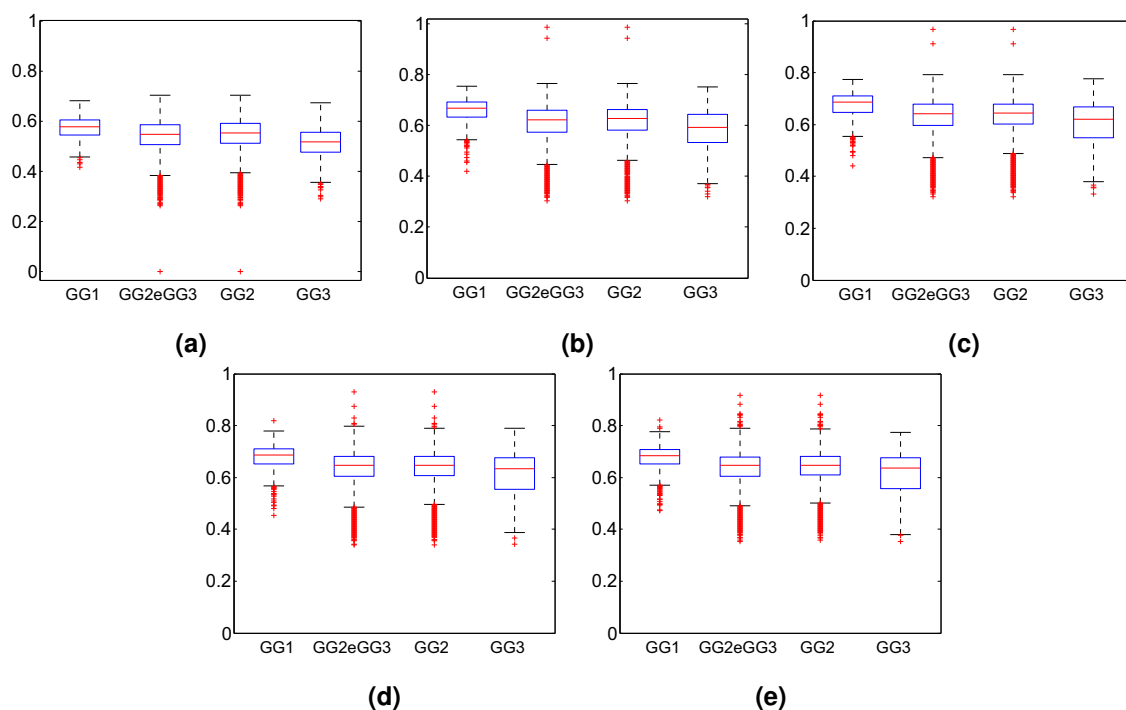


Figura B.11 – Distribuição dos valores da transitividade (*TRANS*), obtidos com segmentação em sinais de voz de crianças com grau geral normal (GG1), grau geral leve (GG2) e grau geral moderado (GG3), para os seguintes patamares de taxa de recorrência (*REC*): (a) $REC \leq 1\%$; (b) $REC \leq 2\%$; (c) $REC \leq 3\%$; (d) $REC \leq 4\%$; (e) $REC \leq 5\%$.

Na Tabela B.21, estão apresentados os valores de média (μ) e de desvio-padrão (σ) nos grupos de sinais considerados para essa medida. Os valores de *TRANS* para o grupo com grau geral normal são, em média, mais elevados do que aqueles para os demais grupos.

Tabela B.21 – Valores de média (μ) e desvio-padrão (σ) dos valores da transitividade (*TRANS*), obtidos sem segmentação em sinais de voz de crianças com grau geral normal (GG1), grau geral leve (GG2), e grau geral moderado (GG3), com a variação da taxa de recorrência (*REC*) de 1% a 5%.

Medida <i>TRANS</i>	Grupos de Sinais			
	GG1	GG2 e GG3	GG2	GG3
<i>REC</i> ≤ 1%	0,57 ± 0,04	0,54 ± 0,06	0,55 ± 0,06	0,51 ± 0,06
<i>REC</i> ≤ 2%	0,66 ± 0,05	0,61 ± 0,07	0,62 ± 0,07	0,58 ± 0,08
<i>REC</i> ≤ 3%	0,68 ± 0,05	0,63 ± 0,07	0,63 ± 0,07	0,61 ± 0,08
<i>REC</i> ≤ 4%	0,68 ± 0,05	0,63 ± 0,07	0,64 ± 0,06	0,62 ± 0,08
<i>REC</i> ≤ 5%	0,68 ± 0,05	0,64 ± 0,06	0,64 ± 0,06	0,62 ± 0,07

Os resultados dos testes estatísticos são apresentados na Tabela B.22, em que são apresentados os valores de significância obtidos em cada caso de discriminação. Em todos os casos de discriminação, há diferenças estatísticas significativas em todos os casos de discriminação considerados neste estudo de caso.

Tabela B.22 – Potencial discriminativo da medida *TRANS*, obtida com segmentação, na discriminação entre os grupos de sinais de vozes infantis.

Medida <i>TRANS</i>	Pares de Grupos de Sinais			
	GG1 × GG2 e GG3	GG1 × GG2	GG1 × GG3	GG2 × GG3
<i>REC</i> ≤ 1%	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$
<i>REC</i> ≤ 2%	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$
<i>REC</i> ≤ 3%	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$
<i>REC</i> ≤ 4%	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$
<i>REC</i> ≤ 5%	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$

B.2.4 – Determinismo (*DET*)

Na Figura B.12, é apresentada a distribuição dos valores de raio de vizinhança obtidos de forma segmentada com a variação da taxa de recorrência de 1% a 5%, nos sinais de voz de crianças com grau geral normal (GG1), grau geral leve (GG2), grau geral moderado (GG3), e o conjunto de vozes alteradas, compreendido pelos graus leve e moderado (GG2 e GG3).

A maior concentração de valores dessa medida para o grupo de sinais de voz de crianças com grau geral normal está entre 80% e 100%, para todos os patamares de taxa de recorrência. Para o patamar de taxa de recorrência de 1%, o valor médio de determinismo para o grupo com grau geral moderado não chega a 80%. Apenas para este grupo de sinais, com a taxa de recorrência entre 1% e 2%, o determinismo, em média, ultrapassa 90%, como pode ser observado na Tabela B.23, na qual estão apresentados os valores de média (μ) e de desvio-padrão (σ) nos grupos de sinais considerados para essa medida. Os maiores valores dessa medida para o grupo GG1 indica que, ao observar esses sinais em curtos intervalos de tempo, pode ser observado um maior grau de previsibilidade, em relação aos grupos de vozes alteradas.

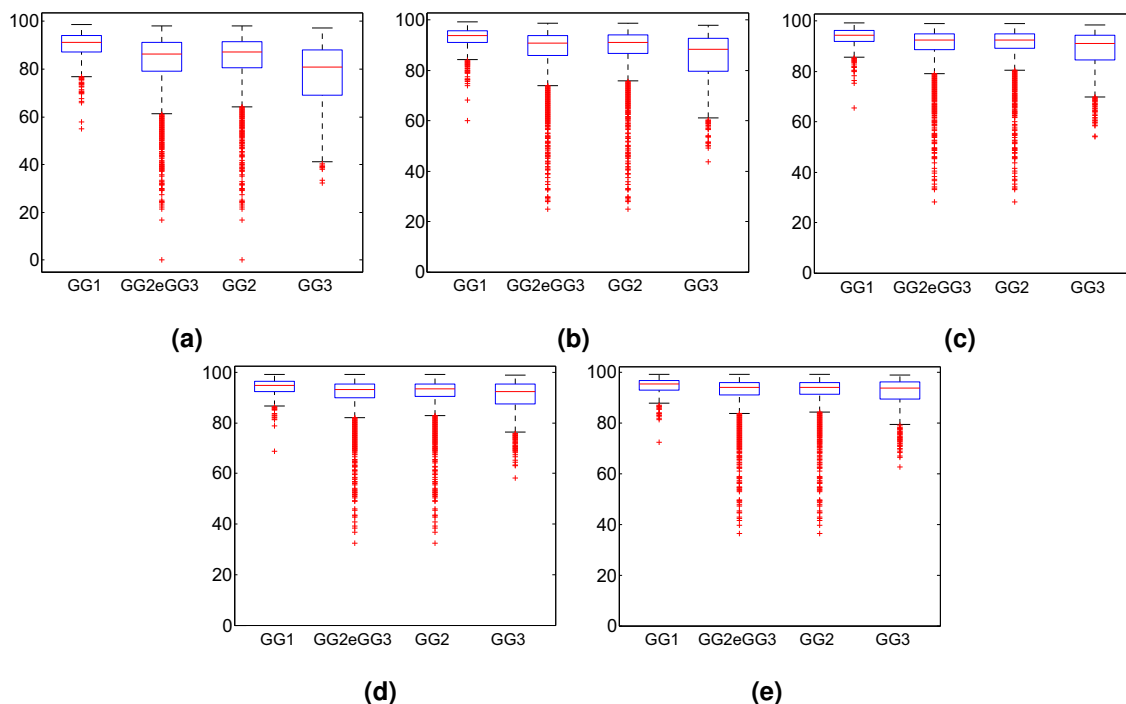


Figura B.12 – Distribuição dos valores do determinismo (*DET*), obtidos com segmentação em sinais de voz de crianças com grau geral normal (GG1), grau geral leve (GG2) e grau geral moderado (GG3), para os seguintes patamares de taxa de recorrência (*REC*): (a) $REC \leq 1\%$; (b) $REC \leq 2\%$; (c) $REC \leq 3\%$; (d) $REC \leq 4\%$; (e) $REC \leq 5\%$.

Tabela B.23 – Valores de média (μ) e desvio-padrão (σ) dos valores do determinismo (*DET*), obtidos sem segmentação em sinais de voz de crianças com grau geral normal (GG1), grau geral leve (GG2), e grau geral moderado (GG3), com a variação da taxa de recorrência (*REC*) de 1% a 5%.

Medida <i>DET</i>	Grupos de Sinais			
	GG1	GG2 e GG3	GG2	GG3
$REC \leq 1\%$	89,88 ± 5,89	83,66 ± 10,40	84,74 ± 9,56	77,85 ± 12,60
$REC \leq 2\%$	92,81 ± 4,20	88,70 ± 7,93	89,32 ± 7,40	85,38 ± 9,68
$REC \leq 3\%$	93,62 ± 3,56	90,64 ± 6,69	91,04 ± 6,33	88,53 ± 8,03
$REC \leq 4\%$	94,11 ± 3,15	91,80 ± 5,87	92,05 ± 5,65	90,47 ± 6,81
$REC \leq 5\%$	94,57 ± 2,86	92,60 ± 5,35	92,77 ± 5,20	91,71 ± 6,02

Os resultados dos testes estatísticos são apresentados na Tabela B.24, em que são apresentados os valores de significância obtidos em cada caso de discriminação. Em todos os casos de discriminação, há diferenças estatísticas significativas em todos os casos de discriminação considerados neste estudo de caso.

Tabela B.24 – Potencial discriminativo da medida *DET*, obtida com segmentação, na discriminação entre os grupos de sinais de vozes infantis.

Medida <i>DET</i>	Pares de Grupos de Sinais			
	GG1 × GG2 e GG3	GG1 × GG2	GG1 × GG3	GG2 × GG3
$REC \leq 1\%$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$
$REC \leq 2\%$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$
$REC \leq 3\%$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$
$REC \leq 4\%$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$
$REC \leq 5\%$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$

B.2.5 – Relação entre Determinismo e Taxa de Recorrência (*RATIO*)

Na Figura B.13, é apresentada a distribuição dos valores de raio de vizinhança obtidos de forma segmentada com a variação da taxa de recorrência de 1% a 5%, nos sinais de voz de crianças com grau geral normal (GG1), grau geral leve (GG2), grau geral moderado (GG3), e o conjunto de vozes alteradas, compreendido pelos graus leve e moderado (GG2 e GG3).

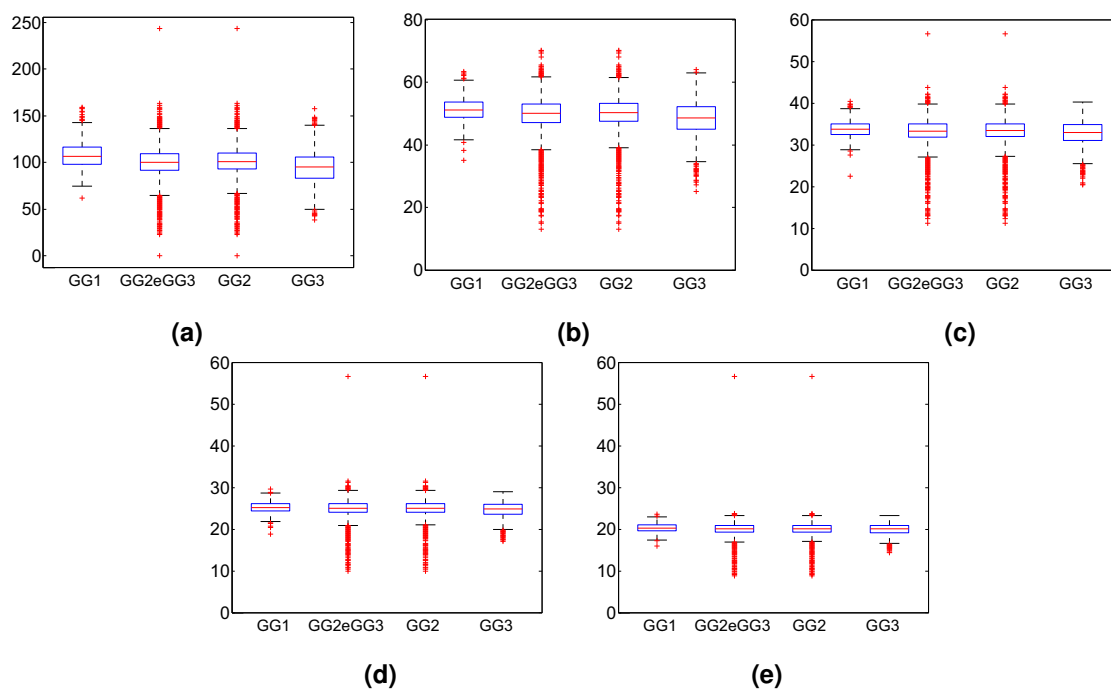


Figura B.13 – Distribuição dos valores da relação entre o determinismo e a taxa de recorrência (*RATIO*), obtidos com segmentação em sinais de voz de crianças com grau geral normal (GG1), grau geral leve (GG2) e grau geral moderado (GG3), para os seguintes patamares de taxa de recorrência (*REC*): (a) $REC \leq 1\%$; (b) $REC \leq 2\%$; (c) $REC \leq 3\%$; (d) $REC \leq 4\%$; (e) $REC \leq 5\%$.

Com o aumento da taxa de recorrência, há um aumento nos valores da relação entre determinismo e taxa de recorrência para todos os grupos. Os valores dessa medida para o grupo com grau geral leve (GG2) são mais dispersos do que aqueles para os demais grupos, e isso influencia a dispersão nos valores do conjunto dos grupos com grau geral leve e grau geral moderado (GG2 e GG3). Na Tabela B.25, estão apresentados os valores de média (μ) e de desvio-padrão (σ) nos grupos de sinais considerados para *RATIO*. Com a taxa de recorrência entre 0% e 1%, o valor médio dessa medida para o grupo com grau geral moderado não chega a 100. Os maiores valores dessa medida para o grupo de sinais de voz considerados normais indica que a formação de estruturas diagonais é uma característica mais presente nesses sinais.

Na Tabela B.26, em que são apresentados os valores de significância obtidos dos testes estatísticos. Em todos os casos de discriminação, há diferenças estatísticas significativas em todos os casos de discriminação considerados neste estudo de caso.

Tabela B.25 – Valores de média (μ) e desvio-padrão (σ) dos valores da relação entre o determinismo e a taxa de recorrência (*RATIO*), obtidos sem segmentação em sinais de voz de crianças com grau geral normal (GG1), grau geral leve (GG2), e grau geral moderado (GG3), com a variação da taxa de recorrência (*REC*) de 1% a 5%.

Medida <i>RATIO</i>	Grupos de Sinais			
	GG1	GG2 e GG3	GG2	GG3
<i>REC</i> ≤ 1%	108,15 ± 13,60	100,44 ± 15,81	101,48 ± 15,04	94,85 ± 18,44
<i>REC</i> ≤ 2%	51,24 ± 3,72	49,78 ± 5,23	50,07 ± 4,99	48,17 ± 6,11
<i>REC</i> ≤ 3%	33,83 ± 1,93	33,23 ± 2,85	33,33 ± 2,77	32,66 ± 3,19
<i>REC</i> ≤ 4%	25,22 ± 1,30	24,96 ± 1,93	25,03 ± 1,89	24,61 ± 2,07
<i>REC</i> ≤ 5%	20,21 ± 1,00	20,02 ± 1,44	20,04 ± 1,43	19,88 ± 1,45

Tabela B.26 – Potencial discriminativo da medida *RATIO*, obtida com segmentação, na discriminação entre os grupos de sinais de vozes infantis.

Medida <i>RATIO</i>	Pares de Grupos de Sinais			
	GG1 × GG2 e GG3	GG1 × GG2	GG1 × GG3	GG2 × GG3
<i>REC</i> ≤ 1%	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$
<i>REC</i> ≤ 2%	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$
<i>REC</i> ≤ 3%	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$
<i>REC</i> ≤ 4%	$p < 0,001$	$p = 0,011$	$p < 0,001$	$p < 0,001$
<i>REC</i> ≤ 5%	$p < 0,001$	$p = 0,006$	$p < 0,001$	$p = 0,003$

B.2.6 – Comprimento Médio das Linhas Diagonais (L_{med})

Na Figura B.14, é apresentada a distribuição dos valores de raio de vizinhança obtidos de forma segmentada com a variação da taxa de recorrência de 1% a 5%, nos sinais de voz de crianças com grau geral normal (GG1), grau geral leve (GG2), grau geral moderado (GG3), e o conjunto de vozes alteradas, compreendido pelos graus leve e moderado (GG2 e GG3).

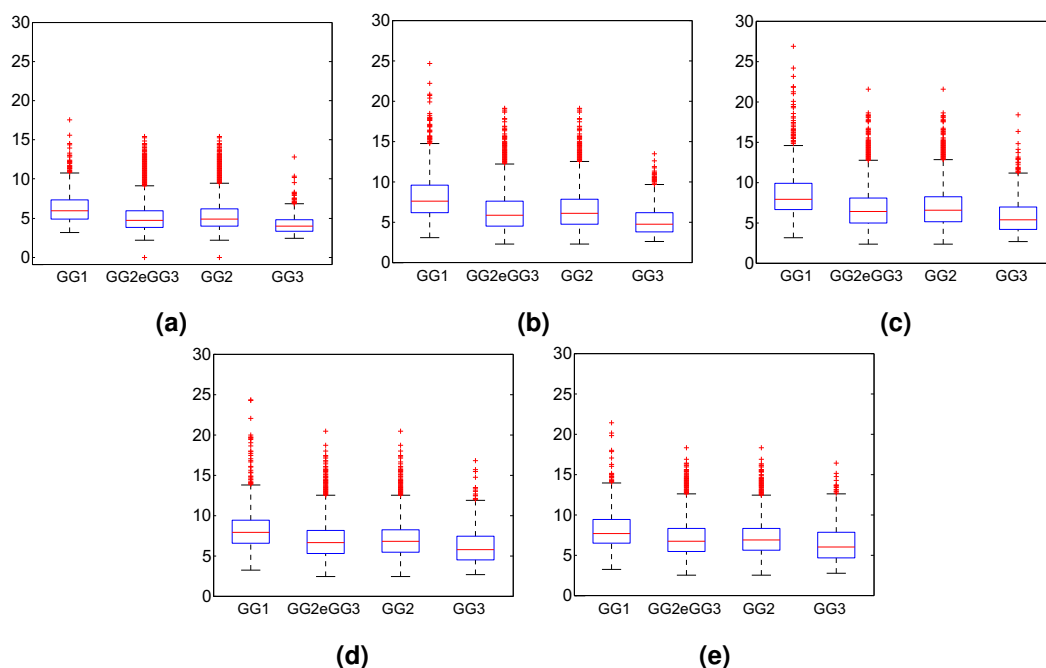


Figura B.14 – Distribuição dos valores do comprimento médio das linhas diagonais (L_{med}), obtidos com segmentação em sinais de voz de crianças com grau geral normal (GG1), grau geral leve (GG2) e grau geral moderado (GG3), para os seguintes patamares de taxa de recorrência (*REC*): (a) $REC \leq 1\%$; (b) $REC \leq 2\%$; (c) $REC \leq 3\%$; (d) $REC \leq 4\%$; (e) $REC \leq 5\%$.

O grupo de sinais com grau geral normal atinge valores dessa medida maiores do que os demais grupos, em todos os patamares de taxa de recorrência. Isso indica que para esse tipo de sinais de voz apresentam uma maior formação de estruturas diagonais, o que é reflexo de uma maior regularidade. Na Tabela B.27, estão apresentados os valores de média (μ) e de desvio-padrão (σ) nos grupos de sinais considerados para L_{med} .

Tabela B.27 – Valores de média (μ) e desvio-padrão (σ) dos valores do comprimento médio das linhas diagonais (L_{med}), obtidos sem segmentação em sinais de voz de crianças com grau geral normal (GG1), grau geral leve (GG2), e grau geral moderado (GG3), com a variação da taxa de recorrência (REC) de 1% a 5%.

Medida L_{med}	Grupos de Sinais			
	GG1	GG2 e GG3	GG2	GG3
$REC \leq 1\%$	6,33 \pm 2,04	5,16 \pm 1,83	5,35 \pm 1,87	4,19 \pm 1,11
$REC \leq 2\%$	8,31 \pm 3,11	6,29 \pm 2,31	6,49 \pm 2,34	5,20 \pm 1,79
$REC \leq 3\%$	8,66 \pm 3,16	6,74 \pm 2,36	6,91 \pm 2,36	5,84 \pm 2,17
$REC \leq 4\%$	8,39 \pm 2,72	6,89 \pm 2,22	7,02 \pm 2,19	6,19 \pm 2,23
$REC \leq 5\%$	8,12 \pm 2,40	6,97 \pm 2,10	7,07 \pm 2,05	6,42 \pm 2,24

Os resultados dos testes estatísticos são apresentados na Tabela B.28, em que são apresentados os valores de significância obtidos. Em todos os casos de discriminação, há diferenças estatísticas significativas em todos os casos de discriminação considerados neste estudo de caso.

Tabela B.28 – Potencial discriminativo da medida L_{med} , obtida com segmentação, na discriminação entre os grupos de sinais de vozes infantis.

Medida L_{med}	Pares de Grupos de Sinais			
	GG1 \times GG2 e GG3	GG1 \times GG2	GG1 \times GG3	GG2 \times GG3
$REC \leq 1\%$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$
$REC \leq 2\%$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$
$REC \leq 3\%$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$
$REC \leq 4\%$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$
$REC \leq 5\%$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$

B.2.7 – Comprimento Máximo das Linhas Diagonais (L_{max})

Na Figura B.15, é apresentada a distribuição dos valores de raio de vizinhança obtidos de forma segmentada com a variação da taxa de recorrência de 1% a 5%, nos sinais de voz de crianças com grau geral normal (GG1), grau geral leve (GG2), grau geral moderado (GG3), e o conjunto de vozes alteradas, compreendido pelos graus leve e moderado (GG2 e GG3).

Com o aumento da taxa de recorrência, os valores dessa medida para todos os grupos tende a se espalharem. Na Tabela B.29, estão apresentados os valores de média (μ) e de desvio-padrão (σ) nos grupos de sinais considerados para L_{max} . Com a taxa de recorrência entre 0% e 1%, a média do comprimento máximo das linhas diagonais para o grupo de sinais com grau geral moderado não chega a 100. Para este mesmo grupo, a média de L_{max} com a taxa de recorrência entre 1% e 2% não chega a 200. Os valores dessa medida para o grupo com grau geral normal, considerando a taxa de recorrência entre 4% e 5%, ultrapassa 600. Contudo, como ocorreu com

a medida L_{med} , os valores do comprimento máximo das linhas diagonais para o grupo de sinais com grau geral normal é maior do que aqueles para os grupos de sinais de vozes alteradas. Em análise complementar àquela realizada com a medida L_{med} , a observação dos sinais em trechos considerados estacionários indica que os sinais considerados normais tendem a apresentar mais periodicidade do que aqueles sinais de vozes alteradas.

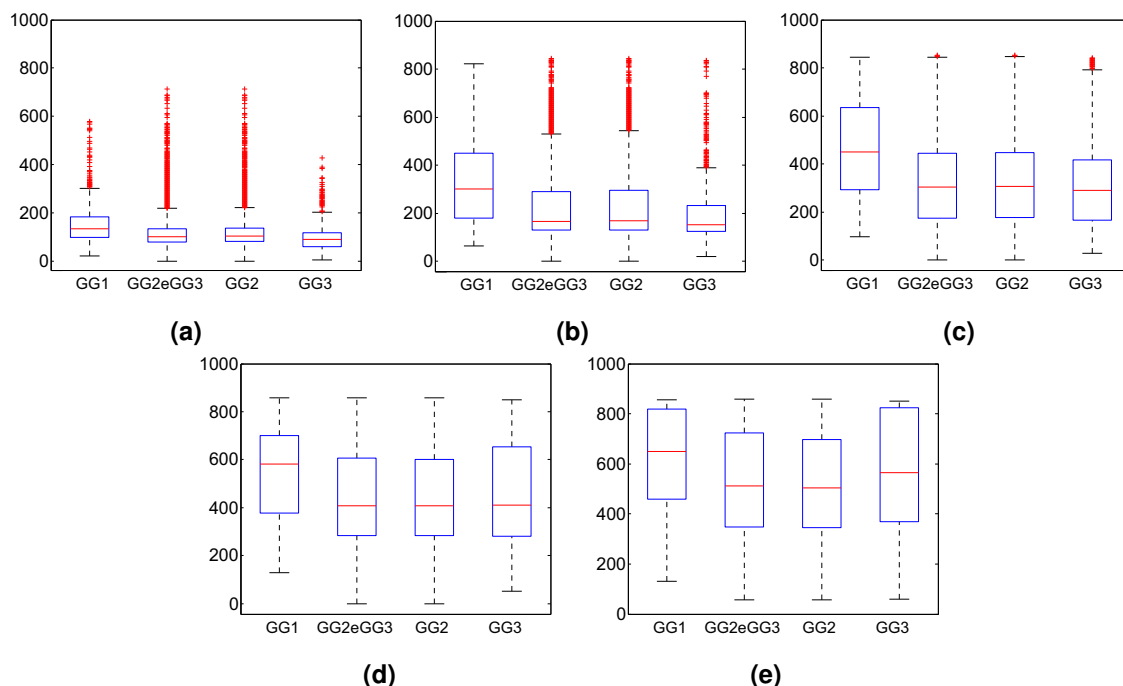


Figura B.15 – Distribuição dos valores do comprimento máximo das linhas diagonais (L_{max}), obtidos com segmentação em sinais de voz de crianças com grau geral normal (GG1), grau geral leve (GG2) e grau geral moderado (GG3), para os seguintes patamares de taxa de recorrência (REC): (a) $REC \leq 1\%$; (b) $REC \leq 2\%$; (c) $REC \leq 3\%$; (d) $REC \leq 4\%$; (e) $REC \leq 5\%$.

Tabela B.29 – Valores de média (μ) e desvio-padrão (σ) dos valores do comprimento máximo das linhas diagonais (L_{max}), obtidos sem segmentação em sinais de voz de crianças com grau geral normal (GG1), grau geral leve (GG2), e grau geral moderado (GG3), com a variação da taxa de recorrência (REC) de 1% a 5%.

Medida L_{max}	Grupos de Sinais			
	GG1	GG2 e GG3	GG2	GG3
$REC \leq 1\%$	152,96 ± 81,54	121,38 ± 75,83	126,16 ± 78,41	95,64 ± 53,21
$REC \leq 2\%$	331,73 ± 171,82	224,07 ± 138,85	229,16 ± 140,21	196,71 ± 127,94
$REC \leq 3\%$	451,59 ± 189,35	336,80 ± 186,30	338,92 ± 184,95	325,39 ± 193,13
$REC \leq 4\%$	543,62 ± 194,81	443,38 ± 214,32	439,76 ± 210,29	462,88 ± 233,94
$REC \leq 5\%$	617,03 ± 191,21	530,55 ± 220,54	523,45 ± 216,88	568,74 ± 235,75

Na Tabela B.30, são apresentados os valores de significância obtidos. Assim como ocorreu para a medida L_{med} , em todos os casos de discriminação, há diferenças estatísticas significativas em todos os casos de discriminação considerados neste estudo de caso.

Tabela B.30 – Potencial discriminativo da medida L_{max} , obtida com segmentação, na discriminação entre os grupos de sinais de vozes infantis.

Medida L_{max}	Pares de Grupos de Sinais			
	GG1 × GG2 e GG3	GG1 × GG2	GG1 × GG3	GG2 × GG3
$REC \leq 1\%$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$
$REC \leq 2\%$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$
$REC \leq 3\%$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p = 0,001$
$REC \leq 4\%$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p = 0,011$
$REC \leq 5\%$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$

B.2.8 – Divergência (DIV)

Na Figura B.16, é apresentada a distribuição dos valores de raio de vizinhança obtidos de forma segmentada com a variação da taxa de recorrência de 1% a 5%, nos sinais de voz de crianças com grau geral normal (GG1), grau geral leve (GG2), grau geral moderado (GG3), e o conjunto de vozes alteradas, compreendido pelos graus leve e moderado (GG2 e GG3).

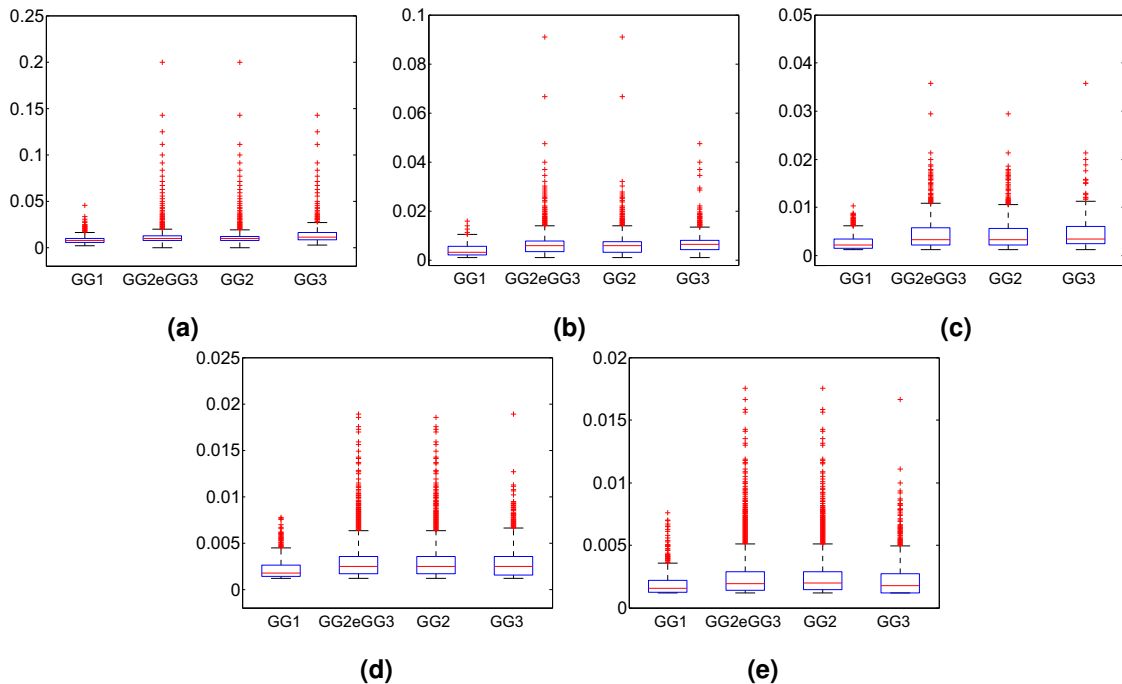


Figura B.16 – Distribuição dos valores da divergência (DIV), obtidos com segmentação em sinais de voz de crianças com grau geral normal (GG1), grau geral leve (GG2) e grau geral moderado (GG3), para os seguintes patamares de taxa de recorrência (REC): (a) $REC \leq 1\%$; (b) $REC \leq 2\%$; (c) $REC \leq 3\%$; (d) $REC \leq 4\%$; (e) $REC \leq 5\%$.

Na Tabela B.31, estão apresentados os valores de média (μ) e de desvio-padrão (σ) nos grupos de sinais considerados para essa medida. Até uma taxa de recorrência de 4%, os menores valores de DIV são aqueles para o grupo de sinais de voz de crianças com grau geral normal. Isso indicia que para os sinais de vozes alteradas (caso dos grupos com graus gerais leve e moderado), há mais divergência na trajetória no espaço de fase, ou seja, esses sinais tendem a apresentar mais comportamento caótico.

Tabela B.31 – Valores de média (μ) e desvio-padrão (σ) dos valores da divergência (*DIV*), obtidos sem segmentação em sinais de voz de crianças com grau geral normal (GG1), grau geral leve (GG2), e grau geral moderado (GG3), com a variação da taxa de recorrência (*REC*) de 1% a 5%.

Medida <i>DIV</i>	Grupos de Sinais			
	GG1	GG2 e GG3	GG2	GG3
<i>REC</i> ≤ 1%	0,008 ± 0,004	0,023 ± 0,124	0,028 ± 0,137	0,015 ± 0,014
<i>REC</i> ≤ 2%	0,004 ± 0,002	0,008 ± 0,072	0,009 ± 0,078	0,007 ± 0,004
<i>REC</i> ≤ 3%	0,003 ± 0,002	0,008 ± 0,072	0,009 ± 0,078	0,004 ± 0,003
<i>REC</i> ≤ 4%	0,002 ± 0,001	0,008 ± 0,071	0,009 ± 0,077	0,003 ± 0,002
<i>REC</i> ≤ 5%	0,002 ± 0,001	0,002 ± 0,002	0,002 ± 0,002	0,002 ± 0,002

Os resultados dos testes estatísticos são apresentados na Tabela B.32, em que são apresentados os valores de significância obtidos em cada caso de discriminação. Em todos os casos de discriminação, há diferenças estatísticas significativas em todos os casos de discriminação considerados neste estudo de caso.

Tabela B.32 – Potencial discriminativo da medida *DIV*, obtida com segmentação, na discriminação entre os grupos de sinais de vozes infantis.

Medida <i>DIV</i>	Pares de Grupos de Sinais			
	GG1 × GG2 e GG3	GG1 × GG2	GG1 × GG3	GG2 × GG3
<i>REC</i> ≤ 1%	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$
<i>REC</i> ≤ 2%	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$
<i>REC</i> ≤ 3%	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p = 0,001$
<i>REC</i> ≤ 4%	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p = 0,011$
<i>REC</i> ≤ 5%	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$

B.2.9 – Entropia de Shannon (*ENTR*)

Na Figura B.17, é apresentada a distribuição dos valores da entropia de Shannon da frequência de distribuição das linhas diagonais, obtidos de forma segmentada com a variação da taxa de recorrência de 1% a 5%, nos sinais de voz de crianças com grau geral normal (GG1), grau geral leve (GG2), grau geral moderado (GG3), e o conjunto de vozes alteradas, compreendido pelos graus leve e moderado (GG2 e GG3).

Até o patamar de taxa de recorrência de 3%, é possível notar a partir da Figura B.17 que a concentração dos valores de *ENTR* para o grupo com grau geral normal é ligeiramente mais elevada que a dos demais grupos de sinais. Na Tabela B.33, estão apresentados os valores de média (μ) e de desvio-padrão (σ) nos grupos de sinais considerados para essa medida. Em todos os patamares de taxa de recorrência, os valores médios da entropia de Shannon para o grupo GG1 são maiores que aqueles dos demais grupos. Além disso, a partir de uma taxa de recorrência acima de 1%, apenas para esse grupo de sinais é que a entropia tem valor médio acima de 2.

Os resultados dos testes estatísticos são apresentados na Tabela B.34, em que são apresentados os valores de significância obtidos. Em praticamente todos os casos de discriminação há diferenças estatísticas significativas entre os grupos de sinais de voz considerados. A exceção está no caso de discriminação entre o grupo de sinais de vozes infantis

com grau geral leve (GG2) e o grupo de sinais de vozes infantis com grau geral moderado (GG3), com taxa de recorrência entre 4% e 5%. Contudo, a medida *ENTR* tem potencial discriminativo nesse estudo de caso.

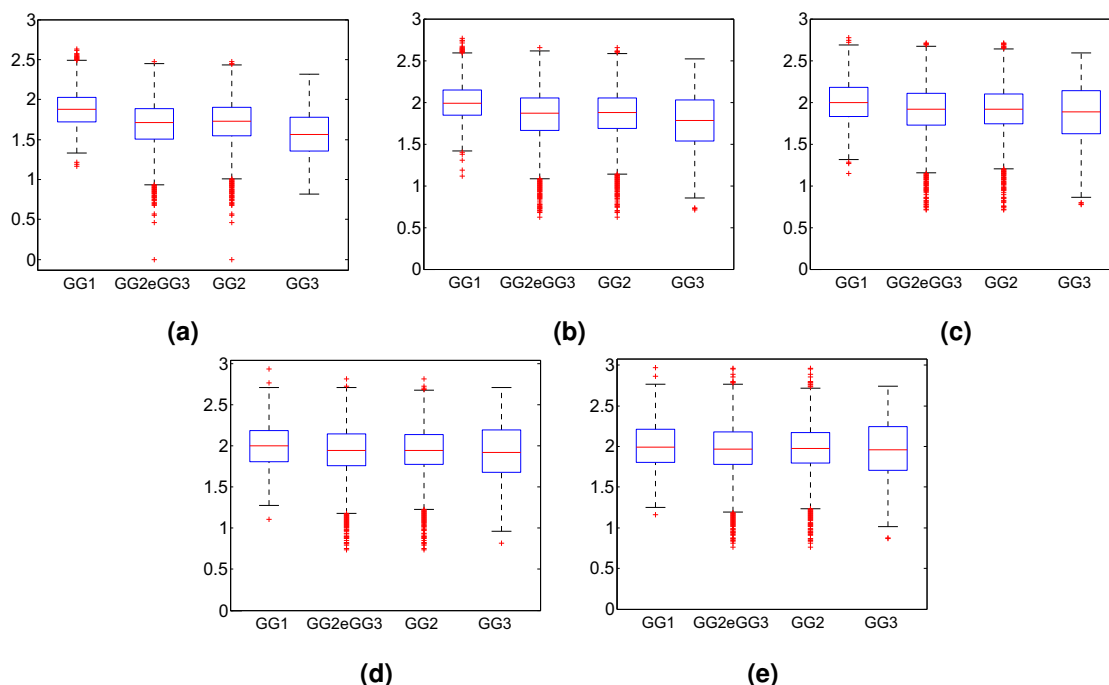


Figura B.17 – Distribuição dos valores da entropia de Shannon (*ENTR*), obtidos com segmentação em sinais de voz de crianças com grau geral normal (GG1), grau geral leve (GG2) e grau geral moderado (GG3), para os seguintes patamares de taxa de recorrência (*REC*): (a) $REC \leq 1\%$; (b) $REC \leq 2\%$; (c) $REC \leq 3\%$; (d) $REC \leq 4\%$; (e) $REC \leq 5\%$.

Tabela B.33 – Valores de média (μ) e desvio-padrão (σ) dos valores da entropia de Shannon (*ENTR*), obtidos sem segmentação em sinais de voz de crianças com grau geral normal (GG1), grau geral leve (GG2), e grau geral moderado (GG3), com a variação da taxa de recorrência (*REC*) de 1% a 5%.

Medida <i>ENTR</i>	Grupos de Sinais			
	GG1	GG2 e GG3	GG2	GG3
$REC \leq 1\%$	$1,89 \pm 0,25$	$1,69 \pm 0,28$	$1,71 \pm 0,27$	$1,57 \pm 0,29$
$REC \leq 2\%$	$2,01 \pm 0,25$	$1,84 \pm 0,29$	$1,86 \pm 0,28$	$1,77 \pm 0,33$
$REC \leq 3\%$	$2,01 \pm 0,25$	$1,90 \pm 0,29$	$1,91 \pm 0,28$	$1,87 \pm 0,34$
$REC \leq 4\%$	$2,00 \pm 0,26$	$1,94 \pm 0,29$	$1,94 \pm 0,28$	$1,92 \pm 0,34$
$REC \leq 5\%$	$2,01 \pm 0,29$	$1,97 \pm 0,30$	$1,98 \pm 0,29$	$1,97 \pm 0,34$

Tabela B.34 – Potencial discriminativo da medida *ENTR*, obtida com segmentação, na discriminação entre os grupos de sinais de vozes infantis.

Medida <i>ENTR</i>	Pares de Grupos de Sinais			
	GG1 × GG2 e GG3	GG1 × GG2	GG1 × GG3	GG2 × GG3
$REC \leq 1\%$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$
$REC \leq 2\%$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$
$REC \leq 3\%$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$
$REC \leq 4\%$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p = 0,032$
$REC \leq 5\%$	$p = 0,008$	$p = 0,014$	$p = 0,006$	$p = 0,279^*$

* $p > 0,05$.

B.2.10 – Laminaridade (*LAM*)

Na Figura B.18, é apresentada a distribuição dos valores da laminaridade, obtidos de forma segmentada com a variação da taxa de recorrência de 1% a 5%, nos sinais de voz de crianças com grau geral normal (GG1), grau geral leve (GG2), grau geral moderado (GG3), e o conjunto de vozes alteradas, compreendido pelos graus leve e moderado (GG2 e GG3).

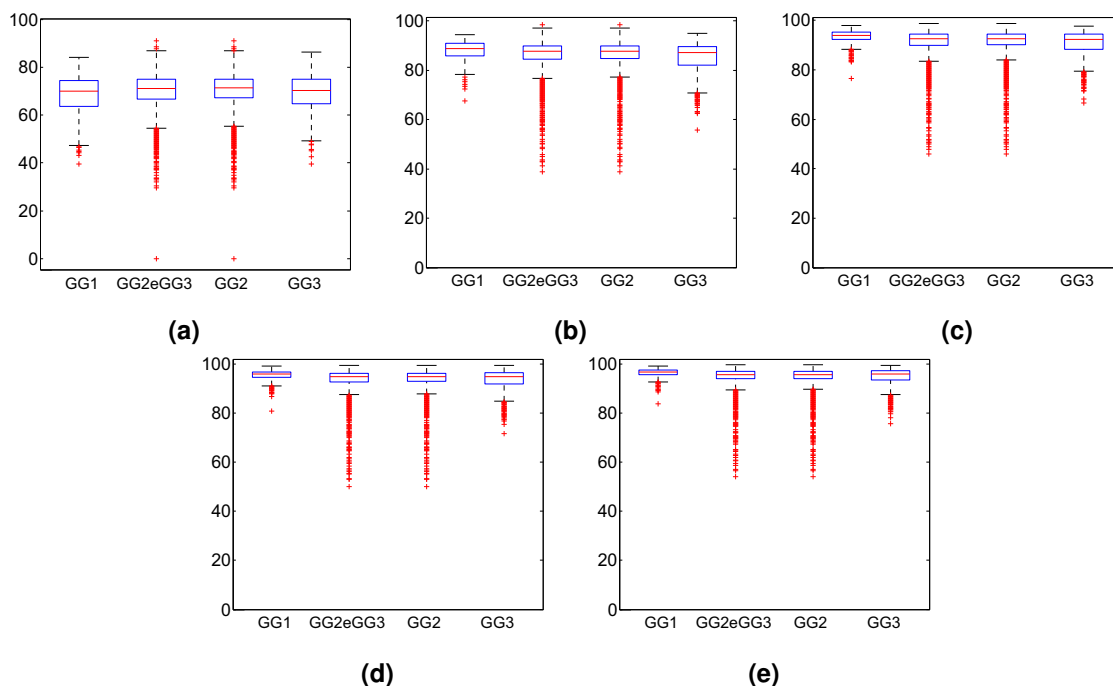


Figura B.18 – Distribuição dos valores da laminaridade (*LAM*), obtidos com segmentação em sinais de voz de crianças com grau geral normal (GG1), grau geral leve (GG2) e grau geral moderado (GG3), para os seguintes patamares de taxa de recorrência (*REC*): (a) $REC \leq 1\%$; (b) $REC \leq 2\%$; (c) $REC \leq 3\%$; (d) $REC \leq 4\%$; (e) $REC \leq 5\%$.

Com o aumento da taxa de recorrência, os valores de laminaridade para todos os grupos de sinais considerados tendem à saturação. Entretanto, o comportamento dessa medida no grupo com grau geral normal indica que para a taxa de recorrência entre 0% e 1% os seus valores são mais menores e mais dispersos do que nos demais patamares de *REC*. O que indica que com menores valores de taxa de recorrência é possível identificar a maior presença de estados laminares em sinais de vozes alteradas. Na Tabela B.35, estão apresentados os valores de média (μ) e de desvio-padrão (σ) nos grupos de sinais considerados para essa medida. O grupo GG1 atinge o maior valor médio de laminaridade com a taxa de recorrência entre 4% e 5%, em comparação com os demais grupos envolvidos neste estudo de caso. Esse comportamento pode estar relacionado à variedade de sinais nos grupos de vozes alteradas, nos quais o comportamento caótico pode ter sido “mascarado” pelo aumento da taxa de recorrência e pela observação em conjunto de diferentes fatores (tais como rugosidade, soprosidade, tensão e instabilidade) não abordados nesta pesquisa.

Os resultados dos testes estatísticos são apresentados na Tabela B.36, em que são apresentados os valores de significância obtidos. Em quase todos os casos de discriminação há

diferenças estatísticas significativas entre os grupos de sinais considerados neste estudo de caso. Há exceções no caso de discriminação entre o grupo de sinais com grau geral leve e o grupo de sinais com grau geral moderado, com taxa de recorrência entre 3% e 5%.

Tabela B.35 – Valores de média (μ) e desvio-padrão (σ) dos valores da laminaridade (LAM), obtidos sem segmentação em sinais de voz de crianças com grau geral normal (GG1), grau geral leve (GG2), e grau geral moderado (GG3), com a variação da taxa de recorrência (REC) de 1% a 5%.

Medida LAM	Grupos de Sinais			
	GG1	GG2 e GG3	GG2	GG3
$REC \leq 1\%$	68,61 \pm 8,02	70,46 \pm 6,77	70,64 \pm 6,62	69,44 \pm 7,45
$REC \leq 2\%$	88,21 \pm 3,58	86,47 \pm 5,21	86,70 \pm 4,99	85,23 \pm 6,11
$REC \leq 3\%$	93,56 \pm 2,39	91,56 \pm 4,51	91,71 \pm 4,36	90,73 \pm 5,14
$REC \leq 4\%$	95,47 \pm 1,86	93,81 \pm 3,89	93,89 \pm 3,81	93,37 \pm 4,27
$REC \leq 5\%$	96,39 \pm 1,57	95,01 \pm 3,46	95,06 \pm 3,41	94,77 \pm 3,71

Tabela B.36 – Potencial discriminativo da medida LAM , obtida com segmentação, na discriminação entre os grupos de sinais de vozes infantis.

Medida LAM	Pares de Grupos de Sinais			
	GG1 \times GG2 e GG3	GG1 \times GG2	GG1 \times GG3	GG2 \times GG3
$REC \leq 1\%$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$
$REC \leq 2\%$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$
$REC \leq 3\%$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$
$REC \leq 4\%$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p = 0,372^*$
$REC \leq 5\%$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p = 0,298^*$

* $p > 0,05$.

B.2.11 – Tempo de Permanência (TT)

Na Figura B.19, é apresentada a distribuição dos valores da medida tempo de permanência (*Trapping Time* – TT), obtidos de forma segmentada com a variação da taxa de recorrência de 1% a 5%, nos sinais de voz de crianças com grau geral normal (GG1), grau geral leve (GG2), grau geral moderado (GG3), e o conjunto de vozes alteradas, compreendido pelos graus leve e moderado (GG2 e GG3).

Na Tabela B.37, estão apresentados os valores de média (μ) e de desvio-padrão (σ) nos grupos de sinais considerados para essa medida. Os menores valores médios de TT são para o grupo de sinais de vozes de crianças com grau geral normal, com a taxa de recorrência entre 0% e 1%. Isso indica que a formação de estruturas verticais é mais presente em sinais de vozes alteradas, como é o caso dos grupos com graus gerais leve e moderado, considerando esse patamar de taxa de recorrência. O comportamento dessa medida é semelhante ao observado com a medida LAM .

Na Tabela B.38, em que são apresentados os valores de significância obtidos dos testes estatísticos. Em quase todos os casos de discriminação, há diferenças estatísticas significativas entre os grupos de sinais considerados (Tabela B.38). Há exceção nos seguintes casos: discriminação entre o grupo de sinais de voz com grau geral normal (GG1) e o conjunto dos grupos de sinais com grau geral leve e com grau geral moderado (GG2 e GG3), com taxa de

recorrência entre 1% e 2%; discriminação entre o grupo de sinais de voz com grau geral normal eo grupo de sinais de voz com grau geral leve (GG2); e discriminação entre o grupo de sinais de voz com grau geral leve e grau geral moderado (GG3), com taxa de recorrência entre 4% e 5%.

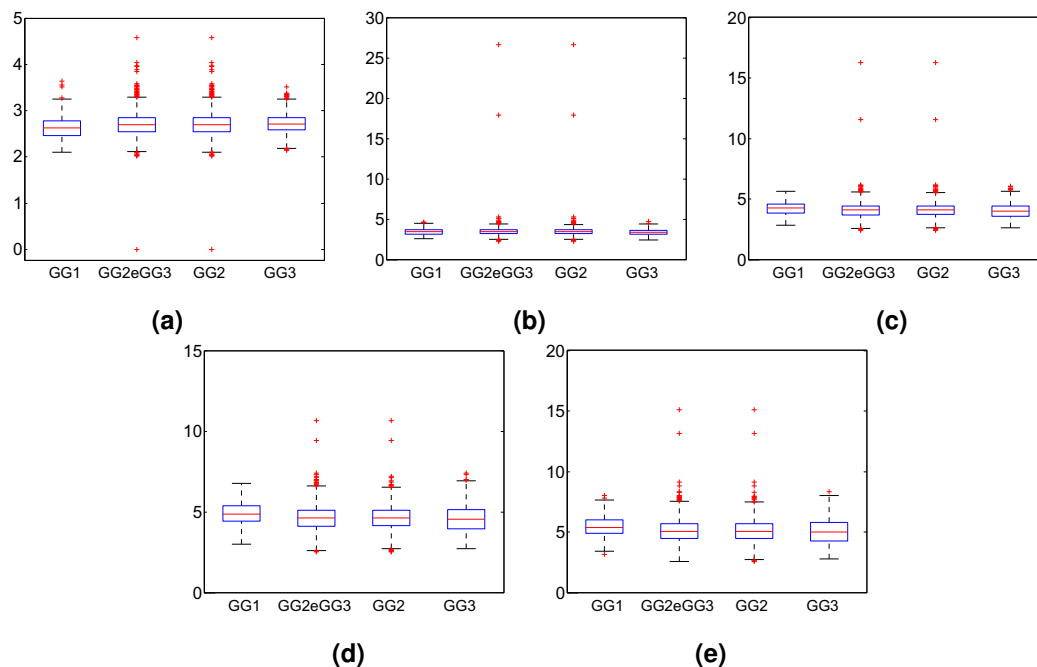


Figura B.19 – Distribuição dos valores do tempo de permanência (*TT*), obtidos com segmentação em sinais de voz de crianças com grau geral normal (GG1), grau geral leve (GG2) e grau geral moderado (GG3), para os seguintes patamares de taxa de recorrência (*REC*): (a) $REC \leq 1\%$; (b) $REC \leq 2\%$; (c) $REC \leq 3\%$; (d) $REC \leq 4\%$; (e) $REC \leq 5\%$.

Tabela B.37 – Valores de média (μ) e desvio-padrão (σ) dos valores do tempo de permanência (*TT*), obtidos sem segmentação em sinais de voz de crianças com grau geral normal (GG1), grau geral leve (GG2), e grau geral moderado (GG3), com a variação da taxa de recorrência (*REC*) de 1% a 5%.

Medida <i>TT</i>	Grupos de Sinais			
	GG1	GG2 e GG3	GG2	GG3
$REC \leq 1\%$	2,62 ± 0,24	2,70 ± 0,23	2,70 ± 0,23	2,72 ± 0,20
$REC \leq 2\%$	3,45 ± 0,36	3,44 ± 0,48	3,44 ± 0,49	3,40 ± 0,40
$REC \leq 3\%$	4,22 ± 0,49	4,07 ± 0,58	4,09 ± 0,58	4,01 ± 0,61
$REC \leq 4\%$	4,88 ± 0,64	4,62 ± 0,74	4,63 ± 0,73	4,56 ± 0,79
$REC \leq 5\%$	5,41 ± 0,79	5,08 ± 0,90	5,09 ± 0,89	5,04 ± 0,97

Tabela B.38 – Potencial discriminativo da medida *TT*, obtida com segmentação, na discriminação entre os grupos de sinais de vozes infantis.

Medida <i>TT</i>	Pares de Grupos de Sinais			
	GG1 × GG2 e GG3	GG1 × GG2	GG1 × GG3	GG2 × GG3
$REC \leq 1\%$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p = 0,002$
$REC \leq 2\%$	$p = 0,188^*$	$p = 0,466^*$	$p < 0,001$	$p < 0,001$
$REC \leq 3\%$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$
$REC \leq 4\%$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p = 0,006$
$REC \leq 5\%$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p = 0,088^*$

* $p > 0,05$.

B.2.12 – Comprimento Máximo das Linhas Verticais (V_{max})

Na Figura B.20, é apresentada a distribuição dos valores do comprimento máximo das linhas verticais, obtidos de forma segmentada com a variação da taxa de recorrência de 1% a 5%, nos sinais de voz de crianças com grau geral normal (GG1), grau geral leve (GG2), grau geral moderado (GG3), e o conjunto de vozes alteradas, compreendido pelos graus leve e moderado (GG2 e GG3).

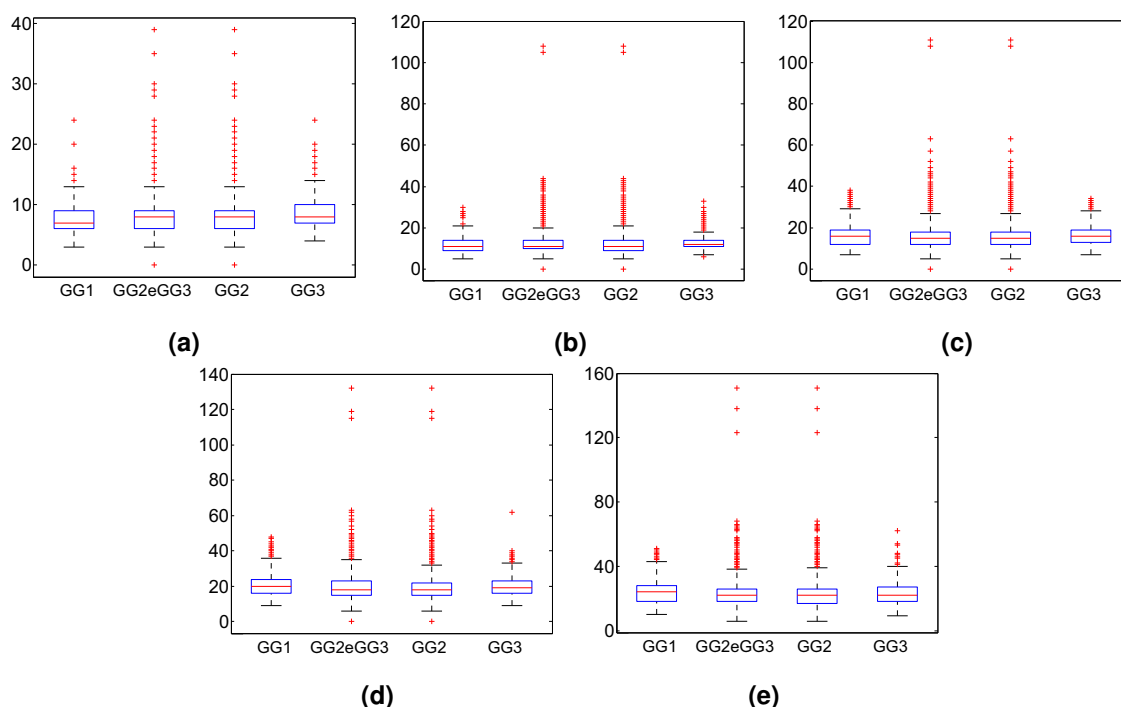


Figura B.20 – Distribuição dos valores do comprimento máximo das linhas verticais (V_{max}), obtidos com segmentação em sinais de voz de crianças com grau geral normal (GG1), grau geral leve (GG2) e grau geral moderado (GG3), para os seguintes patamares de taxa de recorrência (REC): (a) $REC \leq 1\%$; (b) $REC \leq 2\%$; (c) $REC \leq 3\%$; (d) $REC \leq 4\%$; (e) $REC \leq 5\%$.

Para o grupo de sinais com grau geral leve, há maior dispersão dos valores de V_{max} do que nos demais grupos considerados neste estudo de caso. Na Tabela B.39, estão apresentados os valores de média (μ) e de desvio-padrão (σ) nos grupos de sinais considerados para essa medida. Com a taxa de recorrência entre 4% e 5%, o maior valor médio do comprimento máximo das linhas verticais é para o grupos de sinais de vozes infantis com grau geral normal (GG1). O comportamento dessa medida é semelhante ao observado nas medidas LAM e TT . A variedade dos sinais de vozes alteradas pode ter “escondido”, com o aumento da taxa de recorrência, a presença de estados laminares nesses sinais.

Os resultados dos testes estatísticos são apresentados na Tabela B.40, em que são apresentados os valores de significância obtidos. Na maioria dos casos de discriminação há diferenças estatísticas significativas entre os grupos de sinais considerados. Há exceções nos seguintes casos: discriminação entre o grupo de sinais com grau geral normal e o grupo de sinais com grau geral leve, com taxa de recorrência entre 1% e 2%; e discriminação entre o grupo

de sinais com grau geral normal e o grupo de sinais com grau geral moderado, com taxa de recorrência entre 2% e 4%.

Tabela B.39 – Valores de média (μ) e desvio-padrão (σ) dos valores do comprimento máximo das linhas verticais (V_{max}), obtidos sem segmentação em sinais de voz de crianças com grau geral normal (GG1), grau geral leve (GG2), e grau geral moderado (GG3), com a variação da taxa de recorrência (REC) de 1% a 5%.

Medida V_{max}	Grupos de Sinais			
	GG1	GG2 e GG3	GG2	GG3
$REC \leq 1\%$	7,41 \pm 2,33	8,01 \pm 2,40	7,89 \pm 2,45	8,64 \pm 1,97
$REC \leq 2\%$	11,62 \pm 3,53	12,06 \pm 4,08	11,94 \pm 4,21	12,75 \pm 3,22
$REC \leq 3\%$	16,23 \pm 5,23	15,86 \pm 5,29	15,74 \pm 5,44	16,51 \pm 4,35
$REC \leq 4\%$	20,48 \pm 6,51	19,38 \pm 6,45	19,26 \pm 6,61	20,00 \pm 5,48
$REC \leq 5\%$	24,08 \pm 7,52	22,51 \pm 7,54	22,41 \pm 7,74	23,09 \pm 6,34

Tabela B.40 – Potencial discriminativo da medida V_{max} , obtida com segmentação, na discriminação entre os grupos de sinais de vozes infantis.

Medida V_{max}	Pares de Grupos de Sinais			
	GG1 \times GG2 e GG3	GG1 \times GG2	GG1 \times GG3	GG2 \times GG3
$REC \leq 1\%$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$
$REC \leq 2\%$	$p = 0,013$	$p = 0,274^*$	$p < 0,001$	$p < 0,001$
$REC \leq 3\%$	$p = 0,016$	$p < 0,001$	$p = 0,071^*$	$p < 0,001$
$REC \leq 4\%$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p = 0,072^*$	$p < 0,001$
$REC \leq 5\%$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p = 0,001$	$p < 0,001$

* $p > 0,05$.

B.2.13 – Tempo de Recorrência do Tipo 1 (T^1)

Na Figura B.21, é apresentada a distribuição dos valores do tempo de recorrência do tipo 1, obtidos de forma segmentada com a variação da taxa de recorrência de 1% a 5%, nos sinais de voz de crianças com grau geral normal (GG1), grau geral leve (GG2), grau geral moderado (GG3), e o conjunto de vozes alteradas, compreendido pelos graus leve e moderado (GG2 e GG3).

Com a taxa de recorrência até 3%, é possível notar, a partir da Figura B.21, que a distribuição do tempo de recorrência do tipo 1 atinge, ligeiramente, maiores valores para o grupo de sinais de voz de crianças com grau geral normal, se comparado com os demais grupos. Para todos os grupos, os valores dessa medida são acentuados com o aumento da taxa de recorrência. Essa diminuição dos valores de T^1 é resultado do aumento nos valores do raio de vizinhança, fazendo com que os pontos de recorrência (os estados recorrentes) possam pertencer a mais de uma vizinhança, pertencendo por um tempo menor ao raio de vizinhança do estado anterior. Esses pontos são chamados de pontos de permanência temporária (*sojourn points*) [112]. A concentração de valores maiores dessa medida está no grupo dos sinais de vozes consideradas normais, indicando maior regularidade desses sinais. Na Tabela B.41, estão apresentados os valores de média (μ) e de desvio-padrão (σ) nos grupos de sinais considerados para essa medida.

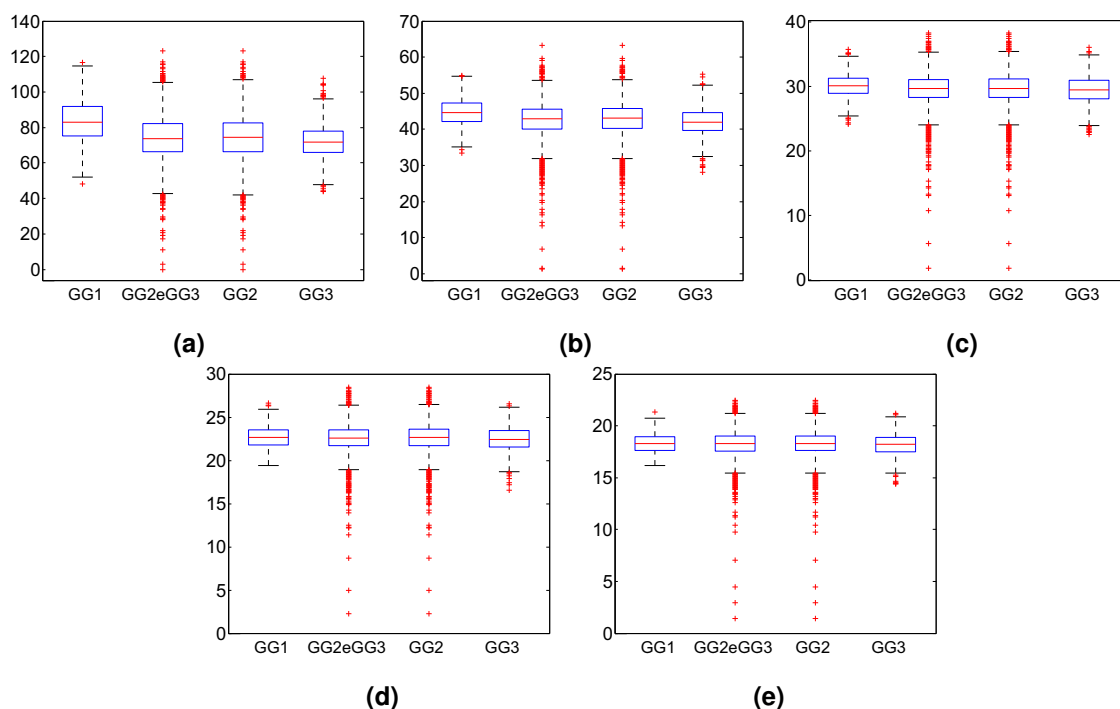


Figura B.21 – Distribuição dos valores do tempo de recorrência do tipo 1 (T^1), obtidos com segmentação em sinais de voz de crianças com grau geral normal (GG1), grau geral leve (GG2) e grau geral moderado (GG3), para os seguintes patamares de taxa de recorrência (REC): (a) $REC \leq 1\%$; (b) $REC \leq 2\%$; (c) $REC \leq 3\%$; (d) $REC \leq 4\%$; (e) $REC \leq 5\%$.

Tabela B.41 – Valores de média (μ) e desvio-padrão (σ) dos valores do tempo de recorrência do tipo 1 (T^1), obtidos sem segmentação em sinais de voz de crianças com grau geral normal (GG1), grau geral leve (GG2), e grau geral moderado (GG3), com a variação da taxa de recorrência (REC) de 1% a 5%.

Medida T^1	Grupos de Sinais			
	GG1	GG2 e GG3	GG2	GG3
$REC \leq 1\%$	$83,50 \pm 11,72$	$74,06 \pm 11,87$	$74,41 \pm 12,22$	$72,22 \pm 9,57$
$REC \leq 2\%$	$44,70 \pm 3,51$	$42,60 \pm 4,41$	$42,68 \pm 4,51$	$42,15 \pm 3,79$
$REC \leq 3\%$	$30,13 \pm 1,81$	$29,58 \pm 2,35$	$29,59 \pm 2,40$	$29,52 \pm 2,10$
$REC \leq 4\%$	$22,68 \pm 1,24$	$22,59 \pm 1,56$	$22,61 \pm 1,59$	$22,46 \pm 1,37$
$REC \leq 5\%$	$18,28 \pm 0,89$	$18,28 \pm 1,17$	$18,30 \pm 1,19$	$18,22 \pm 1,01$

Os resultados dos testes estatísticos são apresentados na Tabela B.42. Há diferenças estatísticas significativas na maioria dos casos de discriminação. Há exceções nos seguintes casos: discriminação entre o grupo de sinais com grau geral normal (GG1) e o conjunto dos grupos de sinais com grau geral leve e com grau geral moderado (GG2 e GG3), com taxa de recorrência entre 4% e 5%; discriminação entre o grupo de sinais com grau geral normal e o grupo de sinais com grau geral leve (GG2), com taxa de recorrência entre 3% e 5%; e discriminação entre o grupo de sinais com grau geral leve e o grupo de sinais com grau geral moderado (GG3), com taxa de recorrência entre 4% e 5%.

Tabela B.42 – Potencial discriminativo da medida T^1 , obtida com segmentação, na discriminação entre os grupos de sinais de vozes infantis.

Medida T^1	Pares de Grupos de Sinais			
	GG1 × GG2 e GG3	GG1 × GG2	GG1 × GG3	GG2 × GG3
$REC \leq 1\%$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$
$REC \leq 2\%$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$
$REC \leq 3\%$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p = 0,024$
$REC \leq 4\%$	$p = 0,026$	$p = 0,101^*$	$p < 0,001$	$p < 0,001$
$REC \leq 5\%$	$p = 0,906^*$	$p = 0,603^*$	$p = 0,102^*$	$p = 0,010$

* $p > 0,05$.

B.2.14 – Tempo de Recorrência do Tipo 2 (T^2)

Na Figura B.22, é apresentada a distribuição dos valores do tempo de recorrência do tipo 2, obtidos de forma segmentada com a variação da taxa de recorrência de 1% a 5%, nos sinais de voz de crianças com grau geral normal (GG1), grau geral leve (GG2), grau geral moderado (GG3), e o conjunto de vozes alteradas, compreendido pelos graus leve e moderado (GG2 e GG3).

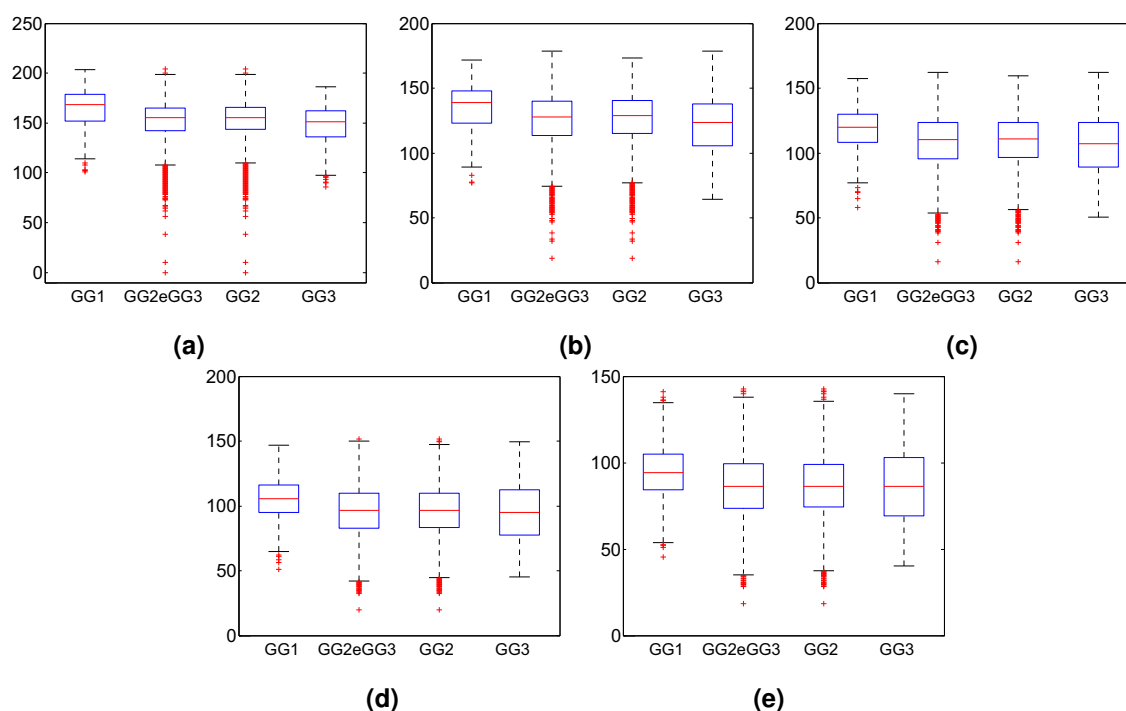


Figura B.22 – Distribuição dos valores do tempo de recorrência do tipo 2 (T^2), obtidos com segmentação em sinais de voz de crianças com grau geral normal (GG1), grau geral leve (GG2) e grau geral moderado (GG3), para os seguintes patamares de taxa de recorrência (REC): (a) $REC \leq 1\%$; (b) $REC \leq 2\%$; (c) $REC \leq 3\%$; (d) $REC \leq 4\%$; (e) $REC \leq 5\%$.

Assim como para a medida T^1 , T^2 diminui com o aumento da taxa de recorrência. Em todos os patamares de REC , os maiores valores da medida do tempo de recorrência do tipo 2 são aqueles para o grupo de sinais com grau geral normal, como é mostrado na Tabela B.43, em que estão apresentados os valores de média (μ) e de desvio-padrão (σ) nos grupos de sinais considerados para essa medida. Para uma taxa de recorrência entre 3% e 4%, apenas o grupo

GG1 ultrapassa o valor médio 100 de T^2 . Esse mesmo grupo é o único que ultrapassa o valor médio de 90 para T^2 com a taxa de recorrência entre 4% e 5%.

Tabela B.43 – Valores de média (μ) e desvio-padrão (σ) dos valores do tempo de recorrência do tipo 2 (T^2), obtidos sem segmentação em sinais de voz de crianças com grau geral normal (GG1), grau geral leve (GG2), e grau geral moderado (GG3), com a variação da taxa de recorrência (REC) de 1% a 5%.

Medida T^2	Grupos de Sinais			
	GG1	GG2 e GG3	GG2	GG3
$REC \leq 1\%$	165,25 \pm 17,57	152,05 \pm 19,19	152,78 \pm 19,18	148,14 \pm 18,77
$REC \leq 2\%$	136,22 \pm 15,97	125,69 \pm 20,15	126,45 \pm 19,70	121,56 \pm 22,01
$REC \leq 3\%$	119,11 \pm 15,47	108,83 \pm 20,28	109,34 \pm 19,75	106,10 \pm 22,75
$REC \leq 4\%$	105,40 \pm 15,33	96,14 \pm 19,52	96,44 \pm 18,97	94,52 \pm 22,20
$REC \leq 5\%$	94,77 \pm 15,31	86,45 \pm 18,67	86,56 \pm 18,16	85,90 \pm 21,22

Na Tabela B.44, são apresentados os valores de significância obtidos dos testes estatísticos realizados com T^1 . Em praticamente todos os casos de discriminação há diferenças estatísticas significativas entre os grupos de sinais considerados. Há exceção apenas no caso de discriminação entre o grupo de sinais com grau geral leve e o grupo de sinais com grau geral moderado, com taxa de recorrência entre 4% e 5%.

Tabela B.44 – Potencial discriminativo da medida T^2 , obtida com segmentação, na discriminação entre os grupos de sinais de vozes infantis.

Medida T^2	Pares de Grupos de Sinais			
	GG1 \times GG2 e GG3	GG1 \times GG2	GG1 \times GG3	GG2 \times GG3
$REC \leq 1\%$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$
$REC \leq 2\%$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$
$REC \leq 3\%$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$
$REC \leq 4\%$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p = 0,002$
$REC \leq 5\%$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p = 0,230^*$

* $p > 0,05$.

B.2.15 – Entropia do Tempo de Recorrência do Tipo 1 ($RPDE$)

Na Figura B.23, é apresentada a distribuição dos valores da entropia do tempo de recorrência do tipo 1, obtidos de forma segmentada com a variação da taxa de recorrência de 1% a 5%, nos sinais de voz de crianças com grau geral normal (GG1), grau geral leve (GG2), grau geral moderado (GG3), e o conjunto de vozes alteradas, compreendido pelos graus leve e moderado (GG2 e GG3).

Com a taxa de recorrência até 2%, a concentração de valores dessa medida para o grupo dos sinais com grau geral normal é menor em relação aos demais grupos. Com o aumento da taxa de recorrência, os valores de $RPDE$ para o grupo GG1 tendem a serem maiores dos que aqueles para os demais grupos de sinais. Na Tabela B.45, estão apresentados os valores de média (μ) e de desvio-padrão (σ) nos grupos de sinais considerados para a entropia do tempo de recorrência do tipo 1.

Os resultados dos testes estatísticos são apresentados na Tabela B.46, em que são apresentados os valores de significância obtidos. Em praticamente todos os casos de

discriminação, há diferenças estatísticas significativas entre os grupos de sinais considerados neste estudo de caso. Há exceção apenas no caso de discriminação entre o grupo de sinais com grau geral leve e o grupo de sinais com grau geral moderado, com taxa de recorrência entre 3% e 4%.

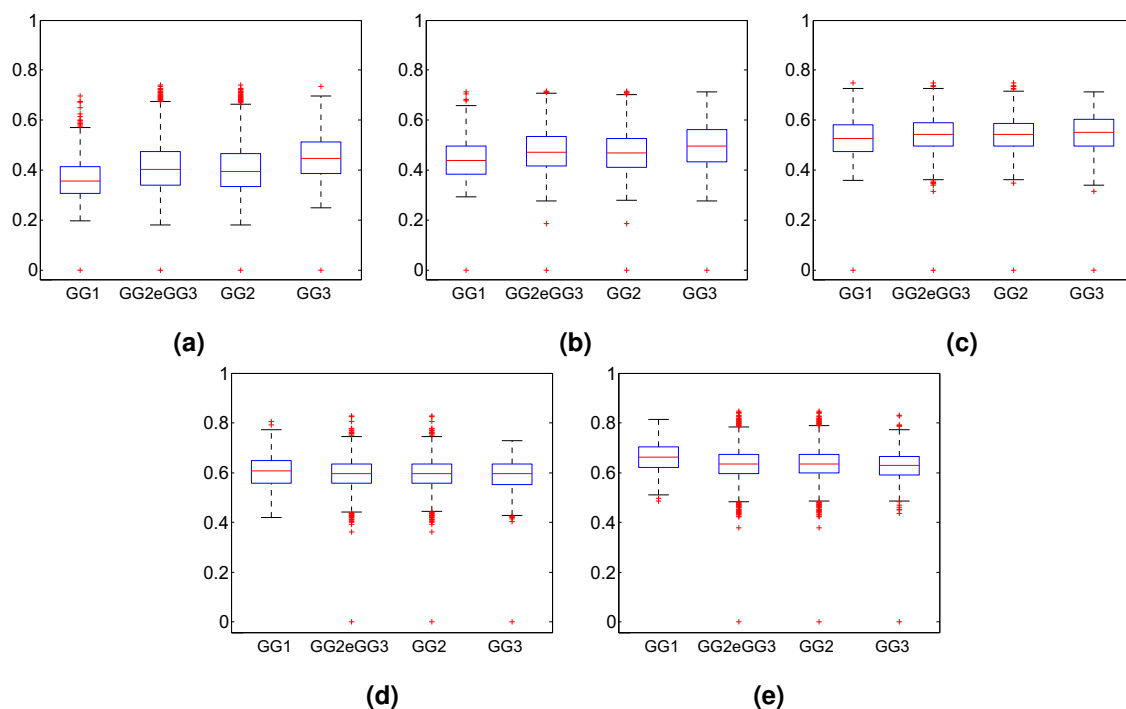


Figura B.23 – Distribuição dos valores da entropia do tempo de recorrência do tipo 1 (*RPDE*), obtidos com segmentação em sinais de voz de crianças com grau geral normal (GG1), grau geral leve (GG2) e grau geral moderado (GG3), para os seguintes patamares de taxa de recorrência (*REC*): (a) *REC* ≤ 1%; (b) *REC* ≤ 2%; (c) *REC* ≤ 3%; (d) *REC* ≤ 4%; (e) *REC* ≤ 5%.

Tabela B.45 – Valores de média (μ) e desvio-padrão (σ) dos valores da entropia do tempo de recorrência do tipo 1 (*RPDE*), obtidos sem segmentação em sinais de voz de crianças com grau geral normal (GG1), grau geral leve (GG2), e grau geral moderado (GG3), com a variação da taxa de recorrência (*REC*) de 1% a 5%.

Medida <i>RPDE</i>	Grupos de Sinais			
	GG1	GG2 e GG3	GG2	GG3
<i>REC</i> ≤ 1%	0,36 ± 0,10	0,39 ± 0,14	0,39 ± 0,14	0,43 ± 0,14
<i>REC</i> ≤ 2%	0,44 ± 0,08	0,47 ± 0,10	0,47 ± 0,10	0,49 ± 0,10
<i>REC</i> ≤ 3%	0,53 ± 0,08	0,54 ± 0,07	0,54 ± 0,07	0,55 ± 0,08
<i>REC</i> ≤ 4%	0,60 ± 0,06	0,59 ± 0,07	0,59 ± 0,07	0,59 ± 0,06
<i>REC</i> ≤ 5%	0,66 ± 0,06	0,63 ± 0,06	0,63 ± 0,06	0,63 ± 0,06

Tabela B.46 – Potencial discriminativo da medida *RPDE*, obtida com segmentação, na discriminação entre os grupos de sinais de vozes infantis.

Medida <i>RPDE</i>	Pares de Grupos de Sinais			
	GG1 × GG2 e GG3	GG1 × GG2	GG1 × GG3	GG2 × GG3
$REC \leq 1\%$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$
$REC \leq 2\%$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$
$REC \leq 3\%$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p = 0,005$
$REC \leq 4\%$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p = 0,262^*$
$REC \leq 5\%$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$

* $p > 0,05$.