

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA  
CENTRO DE INFORMÁTICA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM INFORMÁTICA

RAPHAEL MEDEIROS ALVES

MINIMIZANDO OS CUSTOS ENERGÉTICOS DE ALOCAÇÃO DE AULAS A  
SALAS: O CASO DE UMA INSTITUIÇÃO FEDERAL DE ENSINO

João Pessoa

2019

RAPHAEL MEDEIROS ALVES

MINIMIZANDO OS CUSTOS ENERGÉTICOS DE ALOCAÇÃO DE AULAS A  
SALAS: O CASO DE UMA INSTITUIÇÃO FEDERAL DE ENSINO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Informática do Centro de Informática da Universidade Federal da Paraíba, como requisito parcial para obtenção do Grau de Mestre em Informática.

Orientador: Prof. Dr. Anand Subramanian

Coorientador: Prof. Dr. Alisson Vasconcelos de Brito

João Pessoa

2019

**Catálogo na publicação**  
**Seção de Catalogação e Classificação**

A474m Alves, Raphael Medeiros.

MINIMIZANDO OS CUSTOS ENERGÉTICOS DE ALOCAÇÃO DE AULAS  
A SALAS: O CASO DE UMA INSTITUIÇÃO FEDERAL DE ENSINO /  
Raphael Medeiros Alves. - João Pessoa, 2019.  
89 f. : il.

Orientação: Anand Subramanian.

Coorientação: Alisson Brito.

Dissertação (Mestrado) - UFPB/Informática.

1. Problema de alocação de aulas a salas. 2.  
Programação Linear Inteira. 3. Custo energético. I.  
Subramanian, Anand. II. Título.

UFPB/BC



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA  
CENTRO DE INFORMÁTICA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM INFORMÁTICA

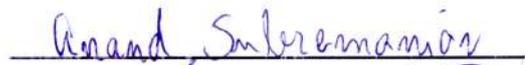


Ata da Sessão Pública de Defesa de Dissertação de Mestrado de Raphael Medeiros Alves, candidato ao título de Mestre em Informática na Área de Sistemas de Computação, realizada em 12 de novembro de 2019.

1 Aos doze dias do mês de novembro, do ano de dois mil e dezenove, às quatorze horas, no  
2 Centro de Informática da Universidade Federal da Paraíba, em Mangabeira, reuniram-se os  
3 membros da Banca Examinadora constituída para julgar o Trabalho Final do Sr. Raphael  
4 Medeiros Alves, vinculado a esta Universidade sob a matrícula nº 20181001104, candidato  
5 ao grau de Mestre em Informática, na área de "Sistemas de Computação", na linha de  
6 pesquisa "Computação Distribuída", do Programa de Pós-Graduação em Informática, da  
7 Universidade Federal da Paraíba. A comissão examinadora foi composta pelos professores:  
8 Anand Subramanian (PPGI-UFPB) Orientador e Presidente da Banca, Alisson Vasconcelos  
9 de Brito (PPGI-UFPB), Examinador Interno, Lucídio dos Anjos Formiga Cabral (PPGI-UFPB),  
10 Examinador Interno, Raphael Harry Frederico Ribeiro Kramer (UFPE), Examinador Externo à  
11 Instituição. Dando início aos trabalhos, o Presidente da Banca cumprimentou os presentes,  
12 comunicou aos mesmos a finalidade da reunião e passou a palavra ao candidato para que o  
13 mesmo fizesse a exposição oral do trabalho de dissertação intitulado: "Minimizando os  
14 Custos Energéticos de Alocação de Aulas a Salas: O Caso de Uma Instituição Federal de  
15 Ensino". Concluída a exposição, o candidato foi arguido pela Banca Examinadora que emitiu  
16 o seguinte parecer: "**aprovado**". Do ocorrido, eu, Ruy Alberto Pisani Altafim, Coordenador do  
17 Programa de Pós-Graduação em Informática, lavrei a presente ata que vai assinada por mim  
18 e pelos membros da banca examinadora. João Pessoa, 12 de novembro de 2019.

  
Prof. Dr. Ruy Alberto Pisani Altafim

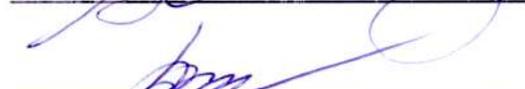
Prof. Anand Subramanian  
Orientador (PPGI-UFPB)



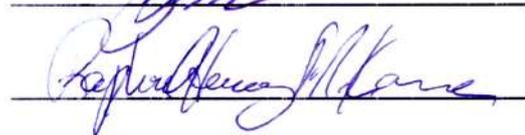
Prof. Alisson Vasconcelos de Brito  
Examinador Interno (PPGI-UFPB)



Prof. Lucídio dos Anjos Formiga Cabral  
Examinador Externo ao Programa (UFPB)



Prof. Raphael Harry Frederico Ribeiro Kramer  
Examinador Externo à Instituição (UFPE)



## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, por sempre me acompanhar e renovar as minhas forças.

A minha esposa, por toda compreensão e auxílio ao longo do curso.

Ao meu filho, por ser fonte motivadora para minha vida.

Aos meus pais, pelo apoio e incentivo ao estudo durante toda a minha caminhada.

A minha sogra e minha mãe, por todo suporte prestado à minha família após o nascimento do meu filho, propiciando a conclusão deste curso.

Aos meus orientadores, Prof. Anand e Prof. Alisson, por todos os ensinamentos durante o curso, sempre demonstrando o máximo de zelo com o ensino e a pesquisa. Em especial, ao Prof. Anand, por toda empatia e experiências de vida compartilhadas.

Ao Prof. Teobaldo pelo auxílio no aperfeiçoamento deste trabalho, assim como à todos os professores que participaram das bancas de qualificação e defesa.

Ao Instituto Federal da Paraíba pela cessão dos dados utilizados nesse trabalho, além da concessão do afastamento para dedicação exclusiva ao desenvolvimento deste estudo.

## RESUMO

Este trabalho trata do problema de alocação de aulas a salas (PAAS) no contexto de uma instituição federal de ensino de grande porte. Na prática, esse problema deve ser resolvido no início de cada período letivo. Atualmente, o PAAS da instituição em questão é resolvido manualmente, o que não é apenas uma tarefa árdua, mas também muito demorada, diversas vezes levando a soluções ineficientes. Ao analisar a solução manual com a perspectiva do custo energético de cada aula em uma sala, é possível notar que há perdas financeiras. Por exemplo, não é interessante alocar turmas com poucos alunos em salas com grandes capacidades, que por sua vez tendem a ter custos energéticos mais altos. Além disso, uma solução inadequada pode gerar uma falsa percepção de escassez de salas, acarretando, assim, de forma imprecisa, que novas salas devem ser construídas para acomodar adequadamente todas as turmas. O objetivo deste estudo é minimizar o custo energético associado ao uso dos locais de aula, neste caso salas de aula e laboratórios de informática, atendendo aos requisitos especificados pela instituição. Para resolver diferentes versões do problema, foram propostos cenários de formulações matemáticas baseados em programação linear inteira. Os modelos desenvolvidos foram testados em instâncias reais de dois *campi* envolvendo até 3046 aulas e 97 locais. Todos os cenários de formulações propostos foram capazes de alcançar uma redução significativa de custos energéticos quando comparadas com a solução manual, com até 30% de economia de energia. Dentre essas formulações, a minimização na quantidade de locais de aula também foi um dos propósitos deste estudo, onde foi obtida uma redução de 97 para 55 locais com a instância mais recente do caso estudado.

Palavras-chave: Problema de alocação de aulas a salas; Programação Linear Inteira; Custo energético.

## ABSTRACT

This work deals with the classroom assignment problem (CAP) in the context of a large-scale federal educational institution. In practice, such problem must be solved at the beginning of every semester. Currently, the CAP arising in the referred institution is solved manually, which is not only an arduous task, but also very time consuming, often leading to inefficient solutions. By analyzing the manual solution through the energy cost perspective, it is possible to verify that there are financial losses. For example, it is not interesting to allocate classes with few students to rooms with large capacities, which in turn tend to have higher energy costs. In addition, an inadequate solution can generate a false perception of room shortages, thus inaccurately implying that new rooms must be built to properly accommodate all classes. The objective of this study is to minimize the energy cost associated with the usage of the locations where classes can take place, in this case regular classrooms and computer labs, while meeting the requirements specified by the institution. To solve different versions of the problem, scenarios of mathematical formulations based on integer linear programming were proposed. The models developed were tested on real two campus instances involving up to 3046 classes and 97 locations. All of the proposed formulation scenarios were capable to achieve a significant reduction in energy costs compared to the manual solution, with up to 30% energy savings. Among these formulations, the minimization of the number of class locations was also a purpose of this study, where a reduction of 97 to 55 classrooms was obtained with the most recent instance of the case studied.

Keywords: Classroom assignment problem; Integer programming; Energy cost.

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>12</b>
1.1	Definição do tema . . . . .	12
1.2	Justificativa . . . . .	13
1.3	Objetivos . . . . .	15
1.3.1	Objetivo geral . . . . .	15
1.3.2	Objetivos específicos . . . . .	15
1.4	Estrutura do trabalho . . . . .	16
<b>2</b>	<b>TRABALHOS RELACIONADOS</b>	<b>17</b>
2.1	Problema de Alocação de Aulas a Salas . . . . .	17
2.2	Economia de energia com salas de aula . . . . .	25
<b>3</b>	<b>DESCRIÇÃO DO PROBLEMA</b>	<b>29</b>
<b>4</b>	<b>ASPECTOS METODOLÓGICOS</b>	<b>37</b>
4.1	Coleta de dados . . . . .	37
4.1.1	Levantamento de requisitos . . . . .	38
4.1.2	Planejamento da coleta . . . . .	40
4.1.3	Execução da coleta . . . . .	42
4.1.4	Formatação dos dados coletados . . . . .	43
4.1.5	Exportação dos dados . . . . .	44
4.2	Formulações matemáticas . . . . .	46
4.2.1	Variáveis de decisão . . . . .	47
4.2.2	Funções objetivo . . . . .	48
4.2.3	Restrições . . . . .	49
4.2.4	Cenários de formulações . . . . .	53

<b>5</b>	<b>RESULTADOS COMPUTACIONAIS</b>	<b>56</b>
5.1	Instâncias . . . . .	56
5.2	Minimização dos custos energéticos . . . . .	58
5.2.1	Instância: 2018.1 <sub>JP</sub> . . . . .	58
5.2.2	Instância: 2018.1 <sub>CG</sub> . . . . .	60
5.2.3	Instâncias: 2018.2 <sub>JP</sub> e 2019.1 <sub>JP</sub> . . . . .	62
5.3	Minimização da quantidade de locais de aula . . . . .	67
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO</b>	<b>71</b>
	<b>APÊNDICES</b>	<b>77</b>

## LISTA DE FIGURAS

3.1	Gráfico da distribuição de modalidades no IFPB . . . . .	30
3.2	Cenário atual da programação de horários e alocação de aulas no IFPB . .	31
3.3	Diagrama dos quantitativos de locais do período 2018.1 do IFPB-JP . . . .	34
4.1	Fluxograma da coleta de dados . . . . .	38
4.2	Exemplos de laboratórios específicos . . . . .	40
4.3	Local de aula híbrido . . . . .	41
4.4	Fotografias registradas de um local de aula do IFPB-JP . . . . .	43
4.5	Exemplo do inventário de um local de aula . . . . .	44
4.6	Tela da funcionalidade de gerência de locais . . . . .	45
4.7	Exemplo dos dados exportados em JSON . . . . .	47
5.1	Comparativo entre os percentuais de redução nos períodos do IFPB-JP . .	63

## LISTA DE TABELAS

2.1	Resumo com os principais estudos relacionados ao PAAS . . . . .	22
3.1	Dados quantitativos referentes aos <i>campi</i> IFPB-JP e IFPB-CG . . . . .	29
3.2	Dados quantitativos do estudo de caso . . . . .	33
3.3	Horário das aulas dos <i>campi</i> IFPB-JP e IFPB-CG . . . . .	34
4.1	Cenários de formulações matemáticas . . . . .	53
5.1	Dados quantitativos dos principais conjuntos das instâncias testadas . . . . .	57
5.2	Dados da alocação manual das instâncias definidas . . . . .	57
5.3	Resultados da minimização de custos com a instância 2018.1 <sub>JP</sub> . . . . .	58
5.4	Resultados da minimização de custos com a instância 2018.1 <sub>CG</sub> . . . . .	61
5.5	Resultados da minimização de custos com as instâncias 2018.2 <sub>JP</sub> e 2019.1 <sub>JP</sub> . . . . .	62
5.6	Comparativo entre o resultado mais atual deste trabalho e o estudo de Song et al. [2017] . . . . .	66
5.7	Resultados da minimização da quantidade de locais necessários . . . . .	68
5.8	Resultados da minimização de custos energéticos com locais minimizados . . . . .	70

## LISTA DE SIGLAS

BT	Busca Tabu
DSM	<i>Demand-side Management</i>
HVAC	<i>Heating, ventilation, and air-conditioning</i>
ICEB	Instituto de Ciências Exatas e Biológicas
IFPB	Instituto Federal da Paraíba
IFPB-CG	<i>Campus</i> Campina Grande do IFPB
IFPB-JP	<i>Campus</i> João Pessoa do IFPB
ITC	<i>International Timetabling Competition</i>
PAAS	Problema de Alocação de Aulas a Salas
PAAS <sub>IFPB</sub>	Problema de Alocação de Aulas a Salas no contexto do IFPB
PCG	Problema de Coloração de Grafos
PLI	Programação Linear Inteira
PPAU	Problema de Programação de Aulas Universitárias
PPHC	Problema de Programação de Horários de Cursos
RB1	Restrições básicas 1
RB2	Restrições básicas 2
RI1	Restrições institucionais 1
RI2	Restrições institucionais 2
RP1	Restrições políticas 1
RP2	Restrições políticas 2
RU	Restrições de uso
SA	<i>Simulated Annealing</i>
VNS	<i>Variable Neighbourhood Search</i>

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Definição do tema

A cada início de período letivo diversas instituições de ensino em todo o mundo precisam disponibilizar para a comunidade acadêmica as informações de horários, professores e locais de aula de cada turma ofertada. A definição dos horários das aulas dessas turmas, assim como as salas de aula em que serão alocadas consiste no Problema de Programação de Horários de Cursos (PPHC) (*Course Timetabling*) [Faudzi et al., 2018].

Assim como a grande maioria das abordagens sistematizadas, rotineiramente se divide a geração de uma solução manual para o PPHC em duas etapas seguindo a estratégia “*times first, rooms second*” [Phillips et al., 2015]. Primeiramente, é construído o quadro de horários contendo as turmas e professores. A seguir, é realizada a alocação das aulas dessas turmas nas salas de aula disponíveis para aquele período letivo.

Na literatura, a distribuição de aulas em salas com os horários das aulas previamente estabelecidos é conhecida como o Problema de Alocação de Aulas a Salas (PAAS) [Schaerf, 1999], onde seus primeiros estudos remontam à década de 70. Segundo Souza et al. [2002], o PAAS ou pode ser tratado incorporado ao PPHC ou como um subproblema proveniente dele [Bardadym, 1996].

Neste estudo, o custo energético de alocar uma aula em uma sala advém da energia elétrica consumida pelos itens elétricos presentes na sala de aula. Com isso, os principais equipamentos que consomem energia nas salas são os itens para climatização e iluminação, além de computadores e televisões, por exemplo, recursos básicos para a execução das aulas [Kim et al., 2012; Song et al., 2017].

Desse modo, o presente trabalho propõe formulações matemáticas baseada em programação linear inteira (PLI) que minimizam o custo total com energia elétrica gasto

pelas aulas alocadas nas salas ao resolver o caso do PAAS do Instituto Federal da Paraíba (IFPB) ( $\text{PAAS}_{\text{IFPB}}$ ).

A seguir são definidos os termos relacionados ao PAAS para auxiliar a compreensão conforme são apresentados ao longo do trabalho:

- **aula:** exposição sobre determinado assunto;
- **disciplina:** assunto ministrado em uma aula;
- **turma:** conjunto de aulas de uma mesma disciplina;
- **classe:** conjunto de turmas de um mesmo ano letivo de um curso técnico integrado;
- **curso:** conjunto de disciplinas com um propósito;
- **horário de aula:** intervalo de tempo em que ocorre a aula;
- **local de aula:** ambiente onde são ministradas as aulas.

As próximas seções descrevem a justificativa, objetivos e a estrutura do trabalho.

## 1.2 Justificativa

O PAAS é um problema recorrente a cada início de período letivo nas instituições de ensino. Apesar dos grandes avanços computacionais, em uma parcela significativa das universidades a distribuição das aulas a salas de aula é realizada manualmente, resultando em desperdício de tempo e esforço dos responsáveis pela atividade, podendo levar dias para ser concluída [Souza et al., 2002]. Devido à alta complexidade combinatória do problema, a solução produzida de forma manual tende a não atender satisfatoriamente os requisitos colocados pela instituição, principalmente quando o prazo para finalizar o processo de alocação for curto.

Além da solução manual frequentemente não atender as necessidades da instituição em sua totalidade, ela também promove um consumo de energia que poderia ser economizado. Em geral, salas de aula possuem o mesmo conjunto de equipamentos elétricos, porém variando os modelos e as quantidades presentes nas salas. Somado a isso, Song et al. [2017] afirmam que o consumo energético de uma sala de aula é diretamente proporcional ao seu tamanho, principalmente devido à utilização dos ares-condicionados. Por isso, uma alocação adequada das aulas as salas é essencial para reduzir o consumo de energia. Nesse

sentido, analisando uma solução construída manualmente com a visão econômica orientada pelo custo energético de cada aula em uma sala de aula, é possível notar um consumo desnecessário de energia. Sem perceber, turmas com poucos alunos podem ser alocadas em salas com capacidades elevadas e, teoricamente, com custos energéticos mais altos.

Adicionado à essa economia energética em potencial, o estudo de Song et al. [2017] enuncia um outro fator que tem levado gestores de universidades em direção a soluções que economizem energia: o ambiente global de crise climática. Dentre essas soluções, é possível citar a utilização de energia solar pelas instituições de ensino, inclusive, pelo *campus* João Pessoa do IFPB, objeto de estudo deste trabalho [Portal Institucional do IFPB, 2017].

Ainda relativo a uma solução manual, naturalmente a demanda por salas de aulas cresce à medida que as instituições de ensino aumentam o número de cursos ofertados [Subramanian et al., 2011], potencializando assim a dificuldade de resolução do PAAS. Junto à essa demanda, nas universidades existe uma percepção de que os ambientes de ensino são recursos bastante escassos. Porém, alguns estudos revelaram que em grande parte das instituições, na verdade, os locais de aula são cronicamente subutilizados. Muitas vezes são ocupados apenas pela metade do tempo disponível e, mesmo quando em uso, eles geralmente são preenchidos parcialmente. Assim sendo, em instituições de ensino reais, estudos mostraram que o percentual de utilização dos locais de aula pode atingir de 20 a 40% [Beyrouthy et al., 2009]. Dessa forma, uma solução inadequada que aloca desordenadamente aulas a salas pode gerar uma falsa percepção de escassez de salas, motivando a construção de novas salas, com aquisição dos seus recursos, aumentando desnecessariamente os custos para a instituição de ensino [Jardim e de Carvalho, 2018].

Posto isso, a deficiência na qualidade da solução manual é explicada pelo elevado número de combinações possíveis aplicadas às regras envolvidas. Devido a essa característica combinatória, a complexidade de resolução do problema cresce consideravelmente à medida que a instância utilizada aumenta. Carter e Tovey [1992] demonstraram que o PAAS pode ser tanto um problema polinomial quanto pertencer a classe dos problemas NP-Difíceis, a depender de suas características. Embora o problema seja conhecidamente NP-Difícil para um relevante número de casos, testes computacionais realizados com o *solver* comercial CPLEX mostram que instâncias práticas do problema podem ser resolvidas através de PLI [de Queiroz e Nepomuceno, 2017]. No caso do problema em questão neste trabalho,  $PAAS_{IFPB}$ , ele é classificado como NP-Completo, onde o estudo de sua complexidade é apresentado no Capítulo 3.

Na literatura, raros estudos foram encontrados abordando minimização de custos energéticos com salas de aulas relacionados ao PAAS. Visando reduzir o consumo de energia nas salas, Sethanan et al. [2014] apresentaram um algoritmo utilizando Busca Tabu (BT) para resolução do PPHC que considera fatores como transferência de calor, estrutura das salas, condições climáticas e dados energéticos dos equipamentos eletrônicos presentes na sala. Também com o objetivo de resolver o PPHC baseado em eficiência energética em salas de aulas, Song et al. [2017] propuseram uma estratégia composta pelas fases de coleta de dados, incluindo os dados energéticos dos itens elétricos das salas, e otimização, baseada em algoritmos genéticos.

No estudo de Sethanan et al. [2014], apesar de alcançarem relevantes percentuais de redução no uso de energia em salas de aulas, entre 7,12% e 28,59%, os autores não apresentaram dados quantitativos das instâncias utilizadas, impossibilitando assim uma análise completa da solução proposta. Por sua vez, a instância utilizada por Song et al. [2017] nos testes da estratégia apresentada é compreendida de apenas 107 aulas e 12 salas e resultaram em um percentual máximo de 5% de economia de energia, relaxando restrições críticas. Com isso, até o momento não foi encontrado nenhum estudo que propôs diretamente a resolução do PAAS minimizando o consumo energético com a utilização de salas de aulas.

Diante do exposto, torna-se relevante a construção de uma solução utilizando PLI que resolva o  $PAAS_{IFPB}$  minimizando o custo energético, e conseqüentemente financeiro, da utilização dos locais de aula pelas aulas, assim como uma solução que possibilite a minimização da quantidade de locais necessários para a resolução do  $PAAS_{IFPB}$ .

### 1.3 Objetivos

#### 1.3.1 Objetivo geral

Propor uma metodologia utilizando PLI para o  $PAAS_{IFPB}$  que minimize os custos energéticos associados aos locais de aula.

#### 1.3.2 Objetivos específicos

- Coletar os dados energéticos de determinados equipamentos presentes nos locais de aula dos *campi* João Pessoa (IFPB-JP) e Campina Grande (IFPB-CG) do IFPB.
- Propor cenários de formulações matemáticas para o  $PAAS_{IFPB}$ .

- Implementar as formulações propostas utilizando PLI.
- Quantificar os custos energéticos com alocações de aulas em locais de aula para as instâncias dos *campi* IFPB-JP e IFPB-CG.
- Comparar os custos energéticos resultantes das formulações propostas com os custos da alocação manual, como também com os estudos relacionados.

#### 1.4 Estrutura do trabalho

O restante do trabalho está organizado da seguinte maneira:

- No Capítulo 2, é apresentada uma revisão da literatura do PAAS e suas variações, e de redução do consumo de energia elétrica com salas de aulas.
- No Capítulo 3, é descrito o  $PAAS_{IFPB}$  e apresentado o estudo de sua complexidade.
- No Capítulo 4, são detalhadas a metodologia utilizada para a coleta de dados do estudo de caso, especialmente dos dados energéticos dos locais de aula, e os cenários de formulações matemáticas propostas para o problema em questão.
- O Capítulo 5, contém os resultados computacionais dos experimentos realizados.
- No Capítulo 6, são apresentadas as conclusões deste trabalho.

## 2 TRABALHOS RELACIONADOS

Neste capítulo é apresentada uma breve revisão da literatura do PAAS e suas variações, e de economia de energia elétrica com salas de aula através da resolução de problemas de otimização.

### 2.1 Problema de Alocação de Aulas a Salas

Numerosos estudos propõem soluções para o PAAS de tamanho e características variados utilizando heurísticas e PLI como método resolutivo há anos. Essa diversificação é consequência da particularidade de cada universidade com suas estruturas físicas e regras locais. Com isso, não há definida na literatura uma metodologia padrão para resolução do PAAS, pois dependendo das características do problema e objetivos almejados tal método pode demonstrar ser o mais apropriado ou não para o caso estudado [Wendt e Müller, 2017].

No início da década de 80, Mulvey [1982] apresentou um dos primeiros modelos matemáticos para resolução do PAAS. Para testar esses modelos, uma metodologia que incluía uma heurística foi aplicada em cenários de teste que continham 10 salas de aulas e 50 *slots* de aula. Todavia, como não existia uma solução exata para o problema não foi possível mensurar a qualidade das soluções, porém, para os autores, pareciam razoáveis.

Ainda nos anos 80, Carter [1989] propôs um algoritmo heurístico baseado em uma relaxação lagrangiana para resolver o problema de alocação de aulas a salas com múltiplos horários de aulas. Esse algoritmo é norteador pela minimização dos custos de alocar aulas a salas. No estudo, o custo é representado por uma função que reflete as preferências da gestão de uma universidade tais como: distância entre o prédio preferencial e a localização da sala alocada, utilização de assentos, sala preferenciais, entre outras. A instância utili-

zada no estudo envolvia aproximadamente 2192 turmas e 125 salas. O algoritmo foi usado com sucesso em quatro ocasiões, reduzindo substancialmente o tempo e esforço requerido. Anteriormente à solução, estima-se que era necessário um total de 27 semanas de trabalho anualmente para a execução da tarefa.

A meta-heurística *Simulated Annealing* (SA) com divisão do problema em subproblemas por horários foi a estratégia utilizada por Martinez-Alfaro e Flores-Teran [1998] devido ao tamanho elevado da instância composta de mais 3000 aulas, 200 horários e 190 salas de aula oriunda da ITESM, universidade mexicana. No problema, além de considerar a capacidade das salas e os equipamentos necessários para lecionar a aula, a solução proposta também tenta minimizar a distância entre a sala do professor e as salas de aula em que ele ministrará as suas aulas. Como resultado, o algoritmo proposto atinge uma solução ótima em um tempo menor que o método manual de alocação.

Burke et al. [2001] apresentaram uma discussão entre três conhecidos métodos aplicados para resolver o problema de alocação de espaços: *hill climbing*, SA e um algoritmo genético. No estudo, universidades do Reino Unido são utilizadas como instâncias contendo 117, 115 e 151 locais e 90, 115 e 74 salas, respectivamente. As estratégias *hill climbing* e SA demonstraram um bom desempenho na otimização e reorganização de soluções pré-existentes, porém, ao construir uma alocação completa suas soluções possuem uma qualidade inferior a alocação construída manualmente. Em contraste, o algoritmo genético implementado foi capaz de construir alocações completas melhores que as manuais em tempos de execução aceitáveis.

Uma heurística híbrida composta pelas meta-heurísticas SA e BT foi o método proposto por Souza et al. [2002] para solucionar o PAAS. Nesse estudo, a eficiência dessa combinação foi avaliada comparando-a com as versões puras das meta-heurísticas envolvidas. Para realização dos testes, um semestre letivo do Instituto de Ciências Exatas e Biológicas (ICEB) da Universidade Federal de Ouro Preto composto por 20 salas e 233 turmas foi uma das instâncias utilizadas no estudo. A partir dessa instância, outras duas instâncias foram geradas possuindo 17 e 22 salas e, 214 e 281 turmas, respectivamente. No fim, em todas as instâncias o procedimento híbrido obteve melhores soluções finais do que as geradas pelas técnicas aplicadas separadamente.

Dammak et al. [2006] resolveram a alocação de exames a salas associado ao problema de horários de exames apresentando formulações em PLI para dois casos. No primeiro caso, cada sala de aula não contém mais do que um exame. No segundo modelo,

esta restrição foi relaxada e o problema foi formulado como um problema de transporte. Somada aos modelos, também foi proposta uma heurística simples que tenta encontrar uma solução viável para o problema, onde é possível ter apenas um exame por sala de aula. Porém, tal heurística não garante uma solução viável, pois pode retornar uma solução que tenha um ou dois exames por sala de aula. Para testar as soluções propostas foram utilizadas instâncias com 27 horários e 62 salas, variando a quantidade de exames em 7, 26 e 27 obtidas da *Faculty of Economics and Management Sciences of Sfax*.

Com o objetivo de encontrar uma solução que atendesse as regras da universidade, otimizando o uso das salas de aula existentes, Wasfy e Aloul [2007] buscaram solucionar o Problema de Programação de Aulas Universitárias (PPAU), semelhante ao PAAS, utilizando PLI. Os modelos de PLI foram resolvidos utilizando os seguintes *solvers*: MiniSAT+ e PUB, baseados em *Boolean Satisfiability*, e o CPLEX. Testes do modelo proposto foram realizados utilizando o calendário da primavera de 2007 da Escola de Engenharia da Universidade Americana de Sharjah. Esses testes foram realizados por horários disponíveis nas salas, variando a quantidade de turmas presentes entre 3 e 12 turmas. Para validar o modelo, instâncias artificiais também foram geradas contendo de 20 a 100 turmas. Ao final, um comparativo entre os resultados dos *solvers* foi apresentado e indicam que o modelo proposto é tratável para problemas de tamanho razoável.

O estudo de Constantino et al. [2010] aborda o problema da alocação de aulas em uma grande universidade com o objetivo de minimizar a distância total entre todas as salas de aula alocadas para aulas de um mesmo curso. Para tal, foram apresentadas duas abordagens heurísticas iteradas, atribuição linear e atribuição de gargalos, e um terceiro algoritmo baseado na meta-heurística *Variable Neighbourhood Search* (VNS) para solucionar o problema. Com a finalidade de testar as estratégias propostas foram utilizadas instâncias reais de três anos contendo 170, 192, 192 salas de aulas e 3.927, 4.016 e 3.978 turmas, respectivamente, com cada sala de aula possuindo 34 horários de aulas disponíveis semanalmente. Nos testes, o algoritmo baseado na resolução sucessiva do problema de atribuição linear teve o melhor desempenho e reduziu em mais de 50% a distância total entre as salas de aula do mesmo curso, bem como diminuiu consideravelmente o número de alocações desfavoráveis quando comparado às soluções manuais anteriores.

Kripka et al. [2011] também buscaram a minimização dos deslocamentos dos alunos, porém utilizando um método baseado em SA. Com relação aos dados, foi utilizada uma instância real do Instituto de Ciências Exatas e Geociências da Universidade de Passo

Fundo composta por 140 turmas e 38 salas de aulas. Nos testes realizados, em todas as otimizações obteve-se soluções viáveis melhores que as elaboradas manualmente.

Aplicando a meta-heurística BT no algoritmo proposto, Subramanian et al. [2011] apresentaram uma solução que resolve o PAAS atendendo os requisitos de qualidade definidos no estudo. Primeiramente o algoritmo gera uma solução inicial através do procedimento construtivo, produzindo soluções viáveis em menos de um segundo. Posteriormente, com o objetivo de explorar os espaços de busca, a solução é refinada pela BT usando-se movimentos de realocação e troca de aulas entre salas. A estratégia proposta foi testada em um semestre letivo do centro de tecnologia de uma instituição universitária, compreendendo 28 salas de aulas e 248 turmas, tendo gerado soluções de alta qualidade quando comparado com a solução manual.

No estudo de Elloumi et al. [2014] o objetivo foi solucionar o problema de alocação de exames a salas de aula, problema análogo ao PAAS, minimizando a capacidade total das salas de aula atribuídas aos exames. Para esse fim, foi proposta uma redução ao máximo do tamanho do problema sem violar a sua viabilidade utilizando dois métodos de redução: arranjar os exames e salas de aula em ordem crescente de tamanho e capacidade, respectivamente, e critério de dominância. Para completar a solução parcial gerada por esses dois procedimentos de redução, adaptou-se a meta-heurística VNS para encontrar uma solução de boa qualidade para o problema. Comparando os resultados do algoritmo VNS ao limite inferior gerado pelas reduções, conclui-se que o algoritmo gerou bons resultados quando aplicado à instância real do principal calendário de exames da Faculdade de Economia e Ciências da Administração da Sfax que envolve 29 horários, 54 salas e 369 exames.

Devido a complexidade de resolução do PPHC e PAAS em conjunto, Ovalle et al. [2014] propuseram uma abordagem de solução hierárquica de duas fases utilizando PLI. Primeiro é construído o quadro de horários e posteriormente o PAAS é solucionado. Como instância, foram utilizados os dados do primeiro semestre de 2012 da Universidade de La Sabana, na Colômbia, que possuía 697 turmas e 60 salas. Os resultados mostraram que a abordagem proposta, satisfazendo as restrições, obteve uma melhor utilização das salas de aula que a solução original. Dessa forma, analisando os resultados verificou-se a possibilidade de reduzir tanto o número de salas de aula a serem alocadas quanto o número de turmas, possibilitando assim um aumento na disponibilidade de recursos de ensino.

O único estudo encontrado até o momento que minimizou custo financeiro ao alocar aulas a salas foi o de Thongsanit [2014]. Nesse estudo, o custo da sala de aula está

relacionado ao número de assentos ou a sua capacidade. Foram utilizadas a PLI e o *Excel's Premium Solver* como métodos resolutivos para o problema. A instância testada na solução proposta, envolvendo 115 aulas e 13 salas, foi proveniente da *Faculty of Engineering and Industrial Technology* da *Silpakorn University*. Como resultado, obteve uma redução média por semestre de 11% ou 27,920 baht, moeda corrente da Tailândia, em reais, por volta de R\$ 3.430,00.

Buscando minimizar o número de aulas de uma mesma turma alocadas em salas distintas, Queiroga et al. [2015] apresentaram um modelo baseado em PLI. Com o objetivo de reduzir o número de restrições implementadas no modelo, um algoritmo que associa o problema de listar as Cliques Maximais de um Grafo com a construção do conjunto de choque de horários foi utilizado. A solução apresentada foi testada em uma instância real de um semestre letivo da Central de Aulas da Universidade Federal da Paraíba composta por 645 turmas, 1131 aulas e 60 salas. Quando comparado ao método manual, o modelo proposto realizou a alocação para o caso estudado em um baixo tempo computacional e respeitando ao máximo as exigências do problema.

Por fim, o estudo de Phillips et al. [2015], utilizando PLI, resolve o PAAS orientado por uma nova formulação que generaliza os modelos existentes de programação com e sem horários descritos por Carter e Tovey [1992], mantendo a tratabilidade mesmo para grandes instâncias. Como instância, o estudo utilizou dois semestres letivos da Universidade de Auckland contendo o primeiro: 985 turmas, 1965 aulas e 72 salas, e o segundo: 911 turmas, 1866 aulas e 72 salas, assim como instâncias da *2007 International Timetabling Competition* (ITC). No estudo, Phillips et al. [2015] afirmaram que são capazes de resolver um modelo de PLI com rapidez suficiente para obter uma solução ótima de Pareto relativa à várias medidas de qualidade com as instâncias utilizadas. Ao final, foi demonstrado que é possível melhorar várias das soluções geradas heurísticamente usando uma abordagem exata na alocação de salas.

A seguir é apresentada a Tabela 2.1 contendo um resumo dos estudos citados, abordando os objetivos, estratégias utilizadas e os resultados obtidos para auxiliar a comparação entre as principais soluções para o PAAS. Na próxima seção serão apresentados os trabalhos relacionados à economia de energia envolvendo salas de aula.

Tabela 2.1: Resumo com os principais estudos relacionados ao PAAS

Estudo	Objetivo	Estratégia	Instância	Resultados
Mulvey [1982]	Solucionar o PAAS	Metodologia com heurística	Exemplos com 10 salas e 50 <i>slots</i> de aula	Não foi possível mensurar a qualidade das soluções
Carter [1989]	Minimizar custos representados por uma função que reflete as preferências da gestão	Heurística baseada em uma relaxação lagrangiana	2192 turmas e 125 salas	Utilizado com sucesso em quatro situações, reduzindo tempo e esforço
Martinez-Alfaro e Flores-Teran [1998]	Considerar o uso dos recursos das salas e minimizar deslocamento dos professores	Meta-heurística SA com divisão do problema em subproblemas por horários	3000 aulas, 200 horários e 190 salas de aula	Solução ótima em um tempo menor que o método manual de alocação
Burke et al. [2001]	Analisar três métodos para resolver o problema de alocação de espaços	<i>Hill climbing</i> , SA e um algoritmo genético	117, 115 e 151 locais e 90, 115 e 74 salas, respectivamente	Algoritmo genético atingiu resultados satisfatórios para uma solução completa, bem como Hill climbing e SA para otimização e reorganização
Souza et al. [2002]	Resolver o PAAS comparando algoritmos	Heurística híbrida (SA + BT)	ICEB: 20 salas e 233 turmas, Testes: 17 e 22 salas e, 214 e 281 turmas, respectivamente	Procedimento híbrido obteve melhores soluções finais comparado aos métodos puros aplicados
Dammak et al. [2006]	Alocar exames a salas associado ao problema de horários de exames	Duas formulações utilizando PLI e uma heurística	27 horários, 62 salas e 7, 26 e 27 exames	Heurística proposta não garante uma solução viável

Tabela 2.1: Resumo com os principais estudos relacionados ao PAAS

Estudo	Objetivo	Estratégia	Instância	Resultados
Wasfy e Aloul [2007]	Resolver o PPAU atendendo às regras, otimizando o uso das salas de aula	PLI e os <i>solvers</i> : MiniSAT+, PUB e CPLEX	Real: 3 a 12 turmas; Artificial: 20 a 100 turmas	Modelo proposto é tratável para problemas de tamanho razoável
Constantino et al. [2010]	Minimizar a distância total entre as salas alocadas para aulas um mesmo curso	Abordagens heurísticas iteradas e um algoritmo baseado na VNS	170, 192, 192 salas e 3.927, 4.016 e 3.978 turmas, respectivamente, e 34 horários	Reduziu em mais de 50% a distância total entre as salas de aula do mesmo curso
Kripka et al. [2011]	Minimizar deslocamento dos alunos	Método baseado em SA	140 turmas e 38 salas de aulas	Soluções viáveis melhores que as elaboradas manualmente
Subramanian et al. [2011]	Resolver o PAAS atendendo os requisitos de qualidade definidos no estudo	Meta-heurística BT	248 turmas e 28 salas de aula	Soluções de alta qualidade quando comparado com a solução manual
Elloumi et al. [2014]	Minimizar a capacidade total das salas de aula alocadas	Redução do problema através de dois procedimentos e refinamento com uma adaptação da VNS	29 horários, 54 salas e 369 exames	Bons resultados em comparação com o limite inferior gerado, tendo encontrado 5 soluções ótimas de 29 possíveis
Ovalle et al. [2014]	Resolver o PPHC e PAAS	Solução hierárquica de duas fases utilizando PLI: primeiro o PPHC, depois o PAAS	697 turmas e 60 salas	Solução superior a original com possibilidade de redução de salas e turmas
Thongsanit [2014]	Minimizar custo financeiro ao alocar aulas a salas	PLI e o <i>Excel's Premium Solver</i>	115 aulas e 13 salas	Redução média de 11% ou 27,920 baht

Tabela 2.1: Resumo com os principais estudos relacionados ao PAAS

<b>Estudo</b>	<b>Objetivo</b>	<b>Estratégia</b>	<b>Instância</b>	<b>Resultados</b>
Queiroga et al. [2015]	Minimizar o número de aulas de uma mesma turma alocadas em salas distintas	Modelo em PLI e um algoritmo baseado no problema de listar as Cliques Maximais de um Grafo	645 turmas, 1131 aulas e 60 salas	Alocação em um baixo tempo computacional e respeitando ao máximo as exigências
Phillips et al. [2015]	Resolver o PAAS	Nova formulação baseada nos modelos existentes para o PAAS utilizando PLI	985 e 911 turmas, 1965 e 1866 aulas, e 72 salas; instâncias 2007 ITC	Resolução com rapidez suficiente para obter uma solução ótima de Pareto com relação a medidas de qualidade

## 2.2 Economia de energia com salas de aula

Escassos trabalhos são encontrados relacionados a resolução de problemas de otimização com foco em economia de energia elétrica no uso de salas de aula. Portanto, até a conclusão do presente trabalho, apenas quatro estudos foram detectados. Sethanan et al. [2014], Song et al. [2017] e Xu et al. [2019] propuseram a redução de consumo energético relacionada ao PPHC, enquanto Jindal et al. [2018] abordaram o problema de gerenciamento de energia *Heating, ventilation, and air-conditioning* (HVAC).

Inicialmente, Sethanan et al. [2014] foram pioneiros ao apresentarem um estudo que considerou a questão energética como parâmetro em problemas que envolvem agendamento de salas de aula. Para tal, em uma tentativa de melhorar a eficiência energética nas salas de aula de uma universidade, um algoritmo que utiliza BT foi desenvolvido para resolver o PPHC. Esse algoritmo, visando reduzir o consumo de energia nas salas de aula, considera fatores como transferência de calor, estrutura das salas, condições climáticas e dados energéticos dos equipamentos eletrônicos presentes na sala.

Na formulação do algoritmo proposto por Sethanan et al. [2014], pode-se ressaltar o parâmetro  $OTTV_{q,p,r}$  que representa o valor de transferência térmica geral da sala de aula  $q$  no período de tempo  $p$  no dia  $r$ . Para o cálculo desse parâmetro são necessários os seguintes dados: coeficiente global de transferência de calor através das paredes, relação entre a área da janela e a área total da parede, diferença de temperatura equivalente, coeficiente global de transferência através dos vidros nas paredes, diferença de temperatura entre as condições ambientais e de design de interiores, fator solar e o coeficiente de sombreamento da fenestração.

Seguindo na formulação, a principal variável de decisão presente é a PCL. Ela representa o total de energia consumido e é calculada através da soma de outras duas variáveis de decisão, PAL e PEL. A variável PAL representa o uso de energia no sistema de ar condicionado tendo em seu cálculo os seguintes parâmetros energéticos:  $OTTV_{q,p,r}$ , carga de calor de atividades humanas, carga de calor de um conjunto de alto-falante, carga de calor de uma lâmpada fluorescente, carga de calor de outros aparelhos elétricos em de sala de aula e relação de eficiência energética de um ar-condicionado. Por sua vez, a variável PEL corresponde ao uso de energia dos outros aparelhos elétricos presentes na sala possuindo em seu cálculo os seguintes parâmetros energéticos: consumo de energia das lâmpadas fluorescentes, consumo de energia do conjunto de alto-falante e consumo de

energia de outros aparelhos elétricos em sala de aula [Sethanan et al., 2014].

Para os testes, os semestres passados dos anos letivos de 2006 a 2012 do Departamento de Engenharia Industrial da Universidade Khon Kaen na Tailândia foram utilizados por Sethanan et al. [2014]. Porém, dados quantitativos das instâncias não foram apresentados. Ao final do estudo, os resultados foram comparados com as soluções geradas da forma tradicional, por tentativa e erro, e verificou-se que o algoritmo pode ser usado para reduzir significativamente o consumo de energia das salas de aula obtendo percentuais de redução entre 7,12% e 28,59%. No entanto, para simplificar o problema, foi necessário definir uma série de suposições nos parâmetros que podem ainda não revelar a real economia de energia em potencial. Dentre as suposições pode-se destacar: a variável fator solar que foi utilizada como constante, mas que na verdade deveria variar conforme a hora do dia e o dia do ano e a temperatura ambiente constante em 25° C.

Posterior à Sethanan et al. [2014], Song et al. [2017] propuseram um algoritmo para resolução do PPHC baseado em eficiência energética que apresenta uma solução ideal em termos de uso de energia elétrica em salas de aulas. Esse algoritmo é composto pelas fases de coleta de dados e otimização, e foi operacionalizado no Microsoft Excel utilizando o Evolver como um operador de algoritmos genéticos. Iniciando o método proposto, a fase de coleta de dados envolve o processo de investigar os dados de entrada relacionados as aulas e salas de aula, onde pode-se destacar a necessidade de coleta da potência nominal dos equipamentos elétricos para o cálculo do uso de energia nas salas de aula. A fase de otimização determina a programação ideal de horários que consuma o mínimo possível de energia. Nela o processo de busca para encontrar uma solução ótima é semelhante ao dos algoritmos genéticos. Antes da execução do processo de otimização de fato, no início desta fase são definidas a função objetivo, as restrições críticas e os parâmetros dos algoritmos genéticos.

Quanto à instância, os experimentos realizados por Song et al. [2017] utilizaram dados coletados do prédio de Artes Liberais 1 da Universidade Nacional de Seul, na Coreia do Sul. Esse prédio possui 12 salas de aula e durante o semestre do outono de 2013, composto por 16 semanas, alocou 107 aulas com diferentes requisitos em termos de tipos de sala de aula, cursos de graduação e matrícula de estudantes. Para a identificação de itens de consumo de energia nas salas de aula foi realizada uma pesquisa com a assistência da universidade, possibilitando assim quantificar a taxa de energia consumida por hora nas salas de aulas.

Finalizando o estudo, resultados experimentais evidenciaram que a solução ótima utilizando o algoritmo proposto produz 4% de economia de energia em comparação com a solução existente. Além disso, é alcançado um percentual de redução de energia de até 5% ao relaxar restrições críticas. Entretanto, apesar de solucionar o PPHC com redução de energia, por serem pequenas as diferenças do consumo de energia entre a programação de horários existente e a solução ótima encontrada, há dúvidas quanto a aplicação prática do algoritmo proposto [Song et al., 2017].

Ainda nos trabalhos relacionados à energia, almejando a minimização do consumo total de energia, Jindal et al. [2018] apresentaram um esquema eficiente de gerenciamento de HVAC em salas de aula. Para isso, o problema de gerenciamento de energia HVAC foi formulado como um problema de programação linear inteira mista. Com o objetivo de resolver esse problema foi proposto um algoritmo heurístico que minimiza o uso de HVAC sem afetar o conforto do usuário, otimizando também o custo de realocar as turmas nas salas em um determinado dia.

Segundo Jindal et al. [2018], o consumo de energia do HVAC em uma sala de aula é alterado dependendo do clima externo. Por exemplo, no tempo frio, o aquecedor funciona e, no tempo quente, o ar-condicionado seria ligado. Uma vez que a temperatura ambiente atinja a temperatura desejada, somente o processo de ventilação é acionado pela unidade HVAC. Desse modo, a temperatura pretendida pode ser definida através de dispositivos controlados remotamente colocados nas salas de aula, enquanto a temperatura ambiente atual pode ser obtida por meio de sensores de temperatura.

Para validar o desempenho do esquema proposto, o cenário de simulação de uma universidade, contendo 35 salas, foi tomado como estudo de caso por Jindal et al. [2018]. Os resultados obtidos indicam claramente que o esquema proposto reduz a demanda de energia dos sistemas HVAC em 19,75% durante uma semana inteira sem afetar o conforto do usuário.

Concluindo os estudos relacionados, com o objetivo de reduzir o custo total com energia elétrica nas universidades, Xu et al. [2019] propuseram um modelo de otimização *Demand-side Management* (DSM) integrado que gerencia o consumo energético tanto nas salas de aula quanto nos outros ambientes universitários. Assim sendo, foi adicionado ao tradicional DSM, um novo módulo que controla a programação dos horários das aulas e, conseqüentemente, os dispositivos contidos nas salas de aula em que essas aulas serão alocadas. Em especial, esse módulo também gerencia os equipamentos chamados de

não controláveis tais como: ares-condicionados, equipamentos utilizados nos experimentos, entre outros presentes nos escritórios e laboratórios das universidades. Dessa forma, possibilita tomadas de decisão a partir da dinâmica no preço cobrado pela energia elétrica utilizada por esses equipamentos.

Para solucionar o problema, caracterizado como um problema de programação inteira não linear, Xu et al. [2019] desenvolveram um algoritmo genético de auto cruzamento. Como instância, dados empíricos de uma universidade foram usados para conduzir os testes do módulo e algoritmo propostos. Os resultados mostraram que o DSM com o módulo proposto pode reduzir o custo geral energético da universidade em estudo, assim como o algoritmo apresentado supera os algoritmos de otimização tradicionais para o modelo proposto.

Em uma comparação da situação inicial dos custos energéticos da universidade em questão, tal como com os custos da estratégia tradicional DSM, o novo módulo incorporado ao DSM teve custos mais elevados no caso dos equipamentos controláveis presentes nas salas de aula. Todavia, com relação aos dispositivos não controláveis encontrados nos escritórios e laboratórios de pesquisa, obteve menores custos energéticos, acarretando assim em percentuais totais de economia de 6,1% e 7,2% em relação ao custo inicial da universidade e o DSM tradicional, respectivamente. Isso pode ser explicado principalmente pelo elevado tempo consumido com as pesquisas em detrimento às aulas na universidade estudada.

Apresentados os trabalhos relacionados à economia de energia com salas de aula, é possível notar, até o presente momento, que nenhum estudo propôs diretamente a resolução do PAAS minimizando o consumo energético da utilização de salas de aulas. Desse modo, torna-se relevante verificar o quanto a resolução exclusiva do PAAS pode contribuir com a economia energética nas instituições de ensino. Assim sendo, o próximo capítulo apresenta as características do caso em estudo, PAAS<sub>IFPB</sub>.

### 3 DESCRIÇÃO DO PROBLEMA

O problema descrito neste capítulo,  $PAAS_{IFPB}$ , consiste na alocação das aulas aos locais de aula, salas de aulas e laboratórios de informática, dos *campi* João Pessoa IFPB-JP) e Campina Grande (IFPB-CG) do IFPB. Dentre os 21 *campi* existentes no instituto, o IFPB-JP é o *campus* de maior porte compreendendo um percentual de 41% do total de 35.405 alunos. O segundo maior *campus* do IFPB, Campina Grande, representa 14% dos alunos matriculados. Dessa forma, os dois *campi* em estudo constituem 55% dos alunos de todo o instituto. Em meados de setembro de 2019, o IFPB-JP e IFPB-CG ofertavam 65 cursos nas seguintes modalidades de ensino presentes na Tabela 3.1.

Tabela 3.1: Dados quantitativos referentes aos *campi* IFPB-JP e IFPB-CG

Modalidade de ensino	IFPB-JP		IFPB-CG	
	Cursos	Alunos	Cursos	Alunos
Formação inicial continuada	7	119	2	58
Técnico integrado ao ensino médio	10	2.359	8	1.777
Técnico subsequente (pós ensino médio)	7	2.453	3	1.424
Graduação	17	8.921	5	1.796
Especialização	2	512	0	0
Mestrado	3	222	1	25
<b>Total</b>	<b>46</b>	<b>14.586</b>	<b>19</b>	<b>5.080</b>

É possível observar na Tabela 3.1 que as principais modalidades oferecidas pelo IFPB-JP são as de cursos técnicos e de graduação. Juntas representam aproximadamente

95% dos alunos matriculados nos *campi* como pode ser observado na Figura 3.1. Além da baixa representatividade, as outras modalidades de ensino possuem locais de aula reservados, assim como cursos ofertados por educação a distância. Por isso, as turmas dos cursos técnicos e de graduação são o objeto de estudo deste trabalho.

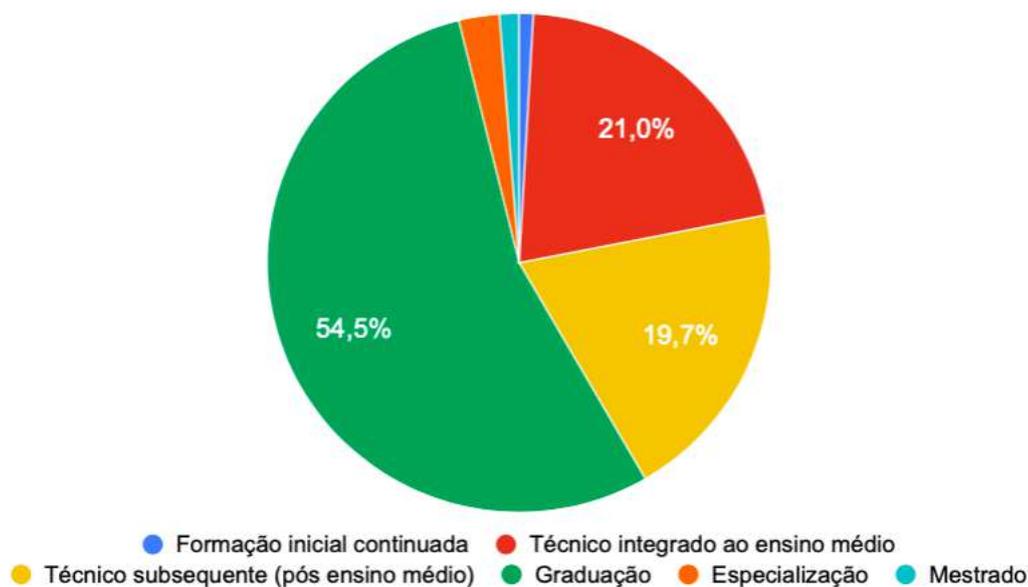


Figura 3.1: Gráfico da distribuição de modalidades no IFPB

Com quase 60 anos desde a sua fundação, o IFPB-JP necessita de constantes reformas tanto para modernização da sua estrutura, bem como acomodar o crescimento institucional. Devido a isso, torna-se difícil precisar o quantitativo padrão de locais de aula no *campus*. A cada novo período letivo pelo menos um local de aula é adicionado ou removido, como poderemos observar posteriormente nas instâncias utilizadas neste trabalho. Por esse motivo, os locais de aula do IFPB-JP presentes no Apêndice B é um retrato da infraestrutura disponível no período 2019.1. Esses locais são distribuídos em 10 blocos acadêmicos que se localizam relativamente próximos. Desse modo, mesmo considerando a maior distância entre dois blocos, essa distância pode ser percorrida rapidamente. Isso é uma característica interessante, pois proporciona maior flexibilidade na alocação das turmas. No Apêndice B são encontradas as informações coletadas dos locais, apresentadas na Seção 4.1, tais como: capacidade, tipo de utilização e consumo energético dos locais de aula.

Em contraste com o IFPB-JP, o *campus* IFPB-CG possui apenas 13 anos de existência, demandando menos alterações estruturais. Todavia, os dados relativos aos locais de aula do *campus* são insipientes, possibilitando apenas o uso do período letivo 2018.1 como

instância no presente estudo. Logo, o Apêndice D apresenta a relação de locais utilizados no período 2018.1 do IFPB-CG. Assim como no IFPB-JP, os locais de aulas do *campus* IFPB-CG também se localizam próximos, sendo encontrados em apenas dois blocos: salas de aula e laboratórios, chamados de células.

Atualmente em ambos os *campi* em estudo, a distribuição das aulas aos locais de aula é feita de forma manual logo após a programação de horários, conforme Figura 3.2. Nos *campi*, existe um sistema que auxilia a geração do quadro de horários das aulas onde a cada novo período é feita uma replicação da programação dos horários, já com a definição do professores, a partir do período letivo anterior. Após a replicação, ajustes pontuais são realizados para o período letivo que será iniciado. Posteriormente à conclusão do quadro de horários é que são definidos manualmente os locais de aula no mesmo sistema citado anteriormente, que ao menos evita o choque de aulas no local.

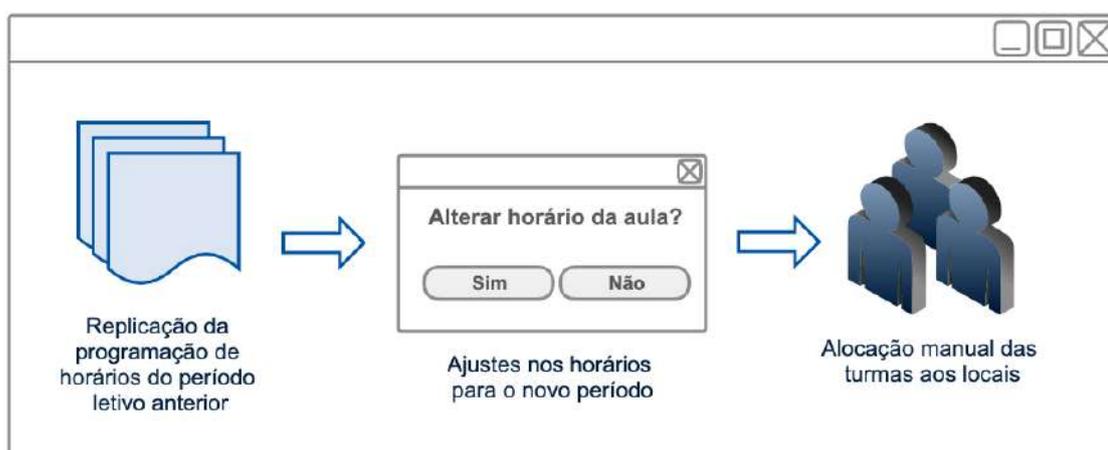


Figura 3.2: Cenário atual da programação de horários e alocação de aulas no IFPB

Igualmente como em grande parte das instituições de ensino, no IFPB existem disciplinas de turmas que requerem apenas sala de aula para serem lecionadas. Outras disciplinas necessitam de laboratórios de informática. E por fim, há disciplinas que obrigatoriamente devem ser alocadas em seus laboratórios específicos, denominadas de disciplinas específicas neste estudo. As turmas de disciplinas específicas não estão presentes nas instâncias utilizadas para testar as formulações propostas neste trabalho, pois já possuem o horário da aula reservado nos laboratórios específicos.

Quanto aos quantitativos relacionados as disciplinas específicas, no IFPB-JP elas compõem 323, 335 e 364 aulas oriundas de 93, 96 e 109 turmas, respectivamente, correspondendo aos períodos 2018.1, 2018.2 e 2019.1, nessa ordem. Já no *campus* IFPB-CG são apenas 18 aulas provenientes de 6 turmas de disciplinas específicas no período estudado,

2018.1. Conseqüentemente no problema tratado, os laborat3rios espec3ficos, que podem ser utilizados como sala de aula ou laborat3rios de inform3tica, possuem apenas os hor3rios dispon3veis que restarem ap3s a reserva das aulas das turmas de disciplinas espec3ficas.

Relativo 3s regras de aloca3o, nos dois *campi* em estudo foram detectados os seguintes conjuntos de regras para obten3o de uma solu3o para o PAAS<sub>IFPB</sub>: b3sicas, institucionais e pol3ticas. As regras b3sicas s3o aquelas presentes em praticamente todos os PAAS. J3 as regras institucionais s3o as que referem 3s quest3es de ordem pedag3gica. E finalmente, as regras pol3ticas que correspondem as prefer3ncias de determinados gestores, em sua maioria coordenadores de curso, portanto, n3o s3o necessariamente obrigat3rias. Diante disso, as seguintes regras foram identificadas.

Regras b3sicas:

- toda aula deve ser alocada em um local de aula;
- todo local de aula deve possuir no m3ximo uma aula alocada em cada *slot* de hor3rio de aula;
- o local de aula deve suportar a quantidade alunos presentes na turma.

Regras institucionais:

- aulas de uma turma que necessite apenas de sala de aula devem ser alocadas na mesma sala de aula;
- aulas de uma turma que necessite de laborat3rio de inform3tica devem ser alocadas no mesmo laborat3rio de inform3tica;
- aulas das turmas dos cursos t3cnicos integrados de uma mesma classe que necessitem apenas de sala de aula devem ser alocadas na mesma sala. No caso, classe 3 conjunto de turmas de um mesmo ano de um curso t3cnico integrado que geralmente possui os mesmos alunos, como por exemplo, 1<sup>o</sup> ano do curso t3cnico em inform3tica.

Regras pol3ticas:

- aulas das turmas dos cursos t3cnicos integrados que necessitem apenas de sala de aula devem ser alocadas no bloco de salas de aula do *campus*;

- aulas das turmas de determinados cursos devem ser alocadas em locais de aula do bloco acadêmico no qual a coordenação do curso está localizada. Essa regra é pertinente apenas para o IFPB-JP, pois no IFPB-CG não existem blocos acadêmicos relacionados à cursos.

Com relação ao estudo de caso, ele foi referente aos períodos letivos 2018.1, 2018.2 e 2019.1 do IFPB-JP, tal como o período 2018.1 do IFPB-CG, de acordo com a Tabela 3.2. Nessa tabela a coluna **Turmas** apresenta o número de turmas presentes nas instâncias do problema. Na coluna seguinte, representando a quantidade de aulas existentes nas turmas existe a coluna **Aulas**. A coluna **Matrícula nas turmas** informa o total de matrículas de alunos nas turmas. Por fim, a coluna **Locais de aula** quantifica os locais de aula disponíveis no período letivo no *campus*.

Tabela 3.2: Dados quantitativos do estudo de caso

<i>Campus</i>	Período letivo	Turmas	Aulas	Matrículas nas turmas	Locais de aula
IFPB-JP	2018.1	949	2.855	24.103	90
IFPB-JP	2018.2	1.004	3.018	25.254	94
IFPB-JP	2019.1	1.025	3.046	25.696	97
IFPB-CG	2018.1	612	1.550	17.253	39

No IFPB, os locais de aula possuem três tipos: salas de aula, laboratórios de informática e híbridos. Os locais híbridos podem ser utilizados tanto como salas de aula como laboratórios de informática, pois contemplam a estrutura necessária para as duas situações, como carteiras e computadores. Com isso, na Figura 3.3 é possível observar de que forma se dá a distribuição dos quantitativos de locais por tipo no período 2018.1 do IFPB-JP, por exemplo. Os quantitativos de locais por tipo das outras instâncias serão detalhados posteriormente na Seção 5.1.

Nos *campi* em estudo, o horário de aulas padrão, que foi o utilizado na resolução do problema, possui aulas de segunda-feira a sexta-feira nos turnos matutino, vespertino e noturno com aulas de 50 minutos de duração conforme a Tabela 3.3. Assim sendo, por dia existem 17 *slots* de aula em cada local de aula.

Referente às capacidade dos locais de aula, embora tenha sido realizada a atua-

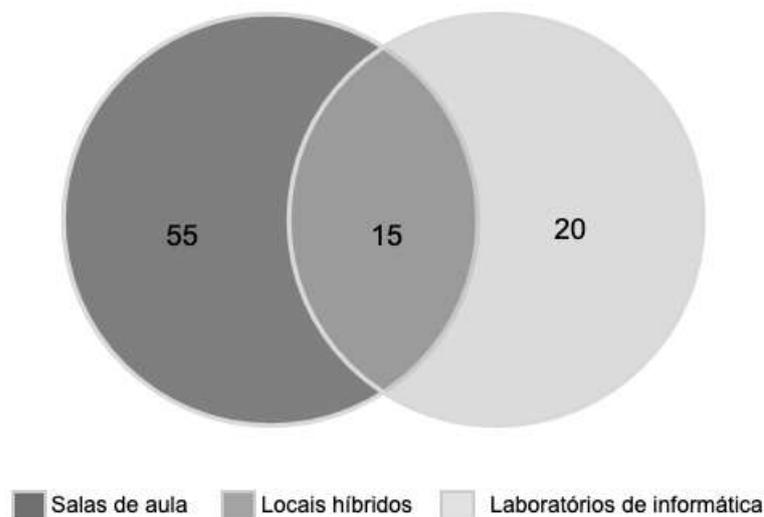


Figura 3.3: Diagrama dos quantitativos de locais do período 2018.1 do IFPB-JP

lização dessas capacidades como descrita na Seção 4.1, com o objetivo de realizar uma comparação adequada entre a solução manual e as soluções geradas pelos cenários de formulações matemáticas, propostos na Seção 4.2, foram consideradas as mesmas capacidades dos locais utilizadas na solução manual.

Tabela 3.3: Horário das aulas dos *campi* IFPB-JP e IFPB-CG

Manhã	Tarde	Noite
07:00 às 07:50	13:00 às 13:50	18:20 às 19:10
07:50 às 08:40	13:50 às 14:40	19:10 às 20:00
08:40 às 09:30	14:40 às 15:30	20:00 às 20:50
09:50 às 10:40	15:50 às 16:40	20:50 às 21:40
10:40 às 11:30	16:40 às 17:30	21:40 às 22:30
11:30 às 12:20	17:30 às 18:20	-

Para finalizar, o custo considerado é relativo ao consumo energético da utilização dos seguintes equipamentos por uma aula em um local de aula: lâmpadas, ares-condicionados, projetor, computador do professor e no caso dos laboratórios de informática, o custo por computador sob demanda da quantidade alunos matriculados na turma. No IFPB-CG, não existe nos locais de aula o computador do professor, por isso, nesse caso, ele não é computado no custo energético.

Perante o exposto, considere um conjunto de turmas  $A = \{1, \dots, n\}$ , um conjunto de locais de aula  $L$  e um conjunto  $H$  de horários das aulas de todas as turmas. Além disso, sejam  $B \subseteq A$  o conjunto de turmas que requerem apenas salas de aula,  $C \subseteq A$  o conjunto de turmas que necessitam de laboratórios de informática,  $B_k \subseteq B$  o conjunto das turmas que requerem apenas salas de aula que possuem o mesmo horário  $k \in H$ ,  $C_k \subseteq C$  o conjunto das turmas que necessitam de laboratórios de informática que possuem o mesmo horário  $k \in H$ ,  $E$  o conjunto das classes dos cursos técnicos integrados,  $D \subseteq B$  o conjunto das turmas dos cursos técnicos integrados que requerem apenas salas de aula,  $D_l \subseteq D$  o conjunto das turmas dos cursos técnicos integrados que requerem apenas salas de aula que compõem a turma  $l \in E$ ,  $J$  o conjunto de cursos que as aulas de suas turmas devem ser alocadas aos locais existentes no bloco acadêmico do qual o curso faz parte,  $F_m \subseteq B$  o conjunto das turmas que requerem apenas salas de aula originárias do curso  $m \in J$ ,  $G_m \subseteq C$  o conjunto das turmas que necessitam de laboratórios de informática originários do curso  $m \in J$ .

Considere também  $S \subseteq L$  o conjunto das salas de aula,  $I \subseteq L$  o conjunto dos laboratórios de informática,  $S_i \subseteq S$  o conjunto das salas de aula que suportam a quantidade de alunos presentes na turma  $i \in B$ ,  $I_i \subseteq I$  o conjunto dos laboratórios de informática que suportam a quantidade de alunos presentes na turma  $i \in C$ ,  $O \subseteq S$  o conjunto das salas de aula presentes nos blocos de salas de aula dos *campi* em estudo,  $O_i \subseteq O$  o conjunto das salas de aula presentes nos blocos de salas de aula dos *campi* em estudo que suportam a quantidade de alunos presentes na turma  $i \in D$ ,  $M_i \subseteq S_i$  o conjunto das salas de aula existentes no bloco acadêmico do curso ao qual a turma  $i$  é originária que suportam a quantidade de alunos presentes nessa turma,  $N_i \subseteq I_i$  o conjunto dos laboratórios de informática existentes no bloco acadêmico do curso ao qual a turma  $i$  é originária que suportam a quantidade de alunos presentes nessa turma e  $H_i \subseteq H$  o conjunto de horários das aulas da turma  $i \in A$ .

Considere ainda  $c_j$  o custo de qualquer aula em um local de aula  $j \in L$ ,  $m_j$  o custo da utilização de um computador por aluno em laboratório de informática  $j \in I$  e  $q_i$  a quantidade de alunos presentes na turma  $i \in C$ . Os locais de aula híbridos estão contidos tanto em  $S$  como em  $I$ , porém essa duplicação é tratada com as restrições que serão apresentadas nas formulações matemáticas posteriormente.

Portanto, o PAAS<sub>IFPB</sub> consiste em alocar as turmas que requerem apenas salas de aula, elementos do conjunto  $B$ , aos locais de aula que podem ser utilizados como salas de

aula, elementos do conjunto  $S$ , assim como alocar as turmas que necessitam de laboratórios de informática, elementos do conjunto  $C$ , aos locais de aula que podem ser utilizados como laboratórios de informática, elementos do conjunto  $I$ , respeitando o limite de capacidade de cada local de aula. Primeiramente o objetivo é encontrar uma solução que tenha um custo energético mínimo. Em uma outra formulação, o objetivo é minimizar a quantidade de locais de aula necessários para alocar todas as aulas.

Quanto à complexidade, o  $\text{PAAS}_{\text{IFPB}}$  é um problema classificado como NP-Completo, pois soluciona a questão se existe uma  $k$ -coloração que resolva o Problema de Coloração de Grafos (PCG) na versão de decisão, estudado por Maffray e Preissmann [1996], que por sua vez também é NP-Completo. Assim sendo, o objetivo do PCG na versão de decisão é verificar a existência de um modo de colorir os vértices de um grafo  $G = (V, E)$  sem que existam vértices adjacentes que possuam a mesma cor utilizando  $k$  cores.

No PCG, cada aresta  $\{i, j\}$  de  $G$  representa a existência do conflito de cor entre vértices adjacentes. Então, na redução do PCG para o  $\text{PAAS}_{\text{IFPB}}$ , cria-se uma instância  $I$  do  $\text{PAAS}_{\text{IFPB}}$  na qual existem  $|V|$  turmas, cada uma representando um vértice distinto de  $G$ ,  $|E|$  horários de aulas distintos entre turmas alocadas em uma mesma sala, onde a aresta  $\{i, j\}$  pertencente a  $G$  representa o choque de horário entre as aulas das turmas  $i$  e  $j$  na mesma sala, e  $k$  salas utilizadas representam as cores. Considerando ainda que a instância  $I$  possui o custo unitário da utilização da sala e apenas salas de aula.

Por fim, ao alocar duas turmas  $i$  e  $j$  pertencentes  $|V|$  respeitando a regra do choque de horário de aula entre elas na mesma sala utilizando  $k$  salas é análogo a colorir dois vértices adjacentes com cores distintas contidos em  $G$  usando  $k$  cores. Dessa forma, a solução de  $I$  contém uma alocação de aulas a salas que é equivalente a uma solução do PCG para  $G$ , afirmando assim que existe uma  $k$ -coloração que solucione o PCG.

O capítulo a seguir descreve a metodologia aplicada na coleta dos dados das instâncias utilizadas neste estudo, bem como apresenta os cenários de formulações propostos para solucionar o  $\text{PAAS}_{\text{IFPB}}$ .

## 4 ASPECTOS METODOLÓGICOS

Neste capítulo serão descritas a metodologia utilizada para a coleta de dados, incluindo os dados energéticos dos locais de aula, e os cenários de formulações matemáticas propostos para resolução do PAAS<sub>IFPB</sub>.

### 4.1 Coleta de dados

Esta seção detalha as etapas realizadas, apresentadas na Figura 4.1, para obtenção dos dados das instâncias utilizadas neste trabalho, enfatizando a coleta dos dados energéticos dos locais de aula.

Como a implantação das soluções propostas neste trabalho provocam apenas alterações de natureza operacional, é recomendado a utilização do método simplificado para o cálculo do consumo energético dos locais de aula. Esse método utiliza o dado energético dos equipamentos presentes nos locais e o tempo de utilização dos mesmos. Em detrimento ao método simplificado, uma modelagem de simulação de energia apesar de mais precisa por conseguir representar a termodinâmica dos locais de aula requer informações mais detalhadas, como intemperismo, características físicas dos prédios, entre outras propriedades, tornando o processo do cálculo energético complexo e demorado [Song et al., 2017].

Além disso, como cada instituição de ensino possui uma realidade diferente, não foi encontrada na literatura uma metodologia para obtenção dos dados que atendesse na totalidade os requisitos para o estudo de caso em questão. Entretanto, com relação aos dados energéticos dos locais de aula, os estudos de Sethanan et al. [2014] e Song et al. [2017] contribuíram para a definição do que deveria ser considerado dentro dos locais de aula para o cálculo do consumo energético dos mesmos. Porém, não detalharam como

conseguiram os dados energéticos das salas de aula utilizados em seus trabalhos.

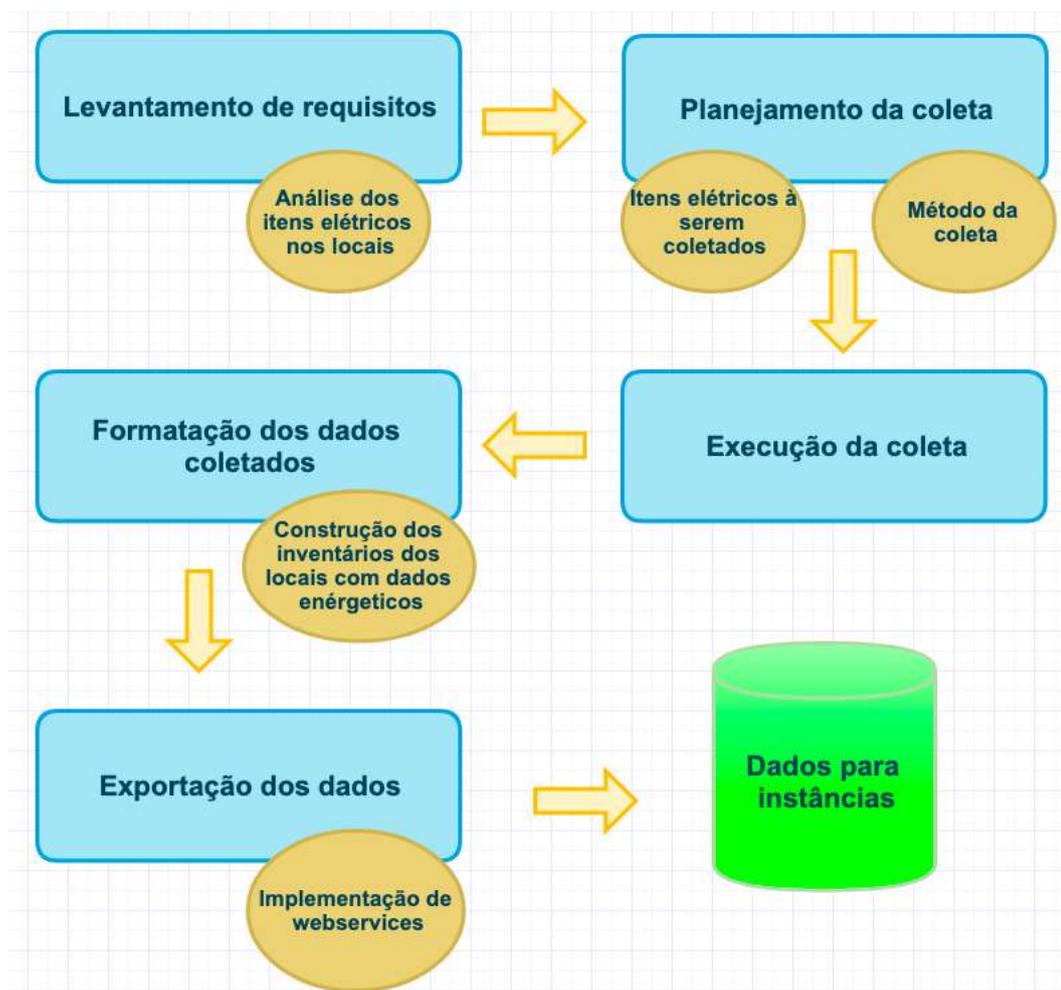


Figura 4.1: Fluxograma da coleta de dados

Assim sendo, a seguir serão descritas as etapas da coleta de dados orientadas pela coleta realizada no IFPB-JP. Posterior à essa coleta, foi realizada a coleta no *campus* IFPB-CG, onde serão apresentadas apenas suas diferenças em relação à coleta no *campus* IFPB-JP. Ao longo desta seção, todos os *scripts* foram desenvolvidos utilizando a linguagem de programação Python.

#### 4.1.1 Levantamento de requisitos

Inicialmente, foi solicitada ao IFPB a permissão para utilização dos seus dados de turmas e locais de aula neste trabalho. Após a liberação, um *script* que gera o relatório de locais de aula dos *campi* foi desenvolvido com objetivo de facilitar a compreensão dos ambientes e suas utilizações, assim como detectar possíveis inconsistências nos dados. Em uma primeira análise do relatório, evidenciou-se que poucos locais de aula possuíam a

capacidade definida. Portanto, haveria necessidade da coleta desse dado ao se visitar os locais de aula.

No IFPB-JP, o setor responsável pela distribuição das aulas aos locais de aula é a Coordenação de Turno, exceto no caso de turmas de disciplinas específicas que a alocação é feita pelas coordenações dos cursos. Com isso, uma reunião com o responsável por essa coordenação foi realizada, onde verificou-se que atualmente a alocação das aulas aos locais é feita de forma manual baseada nas alocações de períodos letivos anteriores seguindo as regras descritas no Capítulo 3. Na reunião, após análise do relatório de locais de aula, constatou-se que existiam locais de aula duplicados, assim como locais que não existiam devido as reformas realizadas no *campus*. Assim sendo, de um total de 182 locais inicialmente, 45 desses locais estavam inativos ou duplicados. Dessa forma, seria necessário visitar 137 locais de aulas para a coleta de dados.

Diferindo do *campus* IFPB-JP, no IFPB-CG não existe um setor centralizado que aloca as turmas aos locais de aula. Essa atividade é realizada pelas próprias coordenações de curso com a mediação da direção de ensino do *campus*. Em vista disso, o levantamento das informações sobre como se procedia as alocações nesse *campus* foi obtida através de um representante da direção envolvido nessa tarefa. Na reunião com esse representante, foi identificado que o processo de alocação das aulas aos locais é igual ao do IFPB-JP, além de detectado que existia apenas um local de aula duplicado no relatório de locais. Nesse sentido, seria preciso visitar 46 ambientes utilizados como locais de aula no IFPB-CG.

Ao final da reunião com a Coordenação de Turno no *campus* IFPB-JP, visitou-se alguns locais de aula com o intuito de planejar como seria realizada a coleta dos dados. Nessa visita foi verificado que diversos equipamentos eletrônicos presentes nos locais não possuíam o selo Inmetro que informa o  $\text{kWh}_{\text{mês}}$ , dado esse inicialmente planejado para uso no cálculo do consumo energético do local de aula. Desse modo, seria necessário registrar a potência do equipamento, para uma posterior conversão em  $\text{kWh}_{\text{mês}}$ , ou o modelo do equipamento, para uma futura pesquisa na especificação técnica. Além disso, uma outra constatação foi a elevada altura que alguns equipamentos estavam instalados. Por isso, apenas com o auxílio de uma câmera fotográfica equipada com um zoom de boa qualidade seria possível registrar qual o  $\text{kWh}_{\text{mês}}$ , potência ou modelo do equipamento.

Ainda na visita inicial, também se observou que alguns locais possuíam divergência entre a capacidade definida no relatório e a capacidade real presente no local. Com isso, existiria a necessidade não apenas de coleta das capacidades faltantes, mas de atualização

de todas as capacidades dos locais.

#### 4.1.2 Planejamento da coleta

Posteriormente a reunião com o setor competente pela alocação no IFPB-JP e as visitas iniciais, definiu-se nos dados quais locais estavam inativos, como também, foi desenvolvido um *script* que remove as duplicações de locais de aula sem perder as referências de suas utilizações pelas turmas. Logo após, um novo relatório de locais de aula foi gerado adicionando as seguintes colunas a serem preenchidas no momento da coleta: quantidade de carteiras, quantidade de estações de alunos, quantidade de lâmpadas, tipo do local, utilização como sala de aula e utilização como laboratório de informática.

No novo relatório, existiam três alternativas para a coluna a tipo do local: sala de aula, laboratório de informática e laboratório específico. No caso, os laboratórios específicos são os que possuem equipamentos característicos para a execução de determinadas disciplinas, como podem ser observados os exemplos na Figura 4.2. Em algumas situações, além dessa especificidade, eles também podem ser utilizados como sala de aula ou laboratório de informática. Portanto, apenas para esses casos é que seria realizada a coleta dos dados nos laboratórios específicos. Devido aos locais híbridos, ou seja, locais que podem ser utilizados tanto como sala de aula quanto como laboratório de informática, exemplificado na Figura 4.3, houve a necessidade da presença das seguintes colunas no relatório: utilização como sala de aula e utilização como laboratório de informática.



(a) Laboratório de Soldagem



(b) Sala de Desenho

Figura 4.2: Exemplos de laboratórios específicos

Ainda na etapa de planejamento, Kim et al. [2012] definiram que o consumo energético de uma sala de aula advém da seguinte composição padrão de equipamentos elétricos:



Figura 4.3: Local de aula híbrido

lâmpadas, TV, VTR, dispositivos de climatização e um computador de mesa. Semelhante ao estudo de Kim et al. [2012], Song et al. [2017] afirmaram que os principais itens que consomem energia nas salas de aula são os equipamentos para climatização e iluminação, além dos recursos necessários para as aulas como computadores e televisões.

Baseado nos estudos citados acima, foi estabelecido que os seguintes equipamentos elétricos teriam dados coletados nos locais de aula: lâmpadas, ares-condicionados, projetor, estação do professor (computador e monitor) e, no caso de laboratórios de informática, as estações dos alunos (computador e monitor). Esse conjunto de equipamentos foi considerado neste trabalho como o padrão necessário para os professores ministrarem suas aulas, ou seja, o consumo deles determinaria o consumo energético de uma aula em um local de aula. Ressaltando que será considerado no cálculo do consumo energético que todos os equipamentos definidos sempre estarão em uso durante as aulas.

É necessário observar, que, diferentemente do IFPB-JP, não existe a estação do professor nos locais de aula do IFPB-CG. Por isso, apenas no caso desse *campus*, esse dado não foi considerado no cálculo do consumo energético de uma aula em um local.

Continuando o planejamento, como seria necessário registrar através de fotografias diversas especificações de equipamentos, devido a altura da instalação dos mesmos, optou-se por fotografar todos os equipamentos com o objetivo de padronizar e agilizar a coleta. Assim sendo, os seguintes passos foram realizados em cada local de aula visitado:

1. fotografia do nome da sala, sempre no início da coleta no local;

2. fotografia de uma lâmpada, dos ares-condicionados, do projetor e da estação do professor;
3. registrar no relatório, a quantidade carteiras presentes no local, a quantidade de lâmpadas, o tipo do local e se o local pode ser utilizado como sala de aula e/ou laboratório de informática;
4. nos laboratórios de informática, fotografia da estação do aluno e registro da quantidade de estações de aluno foram passos adicionais ao processo.

Quanto ao momento em que ocorreria a coleta no *campus* IFPB-JP, esse era outro fator que precisava ser considerado no planejamento. Então, para não causar nenhum transtorno nas aulas, compreendia-se que o período ideal seria durante as férias ou aos sábados. Portanto, devido ao número elevado de locais a serem visitados, 137, optou-se por realizar a coleta durante as férias. Assim sendo, como no calendário letivo constava que o próximo período de férias seria curto, por volta de quinze dias, definiu-se que coleta seria iniciada no fim do período em que o planejamento ocorreu, após o fim das aulas regulares, no período das provas finais. Nesse período já existiria um esvaziamento natural dos locais de aula no campus.

Com o aprendizado da coleta no IFPB-JP, no caso do *campus* IFPB-CG foi definido que a coleta em apenas um sábado seria suficiente, pois o *campus* possui o porte reduzido com somente 46 locais para a coleta, além de uma estrutura mais organizada em relação ao IFPB-JP.

#### 4.1.3 Execução da coleta

Mesmo com o planejamento desenvolvido, na prática, algumas dificuldades surgiram no momento da coleta de dados no IFPB-JP. Primeiramente, o acesso aos locais de aulas ocorreu de forma variada, pois no *campus* existiam locais que as chaves se encontravam com a Coordenação de Turno, outras com as coordenações dos cursos e ainda algumas o acesso se dava de forma eletrônica. Dessa forma, sincronizar esses três tipos de acessos em uma coleta sequencial de salas nem sempre foi possível. Com isso, houve necessidade de retorno ao mesmo prédio algumas vezes por existirem corredores de locais de aulas que possuíam os três tipos de acesso.

Somado ao problema com o acesso aos locais, uma outra dificuldade enfrentada foi encontrar os locais de aula, pois os nomes dos locais que constam no sistema em boa

parte das vezes estavam diferentes dos presentes nas portas dos locais. Assim sendo, esse mapeamento dos nomes do sistema para os que constam na portas demandou tempo, ocasionando atraso na coleta. Diante dessas dificuldades, as visitas aos locais de aula e coleta de dados consumiram dez dias com uma jornada de seis horas diárias utilizando um único coletador.

Já no *campus* IFPB-CG, a coleta foi executada como planejado, ocorrendo em um único sábado e consumindo apenas cinco horas de um coletador. Essa agilidade pode ser explicada devido ao acesso e localização dos locais que foram bem mais facilitados em relação ao *campus* IFPB-JP.

A Figura 4.4 exemplifica o registro das fotografias dos locais de aula durante a coleta.

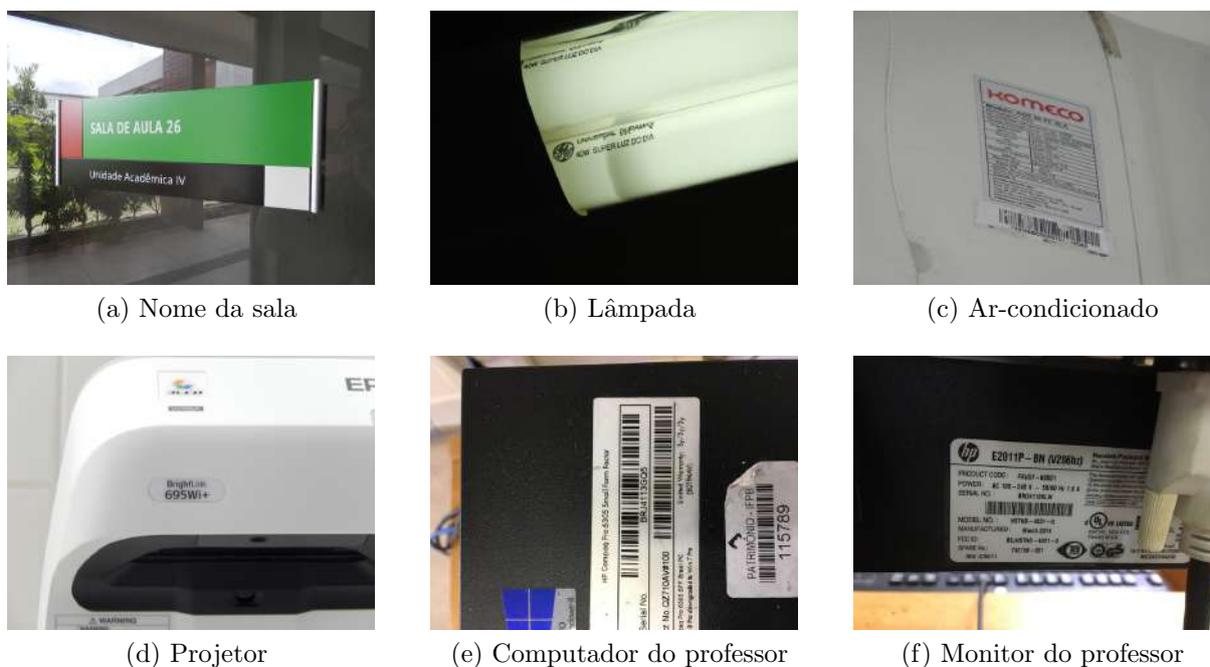


Figura 4.4: Fotografias registradas de um local de aula do IFPB-JP

#### 4.1.4 Formatação dos dados coletados

Logo após a conclusão da coleta, foi necessário o desenvolvimento de uma planilha para organizar os dados obtidos. Por isso, inicialmente foi desenvolvida uma relação de equipamentos elétricos existentes nos locais de aula com base nas fotografias registradas, Apêndice A, no caso IFPB-JP, e Apêndice C para o IFPB-CG. A partir dessa relação foi criado um inventário de cada local de aula com o propósito de computar o consumo energético do local, exemplificado na Figura 4.5. Assim sendo, para os equipamentos que

já possuíam o  $kWh_{mês}$  nas fotografias esse dado foi registrado diretamente no inventário. Entretanto, com relação aos equipamentos que não dispunham do  $kWh_{mês}$  foi preciso uma pesquisa nas especificações disponibilizadas nos sites dos fabricantes para obtenção do dado. Porém, nem todas as especificações informavam o  $kWh_{mês}$ . Algumas informavam apenas a potência (W), tornando necessária a conversão da potência em  $kWh_{mês}$  através da seguinte fórmula:

$$kWh_{mês} = \frac{30 \times W}{1000} \quad (4.1)$$

Por fim, uma nova conversão foi realizada com o objetivo de padronizar a unidade de consumo de energia de uma aula, que possui 50 minutos de duração no IFPB, em um local de aula. Para tal, converteu-se o total consumido por um local de  $kWh_{mês}$  para  $kWh_{aula}$  utilizando a seguinte fórmula:

$$kWh_{aula} = \frac{50 \times \frac{kWh_{mês}}{30}}{60} \quad (4.2)$$

Em seguida a construção do inventário, os dados registrados nas colunas adicionadas, citadas na Subseção 4.1.2, no relatórios de locais de aula foram repassados ao inventário com o objetivo de unificar os dados dos locais de aulas disponibilizados pelo IFPB com os dados já formatados do inventário.

ID Sala	Sala	Item	Qtd	kWh/mês	Potência(W)	Total kWh/mês
1075	SALA DE INFORMÁTICA 02	AR CONDICIONADO MIDEA 22.000 LIVIA 42VFCA22M5	2	40,3		80,6
		PROJETOR EPSON POWERLITE X12	1	8,1	270	8,1
		LÂMPADA 40W	20	1,2	40	24
		COMPUTADOR HP ELITEDESK 705 G3 MINI	1	1,95	65	1,95
		MONITOR HP 21.5 22MP55PY - B (V225HZ)	1	0,57	19	0,57
		Total kWh/mês				115,22
		Total kWh/aula(50 min)				3,200555556
		COMPUTADOR HP ELITEDESK 705 G3 MINI	29	1,95	65	-
MONITOR HP 21.5 22MP55PY - B (V225HZ)	29	0,57	19	-		
		<b>Custo por PC - kWh/aula(50 min)</b>		<b>0,07</b>		

Figura 4.5: Exemplo do inventário de um local de aula

#### 4.1.5 Exportação dos dados

Uma nova funcionalidade de gerência dos locais de aula foi implementada no sistema acadêmico e administrativo do IFPB, SUAP, com a finalidade de possibilitar a alimentação

dos dados do inventário no sistema, tal como uma posterior exportação unificada das instâncias. O SUAP é desenvolvido utilizando Django, *framework web* em Python.

Com isso, a Figura 4.6 apresenta a tela da funcionalidade desenvolvida onde os seguintes campos foram adicionados no cadastro de locais de aula: tipo do local, uso como sala de aula, uso como laboratório de informática, quantidade de carteiras, consumo energético por aula, quantidade de computadores e consumo energético da estação do aluno por aula.

#	ID	ID Sala	Bloco	Descrição	Ativo	Tipo	Pode ser sala de aula	Pode ser lab. de informática	Quantidade de carteiras	Gasto Energético por Aula (kWh)	Quantidade de computadores	Gasto Energético por Computador por Aula (kWh)	Última Utilização	Qtd de Utilizações
1	1459		BLOCO DE EDIFICAÇÕES	LABORATÓRIO DE MATERIAIS 2	✓	Lab. Específico	✓	✗	17	3.8827777780	-	-	2019.1	11
24	1791		BLOCO DE TELECOMUNICAÇÕES	AFERIÇÃO E CALIBRAÇÃO DE EQUIPAMENTOS BIOMÉDICOS	✓	Lab. Específico	✓	✓	13	2.4988888890	8	0.2183333333	2018.2	23
28	1081		BLOCO DE ENGENHARIA ELÉTRICA	AUDITORIO DE ENGENHARIA ELÉTRICA	✓	Sala de Aula	✓	✗	52	5.5875000000	-	-	2018.2	67
40	1766		BLOCO DE ELETROTÉCNICA	CIRCUITOS DIGITAIS E TCC - A-137	✓	Lab. Específico	✓	✗	16	2.5291666670	-	-	2018.2	9
41	914		BLOCO DE ELETROTÉCNICA	COMANDOS ELÉTRICOS E AUTOMAÇÃO - A-136	✓	Lab. Específico	✓	✓	22	5.3005555560	17	0.2166666667	2018.2	23
52	822		BLOCO DE MECÂNICA	DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA	✓	Lab. Específico	✗	✗	-	-	-	-	2018.2	8

Figura 4.6: Tela da funcionalidade de gerência de locais

Baseado nos dados inseridos do inventário, foi desenvolvido um *script* que define quais disciplinas requerem laboratórios específicos, ou seja, disciplinas que só podem ser lecionadas em um determinado laboratório. Essa definição se faz necessária para que no momento da exportação das instâncias os horários das aulas das turmas dessas disciplinas nesses laboratórios não estejam disponíveis para alocação de outras aulas.

Para finalizar o processo de coleta de dados, foram implementados no SUAP *web-services* que exportam os dados de turmas e locais de aula no formato JSON, facilitando assim a geração das instâncias que foram utilizadas neste trabalho. Desse modo, os seguintes serviços foram disponibilizados:

- `get_locais_sala`: retorna os dados dos locais de aula que podem ser utilizados como sala de aula;

- `get_locais_info`: retorna os dados dos locais de aula que podem ser utilizados como laboratório de informática;
- `get_turmas_sala`: retorna os dados das turmas, e seus horários de aula, que precisam ser alocadas em salas de aula;
- `get_turmas_info`: retorna os dados das turmas, e seus horários de aula, que precisam ser alocadas em laboratórios de informática;
- `get_horarios_indisponiveis`: retorna os horários de aula indisponíveis nos locais de aula do tipo laboratório específico;
- `get_valor_manual`: retorna o valor total de kWh<sub>aula</sub> consumido pelas aulas nos locais de aula com a alocação realizada manualmente.

Todos os serviços utilizam uma mesma consulta base ao banco de dados, adicionadas as especificidades de cada serviço, para manter a consistência das instâncias exportadas. Devido as instâncias utilizadas, todos os serviços recebem como parâmetro as seguintes informações: ano letivo, período letivo e *campus*. Por último, o valor retornado por `get_valor_manual` será utilizado para fins de comparação com as soluções propostas adiante.

A Figura 4.7 apresenta um exemplo dos arquivos JSON exportados. Nela, a Subfigura 4.7a exemplifica os dados retornados pelos serviços `get_locais_sala` e `get_locais_info`, que, no caso, é um local de aula híbrido. Já os serviços `get_turmas_sala` e `get_turmas_info` retornam os dados segundo o exemplo da Subfigura 4.7b, onde a abreviação do horário 6V1, por exemplo, representa sexta-feira, vespertino, primeiro horário, respectivamente. Por fim, a Subfigura 4.7c é um trecho dos horários reservados nos laboratórios específicos retornado por `get_horarios_indisponiveis`, no qual o número posterior ao sublinhado é o identificador do local.

## 4.2 Formulações matemáticas

Devido aos objetivos e características específicas de cada instituição de ensino, é comum estudos que propõem soluções para o PAAS apresentarem suas próprias formulações, ou seja, geralmente, na prática, cada formulação é única em sua totalidade para o caso resolvido do PAAS. Todavia, existem duas restrições que estão presentes em praticamente

```
"117": {
  "id": 117,
  "nome": "LAB. DE AUTOMAÇÃO Ai-06",
  "id_bloco": 58,
  "tipo": 2,
  "qtd_carteiras": 31,
  "custo_por_aula": 3.529722222,
  "qtd_pc": 20,
  "custo_pc_por_aula": 0.2241666667
}

"24520": {
  "id": 24520,
  "disciplina": "Contabilidade Pública",
  "id_curso": 70,
  "id_classe": 10516,
  "qtd_alunos": 33,
  "horarios_aulas": {
    "59297": {"abreviacao": "6V1"},
    "59298": {"abreviacao": "6V2"}
  }
},

"horarios_salas_especificos": [
  "5N5_65",
  "4V4_24",
  "2M4_115"
]
```

(a) Local

(b) Turma

(c) Horários reservados

Figura 4.7: Exemplo dos dados exportados em JSON

todas as formulações descritas para o PAAS [Carter e Tovey, 1992; Ovalle et al., 2014; Queiroga et al., 2015]:

- toda aula deve ser alocada em uma sala de aula;
- cada *slot* de horário de aula em um sala de aula deve possuir no máximo uma aula alocada.

Direcionado pelas regras colocadas no Capítulo 3, que incluem essas restrições citadas anteriormente, a presente seção descreve as formulações matemáticas propostas neste trabalho. Nela são detalhadas as variáveis de decisão, funções objetivo, restrições e os cenários de uso de cada formulação matemática.

#### 4.2.1 Variáveis de decisão

O desenvolvimento das formulações propostas demandou a utilização de seis tipos variáveis de decisão. Assim sendo, defina  $x_{ikj}$  como sendo uma variável binária que assumirá o valor 1 quando o horário de aula  $k \in H_i$  da turma  $i \in B$  for alocada em um local de aula  $j \in S_i$  e  $y_{ij}$  como sendo uma variável binária que assumirá o valor 1 quando uma turma  $i \in B$  for alocada em um local de aula  $j \in S_i$ . Analogamente as variáveis  $x_{ikj}$  e  $y_{ij}$ , tem-se as variáveis  $t_{ikj}$  e  $u_{ij}$  respectivamente, porém relacionadas as conjuntos  $I_i$  e  $C$ .

Defina também,  $w_{lj}$  como sendo uma variável binária que assumirá o valor 1 quando a classe  $l \in E$  for alocada na sala  $j \in S$ , assim como  $z_j$  como sendo uma variável binária que assumirá o valor 1 quando um local de aula  $j \in L$  for utilizado por pelo menos uma aula.

#### 4.2.2 Funções objetivo

Esta subseção apresenta as duas funções objetivo existentes nas formulações propostas. Primeiramente é apresentada a função objetivo que minimiza os custos energéticos associados ao uso do locais de aula, foco principal deste estudo, assim como a função que busca a quantidade mínima de locais necessários para a solução do problema.

#### Minimização de custos energéticos

A função objetivo (4.3) minimiza o custo energético da utilização de locais de aula pelas aulas. Na função, a primeira parte da expressão onde se localiza a variável  $x_{ikj}$  é relativa à contabilização dos custos energéticos referentes as salas de aula. A segunda parte, relacionada a variável  $t_{ikj}$ , é referente aos custos do uso dos laboratórios de informática, sob demanda da quantidade de alunos presentes na turma através de  $q_i$ .

$$\text{Min} \sum_{i \in B} \sum_{k \in H_i} \sum_{j \in S_i} c_j x_{ikj} + \sum_{i \in C} \sum_{k \in H_i} \sum_{j \in I_i} (c_j + q_i m_j) t_{ikj} \quad (4.3)$$

#### Minimização do uso de locais de aula

A função objetivo (4.4) minimiza a quantidade de locais de aula necessários para alocação de todas as aulas.

$$\text{Min} \sum_{j \in L} z_j \quad (4.4)$$

### 4.2.3 Restrições

Esta subseção descreve todas as restrições presentes nas formulações matemáticas propostas. Elas são baseadas nas regras básicas, institucionais e políticas descritas no Capítulo 3.

#### **Restrições básicas 1 (RB1): Toda aula deve ser alocada em um local**

É uma regra básica representada pelas restrições (4.5), referente às salas de aula, e (4.6), relativas aos laboratórios de informática. As restrições (4.5) obrigam todas as aulas das turmas  $i \in B$  serem alocadas em alguma sala de aula  $j \in S_i$  que suporte a quantidade de alunos matriculados na turma. Por sua vez, as restrições (4.6) forçam todas as aulas das turmas  $i \in C$  serem alocadas em algum laboratório de informática  $j \in I_i$  que suporte a quantidade de alunos matriculados.

$$\sum_{j \in S_i} x_{ikj} = 1, \quad \forall i \in B, \forall k \in H_i \quad (4.5)$$

$$\sum_{j \in I_i} t_{ikj} = 1, \quad \forall i \in C, \forall k \in H_i \quad (4.6)$$

#### **Restrições básicas 2 (RB2): Todo horário de um local pode receber apenas uma aula**

Também considerada uma regra comum no PAAS, as restrições (4.7) evitam o conflito de aulas no mesmo horário no mesmo local de aula, impedindo que um horário de um local possua mais de uma aula alocada.

São nessas restrições que são tratadas as duplicações dos locais híbridos que estão contidos tanto no conjunto  $S$  quanto no  $I$ . Portanto, caso  $j \in L$  seja um local híbrido e existam turmas que necessitem apenas de sala, assim como turmas que precisem de laboratórios de informática, que possuam aulas no mesmo horário  $k \in H$ , formando os conjuntos  $B_k$  e  $C_k$ , respectivamente, apenas umas das variáveis  $x_{ikj}$  e  $t_{ikj}$  serão verdadeiras. Dessa forma, determinando assim se naquele determinado horário  $k \in H$  o local de aula  $j \in L$  será utilizado como sala de aula ou laboratório de informática.

$$\sum_{i \in B_k} x_{ikj} + \sum_{i \in C_k} t_{ikj} \leq 1, \quad \forall j \in L, \forall k \in H \quad (4.7)$$

**Restrições institucionais 1 (RI1): Aulas de uma mesma turma alocadas no mesmo local**

Essa é uma regra muito comum em diversas instituições de ensino, porém não obrigatória. Entretanto, no presente estudo ela foi definida como uma regra institucional pelo IFPB devido aos possíveis transtornos que sua ausência acarretaria, representada através das restrições (4.8) e (4.9).

Desse modo, as restrições (4.8) impõem que caso uma aula de uma turma que pertence a  $B$  seja alocada em uma sala de aula  $j \in S_i$ , todas as outras aulas desta mesma turma sejam alocadas naquela mesma sala de aula. Nesse sentido, caso a variável  $x_{ikj}$  seja verdadeira, a  $y_{ij}$  também será verdadeira, tornando todas as outras variáveis  $x_{ikj}$  relacionadas a  $y_{ij}$  também verdadeiras. As restrições (4.9) são análogas as restrições (4.8), porém relacionadas aos conjuntos  $C$  e  $I_i$  referentes à utilização dos laboratórios de informática.

$$x_{ikj} = y_{ij}, \quad \forall i \in B, \forall k \in H_i, \forall j \in S_i \quad (4.8)$$

$$t_{ikj} = u_{ij}, \quad \forall i \in C, \forall k \in H_i, \forall j \in I_i \quad (4.9)$$

**Restrições institucionais 2 (RI2): Aulas de uma mesma classe dos cursos integrados na mesma sala**

Essa também é uma regra institucional colocada pelo IFPB devido ao perfil dos alunos dos cursos técnicos integrados, bem como existir o conceito de classe, conjunto de turmas de um mesmo ano de um curso técnico integrado. Essa regra é definida através das restrições (4.10) que determinam que as aulas das turmas de disciplinas que requerem apenas sala de aula dos cursos técnicos integrados de uma mesma classe devem ser alocadas na mesma sala. Para tanto, as restrições (4.10) seguem a mesma lógica das restrições (4.8)

e (4.9), onde caso uma aula da classe  $l \in E$  da turma  $i \in D_l$  seja alocada em uma sala  $j \in S_i$ , todas as aulas das outras turmas contidas em  $D_l$  devem ser alocadas nessa mesma sala  $j$ .

$$x_{ikj} = w_{lj}, \quad \forall l \in E, \forall i \in D_l, \forall k \in H_i, \forall j \in S_i \quad (4.10)$$

### Restrições políticas 1 (RP1): Aulas dos cursos integrados no bloco de salas

Definida como um regra política, ela retrata uma preferência da gestão em agrupar todas as aulas que requerem apenas salas dos cursos técnicos integrados no bloco de salas de aula. No entanto, ela não é obrigatória, principalmente se o objetivo da resolução do PAAS for outro, como é o caso deste trabalho. Essa regra é retratada pelas restrições (4.11), semelhantes as restrições (4.5), porém limitam as possibilidades de alocação das aulas de turmas que requerem apenas sala de aula dos cursos técnicos integrados  $i \in D$  às salas de aula presentes no bloco de salas de aula  $j \in O_i$  do *campus* em questão.

$$\sum_{j \in O_i} x_{ikj} = 1, \quad \forall i \in D, \forall k \in H_i \quad (4.11)$$

### Restrições políticas 2 (RP2): Aulas do curso nos locais do bloco do curso

Apresentada apenas pelo IFPB-JP, foi também estabelecida como regra política, pois simboliza uma simples preferência das coordenações de determinados cursos em alocar todas as aulas do curso no bloco do curso, geralmente onde se localiza a coordenação do curso. Assim como (4.11), as restrições (4.12) e (4.13) que determinam essa regra são similares as restrições (4.5).

No caso, as restrições (4.12) obrigam que as aulas de turmas que requerem apenas sala de aula  $i \in F_m$  de um determinado curso  $m \in J$  sejam alocadas nas salas do bloco do curso  $j \in M_i$ . As restrições (4.13) são análogas as restrições (4.12), porém relativas aos conjuntos  $G_m$  e  $N_i$  relacionados as alocações nos laboratórios de informática.

$$\sum_{j \in M_i} x_{ikj} = 1, \quad \forall m \in J, \forall i \in F_m, \forall k \in H_i \quad (4.12)$$

$$\sum_{j \in N_i} x_{ikj} = 1, \quad \forall m \in J, \forall i \in G_m, \forall k \in H_i \quad (4.13)$$

### Restrições de uso (RU): Uso de um local de aula

As restrições (4.14) e (4.15) sinalizam a utilização de um local de aula por uma aula. Essas restrições são utilizadas nas formulações apenas no caso que o objetivo seja minimizar a quantidade de locais necessários para a solução do PAAS, representado pela função objetivo (4.4). Assim sendo, as restrições (4.14) indicam a utilização de uma sala de aula  $j \in S_i$  caso uma aula de uma turma que pertence ao conjunto  $B$  seja alocada nessa sala. Relativas aos laboratórios de informática, as restrições (4.15) são semelhantes as (4.14), no entanto, relacionadas aos conjuntos  $C$  e  $I_i$ .

$$z_j \geq x_{ikj}, \quad \forall i \in B, \forall k \in H_i, \forall j \in S_i \quad (4.14)$$

$$z_j \geq t_{ikj}, \quad \forall i \in C, \forall k \in H_i, \forall j \in I_i \quad (4.15)$$

### Natureza das variáveis

As restrições (4.16)–(4.21) determinam a natureza das variáveis de decisão utilizadas em cada cenário de formulação apresentado a seguir.

$$x_{ikj} \in \{0, 1\}, \quad \forall i \in B, \forall k \in H_i, \forall j \in S_i \quad (4.16)$$

$$t_{ikj} \in \{0, 1\}, \quad \forall i \in C, \forall k \in H_i, \forall j \in I_i. \quad (4.17)$$

$$y_{ij} \in \{0, 1\}, \quad \forall i \in B, \forall j \in S_i \quad (4.18)$$

$$u_{ij} \in \{0, 1\}, \quad \forall i \in C, \forall j \in I_i \quad (4.19)$$

$$w_{lj} \in \{0, 1\}, \quad \forall l \in E, \forall j \in S. \quad (4.20)$$

$$z_j \in \{0, 1\}, \quad \forall j \in L. \quad (4.21)$$

#### 4.2.4 Cenários de formulações

Devido principalmente as regras políticas e a análise do impacto de cada restrição isoladamente no consumo energético, foram propostos cenários de formulações que variam do cenário C1 ao C11. Com isso, os cenários C1 ao C9 visam minimizar os custos energéticos da utilização dos locais de aula pelas aulas, contendo a função objetivo (4.3), enquanto os cenários C10 e C11 tem como objetivo determinar o número mínimo de locais de aula para que todas as aulas sejam alocadas, possuindo (4.4) como função objetivo.

A Tabela 4.1 apresenta a composição de cada cenário de acordo com as restrições definidas na Subseção 4.2.3. Nessa tabela, a coluna **Cenário** representa o cenário de formulação definido e as demais colunas indicam a existência das referidas restrições na formulação matemática do cenário. Vale salientar que todos os cenários em questão possuem as restrições pertinentes às variáveis de decisão presentes em suas formulações.

Tabela 4.1: Cenários de formulações matemáticas

Cenário	RB1	RB2	RI1	RI2	RP1	RP2	RU
C1	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
C2	✓	✓	✓	✓			✓
C3	✓	✓	✓	✓	✓		
C4	✓	✓	✓	✓			
C5	✓	✓					✓
C6	✓	✓			✓		
C7	✓	✓		✓			
C8	✓	✓	✓				
C9	✓	✓					
C10	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
C11	✓	✓	✓	✓	✓		✓

O cenário C1 tem como objetivo verificar o potencial de economia de energia aplicando todas as regras definidas, inclusive as políticas. Por isso, C1 possui todas as restri-

ções apresentadas, com exceção das relacionadas à minimização da quantidade de locais, (4.14) e (4.15) contidas em RU.

No cenário C2 as restrições (4.11), RP1, contidas em C1, oriundas das regras políticas, são relaxadas com o propósito de analisar a interferência no consumo de energia da obrigatoriedade da alocação das aulas de um curso nos locais do bloco desse curso. Nesse mesmo sentido, existe o cenário C3, análogo à C2, todavia relaxando as restrições (4.12) e (4.13), RP2, ao invés das restrições (4.11) com o objetivo de quantificar o quanto alocar as aulas dos cursos técnicos integrados apenas nas salas do bloco de salas de aula reduzem o potencial econômico de energia.

O cenário C4 tem a finalidade de apresentar o quanto poderia ser economizado de energia caso as regras políticas não fossem adotadas. Assim sendo, as restrições políticas (4.11)–(4.13), presentes em RP1 e RP2 são relaxadas em C4.

Os cenários C5 ao C8 visam apontar particularmente o impacto de cada regra institucional e política no consumo de energia. Todos esses cenários possuem as restrições básicas (4.5)–(4.7), contidas em RB1 e RB2. O cenário C5 tem como objetivo verificar o quanto alocar as aulas de determinados cursos em seus respectivos blocos reduzem a economia de energia. Para isso, são adicionadas no cenário C5 as restrições (4.12) e (4.13), RP2. Por sua vez, no cenário C6 são acrescentadas as restrições (4.11), RP1, para verificar o quanto alocar as aulas dos cursos técnicos integrados apenas no bloco de salas contribui com o aumento do consumo energético. Já no cenário C7, com o objetivo de observar o quanto alocar as aulas de uma mesma classe na mesma sala impactam no potencial de economia de energia são incluídas as restrições (4.10), RI2. Por último, no cenário C8 são adicionadas as restrições (4.8) e (4.9), RI1, com intuito de quantificar o acréscimo do consumo de energia ao alocar as aulas de uma mesma turma no mesmo local de aula.

No cenário C9 todas as restrições são relaxadas, com exceção das restrições básicas (4.5)–(4.7), presentes em RB1 e RB2. Dessa forma, as aulas de uma mesma turma podem ser alocadas em locais diferentes. Embora isso possa ser considerado indesejado na prática, o propósito desse cenário é de quantificar os potenciais ganhos em termos de economia de energia de se adotar tal estratégia, além viabilizar a comparação com os cenários C5 ao C8.

Por fim, o cenário C10 minimiza o quantitativo de locais para a solução do PAAS<sub>IFPB</sub>. Nele o objetivo é constatar com quantos locais é possível alocar todas as aulas mesmo aplicando todas as restrições definidas neste trabalho, (4.5)–(4.21). Esse ce-

nário será utilizado apenas para o caso do IFPB-JP. No campus IFPB-CG, como nele não existe a regra representada pelas restrições (4.12) e (4.13), RP2, foi definido o cenário C11 apenas para esse *campus*, relaxando tais restrições existentes no cenário 10.

O próximo capítulo detalha os resultados obtidos com os cenários de formulações propostos utilizando as instâncias definidas neste estudo.

## 5 RESULTADOS COMPUTACIONAIS

Neste capítulo serão apresentadas as instâncias utilizadas nos cenários de formulações, tal como os resultados alcançados, em todos os cenários propostos, relativos à minimização de custos energéticos e da quantidade de locais necessários para solucionar o  $PAAS_{IFPB}$ .

Os experimentos computacionais foram realizados em um computador com processador Intel® Core™ i5 com 1.80 GHz, 8.0 GB de memória RAM e sistema operacional macOS Mojave. A linguagem de programação utilizada nas implementações dos modelos matemáticos foi C++ e o *solver* de PLI adotado foi o CPLEX versão 12.7.

### 5.1 Instâncias

As instâncias aplicadas para testar os modelos matemáticos foram extraídas do SUAP através dos serviços implementados citados na Subseção 4.1.5. Elas foram geradas baseadas nas alocações manuais realizadas nos períodos 2018.1, 2018.2 e 2019.1 do IFPB-JP, e 2018.1 do IFPB-CG, sendo nomeadas de  $2018.1_{JP}$ ,  $2018.2_{JP}$ ,  $2019.1_{JP}$  e  $2018.1_{CG}$ , respectivamente.

Compreendendo as instâncias nomeadas, os quantitativos de dados dos principais conjuntos utilizados em cada instância, definidos no Capítulo 3, são apresentados na Tabela 5.1. Contudo, é importante salientar que a quantidade presente na coluna  $|L|$  não representa a soma das colunas  $|S|$  e  $|I|$  devido a existência dos locais de aula híbridos, tal como nas instâncias do *campus* IFPB-JP foi utilizado o mesmo conjunto de quatro cursos representados na coluna  $|J|$ , em que suas aulas devem ser alocadas nos seus respectivos blocos acadêmicos.

Em todos os resultados apresentados a partir da próxima seção, foram considerados

Tabela 5.1: Dados quantitativos dos principais conjuntos das instâncias testadas

<b>Instância</b>	$ A $	$ B $	$ C $	$ D $	$ E $	$ J $	$ H $	$ L $	$ S $	$ I $	$ O $
2018.1 <sub>JP</sub>	949	793	156	380	37	4	2855	90	70	35	18
2018.2 <sub>JP</sub>	1004	855	149	382	37	4	3018	94	73	37	19
2019.1 <sub>JP</sub>	1025	880	145	441	39	4	3046	97	78	34	26
2018.1 <sub>CG</sub>	612	575	37	408	28	0	1550	39	36	7	30

o período regular do semestre letivo, 100 dias, para o cálculo do total de kWh consumidos, além da tarifa com impostos cobrada pelo kWh consumido como sendo R\$ 0,82961. Para refletir valores monetários atualizados foi considerada a tarifa cobrada ao poder público no mês de outubro de 2019.

Seguindo a definição de dados, a Tabela 5.2 exibe os dados do consumo energético da utilização dos locais de aula pelas aulas na estratégia atual aplicada pela *campi* em estudo, a alocação manual. Essa tabela servirá como parâmetro de comparação com os resultados alcançados pelos cenários de formulações que serão posteriormente. Ainda nessa tabela, a coluna **Instância** indica a instância utilizada, ou seja, o período letivo do *campus* computado. **kWh** aponta o total de kWh consumido no período de 100 dias letivos com a solução manual e a coluna **Custo** representa o quanto, em reais, esse total de kWh custou.

Tabela 5.2: Dados da alocação manual das instâncias definidas

<b>Instância</b>	<b>kWh</b>	<b>Custo</b>
2018.1 <sub>JP</sub>	183.284,67	R\$ 152.054,79
2018.2 <sub>JP</sub>	188.823,33	R\$ 156.649,73
2019.1 <sub>JP</sub>	196.666,67	R\$ 163.156,63
2018.1 <sub>CG</sub>	70.404,67	R\$ 58.408,42

Por fim, na implementação das formulações matemáticas, já de posse das instâncias a serem testadas, foi realizado um pré-processamento para construção de todos os conjuntos descritos no Capítulo 3 onde seu tempo de execução consumiu menos de dois segundos.

## 5.2 Minimização dos custos energéticos

Nesta seção serão apresentados os resultados alcançados com as instâncias definidas na Seção 5.1 nos cenários C1 ao C9, determinados na Subseção 4.2.4, que minimizam os custos energéticos associados ao uso dos locais de aulas pelas aulas.

### 5.2.1 Instância: 2018.1<sub>JP</sub>

Inicialmente, a Tabela 5.3 exibe os resultados obtidos nos cenários C1 ao C9 com a instância 2018.1<sub>JP</sub>. Nessa tabela, a coluna **Cenário** informa qual foi o cenário testado. A coluna posterior, **kWh**, representa o total de kWh que seria consumido no período definido na Seção 5.1, 100 dias letivos, caso o cenário em questão tivesse sido implementado no *campus*. Seguindo as colunas, a coluna **Custo** representa o quanto, em reais, o total de kWh ilustrado na coluna **kWh** custaria.

Tabela 5.3: Resultados da minimização de custos com a instância 2018.1<sub>JP</sub>

<b>Cenário</b>	<b>kWh</b>	<b>Custo</b>	<b>Redução</b>	<b>Economia</b>	<b>T(s)</b>
C1	141.890,17	R\$ 117.713,50	22,58%	R\$ 34.341,29	18,02
C2	136.313,00	R\$ 113.086,63	25,63%	R\$ 38.968,16	331,11
C3	139.497,67	R\$ 115.728,66	23,89%	R\$ 36.326,13	51,97
C4	133.857,33	R\$ 111.049,38	26,97%	R\$ 41.005,41	600,19
C5	133.268,00	R\$ 110.560,47	27,29%	R\$ 41.494,33	2,42
C6	135.661,83	R\$ 112.546,41	25,98%	R\$ 39.508,38	2,56
C7	131.168,00	R\$ 108.818,28	28,43%	R\$ 43.236,51	5,82
C8	133.182,33	R\$ 110.489,40	27,34%	R\$ 41.565,40	36,35
C9	131.024,00	R\$ 108.698,82	28,51%	R\$ 43.355,97	2,91

Continuando na Tabela 5.3, as colunas **Redução** e **Economia** se relacionam com a linha pertinente à instância 2018.1<sub>JP</sub> presente na Tabela 5.2. Portanto, a coluna **Redução** exibe o percentual de kWh que seria reduzido em relação a alocação manual se o cenário em questão tivesse sido adotado no IFPB-JP no período 2018.1, sendo a coluna **Economia**

o valor estimado, em reais, desse percentual de KWh que poderia ter sido economizado. Para finalizar,  $\mathbf{T}(\mathbf{s})$  indica o tempo de execução em segundos de cada cenário.

Analisando os resultados colocados na Tabela 5.3, é possível observar que todos os cenários propostos resolvem o PAAS para a instância 2018.1<sub>JP</sub>, alcançando relevantes potenciais de redução do consumo energético em tempos de execução aceitáveis.

Como esperado, o cenário C9, que possui apenas as regras básicas, apresentou o maior percentual de redução energética entre cenários testados, 28,51%. Em oposição à C9, o cenário C8, que obriga todas as aulas de uma turma sejam alocadas no mesmo local, se diferencia em R\$ 1.790,97 na economia estimada do cenário C9. Apesar de existir essa diferença, ela pode não ser tão significativa quando comparada a um possível transtorno pedagógico institucional que acarretaria as aulas de uma mesma turma estarem distribuídas em diversos locais de aula diferentes.

Ainda na Tabela 5.3, entre os cenários C5 ao C8, que testam o impacto de cada regra institucional e política, destaca-se o cenário C7 como regra que possui o maior percentual de redução de energia quando aplicada isoladamente, 28,43%. Logo, alocar as aulas de uma mesma classe dos cursos técnicos integrados na mesma sala é a regra que menos influencia, isoladamente, na redução do consumo energético do uso dos locais de aula pelas aulas.

Em contraste com C7, o cenário C6, que testa a regra política de alocar as aulas dos cursos técnicos integrados apenas no bloco de salas, obteve o menor percentual de redução, 25,98%, entre os cenários C5 e C8. Dessa forma, C6 possui o maior impacto isoladamente quando o objetivo for redução do consumo energético. Esse resultado pode ser explicado pela natureza restritiva da regra que reduz consideravelmente as possibilidades de alocação de 70 salas de aula em todo IFPB-JP para apenas as 18 salas disponíveis no bloco de salas de aula no período 2018.1. Comparando com o cenário C9, o cenário C7 reduz a economia energética em apenas R\$ 119,46 enquanto o cenário C6 impede a economia de R\$ 3.847,59, ambos em valores estimados.

Seguindo com os resultados da Tabela 5.3, o cenário C4, com apenas regras básicas e institucionais, gerou um possível percentual de redução no consumo energético de 26,97% com a instância 2018.1<sub>JP</sub>. Sendo assim, caso as regras políticas não fossem adotadas, como no cenário C4, o *campus* IFPB-JP teria a possibilidade de economizar R\$ 41.005,41 no período 2018.1 com a adoção de tal cenário. Também nesse cenário, foi registrado o maior tempo de execução entre os cenários propostos, 600,19 segundos. Embora esse tempo tenha sido o mais elevado, ele é excessivamente menor quando comparado ao tempo gasto

para produzir uma solução com a alocação manual. Sendo assim, enquanto o cenário C4 demandou em torno de 10 minutos para gerar uma solução, a solução manual dispendeu dias de trabalho para ser concluída.

Contrapondo os resultados do C4, os cenários C2 e C3 exibem os resultados obtidos quando aplicadas as regras políticas separadamente. No cenário C2, onde as aulas das turmas de determinados cursos devem ser alocadas aos locais existentes nos blocos acadêmicos desses respectivos cursos, o potencial de redução energética alcançou 25,63%. Já no cenário C3, esse percentual de economia foi inferior, 23,89%. Com isso, alocar as aulas das turmas dos cursos integrados que precisam apenas de sala no bloco de salas aulas, cenário C3, gera um impacto superior ao do cenário C2 no consumo de energia. Em valores reais estimados, a diferença prevista dessa interferência, em 2018.1, é de R\$ 2.642,03.

Continuando nos cenários C2 e C3, as diferenças estimadas de economia energética entre esses cenários e o cenário C4, sem regras políticas, são de R\$ 2.037,25 e R\$ 4.679,28, respectivamente. Portanto, esses são os valores estimados que não seriam economizados com o uso da energia nos locais de aula caso a gestão do IFPB-JP optasse pela adoção de uma dessas regras políticas no período 2018.1.

Para finalizar o estudo da Tabela 5.3, o cenário C1, mesmo contendo todas as regras, incluindo as políticas, apresenta um relevante potencial de economia estimado de R\$ 34.341,29. Nesse caso, o custo da adoção das duas regras políticas definidas no Capítulo 3, seria de estimadamente R\$ 6.664,12 quando comparado com o cenário C4. Portanto, em detrimento da utilização das regras políticas, o *campus* do IFPB-JP abdicaria da economia desse valor no período 2018.1.

### 5.2.2 Instância: 2018.1<sub>CG</sub>

No caso do *campus* IFPB-CG, os resultados do período 2018.1 são exibidos na Tabela 5.4 que possui a mesma composição das colunas da Tabela 5.3. No entanto, apenas os cenários que minimizam custos energéticos e não contém as restrições (4.12) e (4.13), RP2, foram testados com a instância 2018.1<sub>CG</sub>. Logo, essa ausência dos cenários C1, C2 e C5 nos testes ocorreu devido a inexistência da seguinte regra no IFPB-CG: aulas das turmas de determinados cursos devem ser alocadas em seus respectivos blocos acadêmicos.

Discorrendo sobre a Tabela 5.4, é possível notar que os resultados alcançados no IFPB-CG possuem valores menores que os obtidos no mesmo período letivo no IFPB-JP. Esse fato pode ser explicado devido ao porte inferior do *campus* IFPB-CG, com 612

Tabela 5.4: Resultados da minimização de custos com a instância 2018.1<sub>CG</sub>

Cenário	kWh	Custo	Redução	Economia	T(s)
C3	67.086,83	R\$ 55.655,91	4,71%	R\$ 2.752,51	9,70
C4	67.086,83	R\$ 55.655,91	4,71%	R\$ 2.752,51	10,18
C6	66.917,50	R\$ 55.515,43	4,95%	R\$ 2.892,99	1,14
C7	66.925,83	R\$ 55.522,34	4,94%	R\$ 2.886,07	8,04
C8	67.024,83	R\$ 55.604,47	4,80%	R\$ 2.803,94	1,10
C9	66.917,50	R\$ 55.515,43	4,95%	R\$ 2.892,99	1,05

turmas, em relação ao IFPB-JP, com 949 turmas, oferecendo uma menor amplitude de possibilidades de ganhos com os cenários testados. Além disso, como seus locais de aula, principalmente as salas de aula, são mais energeticamente homogêneos que no IFPB-JP, em algumas situações na resolução do problema a troca dos locais de aula das aulas não proporciona nenhum impacto no consumo de energia, pois esses locais possuem o mesmo custo energético por aula. Por exemplo, existem 15 salas de aula no *campus* IFPB-CG que possuem o mesmo valor de  $2,38 \text{ kWh}_{\text{aula}}$ , como pode ser constatado no Apêndice D.

Continuando a análise da Tabela 5.4, há poucas diferenças entre os resultados dos cenários testados com a instância 2018.1<sub>CG</sub>, existindo cenários até com percentuais de redução exatamente iguais, como é o caso dos cenários C3 e C4. Nessa situação, isso pode ter sido motivado pela presença massiva de salas no bloco de salas de aula, 30 do total de 36 salas no *campus*, que, por sua vez, possuem as maiores capacidades entre as salas de aula. Dessa forma, devido a quantidade de alunos presentes nas turmas dos cursos técnicos integrados, no cenário C4 as aulas dessas turmas são naturalmente alocadas nas salas do bloco de salas de aula, característica do cenário C3. Por esse mesmo motivo, o cenário C6 aponta a mesma economia de energia em potencial do cenário C9. Desse modo, é possível considerar a regra relativa à alocação apenas no bloco de salas como nula no caso do *campus* IFPB-CG.

Finalizando os resultados com a instância 2018.1<sub>CG</sub>, cabe destacar que o cenário C4, sem regras políticas, conseguiu produzir um potencial de economia estimado de R\$ 2.752,51, onde o seu tempo de execução registrado, 10,18 segundos, foi o maior entre os

cenários testados, ainda que seja um tempo consideravelmente baixo.

Diante disso, apesar do cenários testados com a instância 2018.1<sub>CG</sub> resultarem em valores econômicos menores que no *campus* IFPB-JP, considerando o porte reduzido do *campus* e a homogeneidade das suas salas, é pertinente considerar o potencial de economia de energia gerado, pois seriam necessárias apenas mudanças operacionais, aplicando a solução do cenário desejado, para reduzir custos para o *campus*.

### 5.2.3 Instâncias: 2018.2<sub>JP</sub> e 2019.1<sub>JP</sub>

A Tabela 5.5 apresenta os principais resultados obtidos nos cenários C1 ao C9 com as instâncias 2018.2<sub>JP</sub> e 2019.1<sub>JP</sub>. Nessa tabela, a coluna **Cenário** indica qual foi o cenário utilizado. Continuando nas colunas, **Redução** e **Economia** estão duplicadas, porém cada uma relacionada à instância testada representada nas colunas superiores 2018.2<sub>JP</sub> e 2019.1<sub>JP</sub>. As colunas **Redução** e **Economia** se relacionam com a linha pertinente às instâncias 2018.2<sub>JP</sub> e 2019.1<sub>JP</sub> presente na Tabela 5.2 e contém os mesmos tipos de dados das colunas **Redução** e **Economia** existentes na Tabela 5.3. Relativo aos tempos de execução, vale ressaltar que os tempos registrados de cada cenário testado com as instâncias 2018.2<sub>JP</sub> e 2019.1<sub>JP</sub> são semelhantes aos computados na Tabela 5.3.

Tabela 5.5: Resultados da minimização de custos com as instâncias 2018.2<sub>JP</sub> e 2019.1<sub>JP</sub>

Cenário	2018.2 <sub>JP</sub>		2019.1 <sub>JP</sub>	
	Redução	Economia	Redução	Economia
C1	24,58%	R\$ 38.499,85	25,58%	R\$ 41.728,55
C2	27,69%	R\$ 43.373,39	28,18%	R\$ 45.974,50
C3	25,38%	R\$ 39.757,54	26,48%	R\$ 43.198,76
C4	28,54%	R\$ 44.706,72	29,12%	R\$ 47.503,88
C5	29,23%	R\$ 45.790,05	29,66%	R\$ 48.395,99
C6	27,32%	R\$ 42.792,67	28,25%	R\$ 46.090,37
C7	29,90%	R\$ 46.832,73	30,21%	R\$ 49.292,25
C8	28,88%	R\$ 45.241,81	29,54%	R\$ 48.199,65
C9	30,00%	R\$ 46.987,73	30,51%	R\$ 49.780,33

Ao verificar os resultados ilustrados na Tabela 5.5, percebe-se que os resultados dos testes com a instância 2019.1<sub>JP</sub> foram ligeiramente superiores aos da instância 2018.2<sub>JP</sub> em todos cenários. Como o período 2019.1 foi o mais recente verificado neste estudo, pode-se considerá-lo como o mais próximo da realidade em uma possível implantação da solução proposta neste trabalho no *campus* IFPB-JP. Com isso, com a instância 2019.1<sub>JP</sub> no cenário C1, inclusas todas as regras definidas, foi possível gerar um potencial econômico estimado de R\$ 41.728,55 em apenas um período letivo. Ainda assim, renunciando as regras políticas, o *campus* poderia ter economizado, estimadamente, R\$ 47.503,88 no período 2019.1.

Relacionando os resultados da Tabela 5.5 com os da instância 2018.1<sub>JP</sub>, a Figura 5.1 apresenta o comparativo entre os percentuais de redução energética nos períodos testados do IFPB-JP. Nessa figura, é evidente a tendência de crescimento dos potenciais de economia de energia entre os períodos dos *campus*. Essa tendência pode ser explicada pelo crescimento do porte das instâncias a cada período, como pode ser observado na Tabela 5.1.

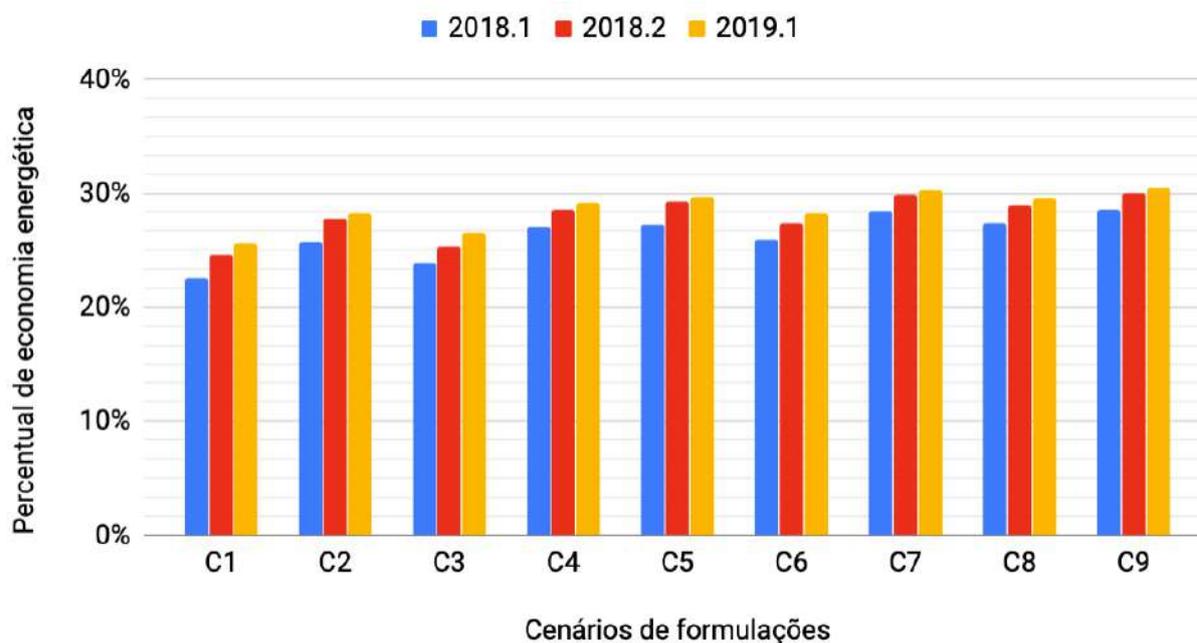


Figura 5.1: Comparativo entre os percentuais de redução nos períodos do IFPB-JP

Considerando os resultados apresentados nas tabelas 5.3 e 5.5, é possível estimar o quanto o *campus* IFPB-JP poderia ter economizado em 2018, R\$ 72.841,14, caso a solução do cenário C1 fosse implementada. Esse valor poderia ser ainda maior caso as regras políticas fossem ignoradas, situação do cenário C4, atingindo até R\$ 85.712,13 estimadamente. Nesse caso, as regras políticas custariam ao *campus* aproximadamente R\$ 12.870,99 anualmente.

Ainda no ano letivo de 2018, considerando os resultados das instâncias 2018.1<sub>JP</sub>, 2018.2<sub>JP</sub> e 2018.1<sub>CG</sub>, pode-se estimar a economia com energia que poderia ser alcançada no IFPB no ano de 2018. Para tal, tendo em vista a economia em potencial produzida pelo cenário C4 com a instância 2018.1<sub>CG</sub>, bem como a tendência de percentuais de redução energética entre períodos de um mesmo *campus*, observada na Figura 5.1, torna-se factível mensurar que o *campus* IFPB-CG poderia ter economizado, estimadamente, R\$ 5.505,02 em 2018. Acrescendo esse valor ao total calculado para o *campus* IFPB-JP no mesmo cenário, R\$ 85.712,13, é possível obter o valor estimado de R\$ 91.217,15 que poderia ter sido economizado pelo IFPB no ano de 2018.

Por sua vez em 2019, calculando a possível economia estimada para o IFPB, é necessário considerar também as tendências de percentuais de redução entre períodos, além dos resultados obtidos com as instâncias 2018.1<sub>CG</sub> e 2019.1<sub>JP</sub>. Também no cenário C4, em 2019 o *campus* IFPB-JP poderia ter reduzido o custo com energia elétrica em R\$ 95.007,76, estimadamente, considerando a mesma economia do período 2019.1 para o período 2019.2. Somando a esse valor o mesmo total calculado para 2018 no IFPB-CG para o ano de 2019, R\$ 5.505,02, obtém-se o total estimado de R\$ 100.512,78 que o IFPB poderia ter economizado caso o cenário C4 fosse aplicado nos *campi* IFPB-JP e IFPB-CG em 2019. Contudo, esse valor poderia ser ainda mais elevado, pois analisando as colunas **Economia** das tabelas 5.3 e 5.5, que possuem os valores que conseguiriam ser economizados, é perceptível uma tendência no crescimento desses valores a cada período.

Considerando as mesmas definições de valores dos períodos dos *campi* IFPB-JP e IFPB-CG para o cálculo do total que poderia ser economizado no ano de 2019 no IFPB, R\$ 100.512,78, porém somando as diferenças dos totais de kWh consumidos entre as colunas **kWh** presentes nas tabelas 5.2, 5.4, 5.5 no cenário C4, é possível obter um total de 121.156,66 kWh que poderia não ser consumido em 2019 no IFPB.

Relacionando os resultados obtidos com a minimização de custos energéticos com os trabalhos citados na Seção 2.2, podemos destacar os estudos de Sethanan et al. [2014] e Song et al. [2017]. No trabalho de Sethanan et al. [2014], foram apresentados percentuais de redução de energia de 12 semestres letivos ao resolver o PPHC e seus resultados variaram consideravelmente entre 7,12% e 28,59%, tendo uma média de 20,11% de redução energética. Porém, não foram discutidos os motivos de tal variação, assim como não houve exibição das quantidades de turmas, aulas e salas de aulas presentes nas instâncias, impossibilitando assim mensurar o tamanho das instâncias resolvidas. Além disso, o total de

kWh que poderia ser economizado com a solução também foi outro dado não apresentado no estudo. Por isso, há uma dificuldade de comparação com os resultados obtidos neste trabalho.

Além dos percentuais de redução informados por Sethanan et al. [2014], os resultados foram colocados através da unidade de consumo de energia kWh/aluno/semestre, únicos resultados relacionados à energia apresentados no estudo. Desse modo, superficialmente podemos relacionar o melhor resultado conseguido por Sethanan et al. [2014], 28,59%, com o percentual de redução obtido neste trabalho no cenário C4, sem regras políticas, com a instância 2019.1<sub>JP</sub>, 29,12%. Esse percentual de 28,59% foi alcançado quando o algoritmo apresentou o resultado de 11,53 kWh/aluno/semestre.

Ainda sobre o estudo de Sethanan et al. [2014], em uma tentativa de comparar resultados, é possível converter o total de kWh obtido pelo cenário C4 com a instância 2019.1<sub>JP</sub>, 139.406,17, para a unidade de kWh/aluno/semestre. Dividindo esse número pela quantidade de matrículas nas turmas no período 2019.1 do IFPB-JP, 25.696, é obtido um valor de 5,43 kWh/aluno/semestre. Assim sendo, o resultado apresentado por Sethanan et al. [2014], 11,53 kWh/aluno/semestre, é mais que o dobro que esse valor. Com isso, ou a quantidade de kWh consumido nas salas de aula é bastante superior ao consumido pelos locais de aula deste estudo ou o quantitativo de alunos presentes nas instâncias aplicadas por Sethanan et al. [2014] é menos da metade dos alunos envolvidos neste trabalho. Entretanto, desconhecendo o porte das instâncias se torna difícil uma análise mais profunda entre os estudos. Além disso, também não foram apresentados os tempos de execução do algoritmo proposto para solucionar o problema.

Diferentemente de Sethanan et al. [2014], os resultados apresentados por Song et al. [2017] são bem mais claros e ricos em detalhes. Somado a isso, o fato da proximidade de métodos e objetivos entre o presente trabalho e o estudo de Song et al. [2017] possibilita uma comparação mais completa entre os resultados, apresentada na Tabela 5.6. Diante disso, este estudo almeja a redução de custos energéticos em locais de aulas ao resolver o PAAS utilizando coleta de dados energéticos e PLI em instâncias reais, enquanto o estudo de Song et al. [2017] se diferencia na estratégia de resolução e no problema a ser resolvido, algoritmo baseado em algoritmos genéticos e resolução do PAAS dentro do PPHC, respectivamente.

Song et al. [2017] aplicaram o algoritmo proposto em uma instância real contendo, 12 locais de aula e 107 aulas. Nesse estudo, no período do ano testado existiam tem-

poradas de frio e calor, por isso foram exibidos resultados com e sem a utilização dos ares-condicionados. Com isso, como a localização da instituição estudada neste trabalho não apresenta épocas de frio que não necessitem do uso de ares-condicionados, para fins de comparação serão utilizados os resultados da temporada de calor do trabalho de Song et al. [2017].

No estudo de Song et al. [2017], houve um detalhamento das potências e quantidades dos equipamentos presentes nos locais de aula que resultou no cálculo do uso de energia em kWh nos locais de aula. No estudo, calculando a média de consumo dos locais, 2,22 kWh, é verificado que o seu valor é inferior ao existente nos locais de aula deste trabalho, 3,59 kWh, no caso do *campus* IFPB-JP em 2019.1. Esse fato pode ser explicado devido a presença de mais laboratórios de informática nessa instância, 34, em comparação à apenas um laboratório de informática presente na instância utilizada por Song et al. [2017]. Junto à isso, motivada pela estrutura heterogênea do *campus* IFPB-JP, existe também a possibilidade dos equipamentos presentes nos locais de aula do campus possuírem uma eficiência energética inferior aos existentes no estudo em comparação.

Prosseguindo na análise entre os resultados deste trabalho e o estudo de Song et al. [2017], a Tabela 5.6 apresenta um comparativo entre os dois estudos. Nela, a coluna **Estudo** informa o trabalho que está sendo apresentado o resultado. A coluna **kWh<sub>existente</sub>** representa o total de kWh consumido por semana com a solução existente na instituição. A coluna **kWh<sub>otimizado</sub>** representa o total de kWh que seria consumido por semana na situação de uma possível implantação da solução proposta. A coluna **kWh<sub>reduzido</sub>** informa o total de kWh que seria economizado semanalmente caso a solução proposta fosse adotada. Por fim, a coluna **Redução** exibe o percentual que seria reduzido em relação a solução existente e a coluna **T(m)** indica o tempo de execução em minutos da estratégia.

Tabela 5.6: Comparativo entre o resultado mais atual deste trabalho e o estudo de Song et al. [2017]

<b>Estudo</b>	<b>kWh<sub>existente</sub></b>	<b>kWh<sub>otimizado</sub></b>	<b>kWh<sub>reduzido</sub></b>	<b>Redução</b>	<b>T(m)</b>
Song et al. [2017]	683,23	655,93	27,3	4%	47
Cenário C4 e 2019.1 <sub>JP</sub>	9.833,33	6.970,31	2.863,02	29%	4

Analisando a Tabela 5.6, evidencia-se a qualidade da solução atingida por este estudo. Dessa forma, o quantitativo de kWh semanal que poderia ser economizado com a

solução deste trabalho, 2.863,02 kWh, é excessivamente maior que o conseguido por Song et al. [2017], 27,3 kWh. A explicação dessa considerável diferença transita entre o tamanho da instância 2019.1<sub>JP</sub> utilizada, compreendida de 97 locais e 3046 aulas, o percentual de redução de 29% obtido no cenário C4 neste trabalho, assim como pelo tipo de problema solucionado.

Apesar de solucionar o PAAS em conjunto com PPHC, o que torna teoricamente o problema mais complexo, ao estimar uma economia anual em 200 dias letivos, o trabalho de Song et al. [2017] alcança 1092 kWh, enquanto este estudo possibilita uma economia de 114.521 kWh no cenário C4 com a instância 2019.1<sub>JP</sub>. Diante disso, no estudo de Song et al. [2017], os próprios autores afirmaram que existiam dúvidas quanto a aplicabilidade prática da solução proposta na instituição devido aos discretos percentuais de economia de energia alcançados. Em contraste, o presente trabalho, ratificado por esses relevantes números apresentados, possui um grande potencial de adoção pela instituição.

Semelhante aos motivos dos resultados apresentados com a instância do *campus* IFPB-CG, esse percentual de apenas 4% alcançado por Song et al. [2017] pode ser explicado pela homogeneidade dos seus locais de aula, possuindo até cinco locais, de um total de doze, com praticamente o mesmo consumo energético. Com isso, há evidências que as soluções que buscam economia de energia ao alocar aulas a salas atingem elevados potenciais de redução energética à medida que seus locais de aula sejam energeticamente mais heterogêneos.

Com relação ao tempo de execução das estratégias propostas, embora o PPHC apresente em tese uma complexidade relativamente superior ao PAAS, as formulações propostas neste trabalho apresentaram tempos de execuções bem menores quando comparados aos dispendidos pelas estratégias de Song et al. [2017]. A principal formulação do problema no estudo de Song et al. [2017] levou 47 minutos para entregar uma solução ótima, o que é um tempo aceitável. Em contrapartida, quatro minutos foi o tempo gasto pelo cenário C4 apresentado neste trabalho, apesar de utilizar uma instância bem mais numerosa, 2019.1<sub>JP</sub>.

### 5.3 Minimização da quantidade de locais de aula

Esta seção aponta os resultados atingidos com as instâncias 2018.1<sub>JP</sub>, 2018.2<sub>JP</sub>, 2019.1<sub>JP</sub> e 2018.1<sub>CG</sub> nos testes realizados nos cenários C10 e C11, que minimizam a quantidade de locais necessários para alocar todas as aulas aos locais. Também serão apresen-

tados os resultados dos cenários C1 e C3 com as instâncias definidas neste trabalho, porém com os locais de aula minimizados oriundos das soluções dos cenários C10 e C11.

Iniciando a apresentação dos resultados, a Tabela 5.7 exibe os resultados alcançados nos cenários C10 e C11, onde a coluna **Cenário** aponta o cenário testado. Na coluna seguinte, **Instância** indica a instância utilizada. A coluna **QL<sub>manual</sub>** apresenta a quantidade de locais de aula utilizados pela solução manual para alocar todas as aulas. **QL<sub>minimizado</sub>** apresenta a quantidade de locais de aula necessários para alocar as mesmas turmas da alocação manual caso a solução do cenário tivesse sido aplicada. A coluna **Redução** indica o percentual de locais de aula que poderiam não ser utilizados com a solução do cenário em questão. Por fim, **T(s)** indica o tempo de execução em segundos dos cenários das formulações.

Tabela 5.7: Resultados da minimização da quantidade de locais necessários

Cenário	Instância	QL <sub>manual</sub>	QL <sub>minimizado</sub>	Redução	T(s)
C10	2018.1 <sub>JP</sub>	90	56	38%	20,10
C10	2018.2 <sub>JP</sub>	94	51	46%	47,27
C10	2019.1 <sub>JP</sub>	97	55	43%	26,73
C11	2018.1 <sub>CG</sub>	39	35	10%	2,11

Analisando a Tabela 5.7, é possível observar que os cenários propostos conseguiriam reduzir consideravelmente o quantitativo de locais de aula necessários para alocar todas as aulas das instâncias testadas. Sendo assim, no cenário C10 com a instância 2019.1<sub>JP</sub>, representando a situação mais atual do IFPB-JP, foi obtida uma redução de 42 locais de aula. Também no cenário C10, porém com a instância 2018.2<sub>JP</sub>, foi alcançado o maior percentual de redução, 46%, representando 43 locais de aula a menos quando comparada com a quantidade utilizada na solução manual. Nesse caso foi registrado o maior tempo de execução, 47,27 segundos, entre os resultados ilustrados na tabela. Apesar de computado o maior tempo, esse é um tempo bastante inferior quando comparado ao tempo gasto por uma possível solução manual nos cenários C10 e C11.

No caso da instância do *campus* IFPB-CG, 2018.1<sub>CG</sub>, o cenário C11 conseguiu reduzir a necessidade do uso de quatro locais de aula. Inicialmente esse resultado pode ser considerado inferior aos alcançados no *campus* IFPB-JP, porém analisando o contexto do

IFPB-CG é possível notar que também se trata de uma relevante redução na quantidade de locais. Comparando com a instância 2018.1<sub>JP</sub>, a instância 2018.1<sub>CG</sub> possui uma relação 16 turmas por local de aula, enquanto a instância 2018.1<sub>JP</sub> tem apenas 11 turmas por local. Com isso, naturalmente a ocupação dos locais no IFPB-CG é maior que no *campus* IFPB-JP, possuindo um horizonte menor de possibilidades de redução na quantidade de locais de aula necessários para solucionar o problema.

Finalizando o estudo da Tabela 5.7, os percentuais de redução no quantitativo de locais necessários no *campus* IFPB-JP ratificam a subutilização dos locais de aula enunciada por Beyrouthy et al. [2009], desmistificando assim a errônea percepção de escassez de locais de aula em determinadas instituições de ensino. Nesse sentido, com a progressiva expansão das instituições de ensino como um todo, com a criação de novos cursos, essa é uma informação interessante, pois não haveria, obrigatoriamente, necessidade da construção de novos locais de aula, excluindo logicamente os laboratórios específicos, a cada vez que a instituição fosse expandida. Portanto, apenas redistribuindo otimadamente as aulas nos locais já existentes, novos ambientes estariam disponíveis tanto para o ensino quanto para a administração das instituições.

Além da redução na quantidade de locais necessários, com o objetivo de verificar o potencial de economia de energia, ainda assim utilizando os locais de aula minimizados, os cenários com todas as regras do IFPB-JP e do IFPB-CG, C1 e C3, respectivamente, foram testados com as instâncias definidas na Seção 5.1. Contudo, os conjuntos de locais de aula  $L$  presentes nessas instâncias são compostos pelos conjuntos de locais minimizados obtidos através da solução dos cenários C10 e C11. Dessa forma, novas instâncias foram geradas e nomeadas seguindo a seguinte regra: a instância chamada de 2018.1<sub>JP</sub> foi nomeada de 2018.1<sub>JP.LM</sub>, e assim por diante.

Então, utilizando as novas instâncias criadas que contém os locais de aula minimizados, a Tabela 5.8 apresenta os resultados obtidos nos cenários C1 e C3. Nessa tabela, a coluna **Cenário** indica o cenário testado enquanto a coluna **Instância** aponta a instância com locais de aula minimizados utilizada. Seguindo na Tabela 5.8, as suas outras colunas apresentam os mesmos tipos de dados da Tabela 5.3.

Verificando a Tabela 5.8, é perceptível que mesmo com os locais de aula minimizados, os cenários C1 e C3 atingem satisfatórios valores de economia energética. No cenário C1, as instâncias do *campus* IFPB-JP apresentaram percentuais de redução semelhantes, onde é possível destacar com a instância mais recente, 2019.1<sub>JP.LM</sub>, uma economia esti-

Tabela 5.8: Resultados da minimização de custos energéticos com locais minimizados

Cenário	Instância	kWh	Custo	Redução	Economia	T(s)
C1	2018.1 <sub>JP.LM</sub>	161.393,50	R\$ 133.893,66	11,94%	R\$ 18.161,13	640,98
C1	2018.2 <sub>JP.LM</sub>	169.670,00	R\$ 140.759,93	10,14%	R\$ 15.889,80	1411,91
C1	2019.1 <sub>JP.LM</sub>	177.310,00	R\$ 147.098,15	9,84%	R\$ 16.058,48	92,07
C3	2018.1 <sub>CG.LM</sub>	67.747,50	R\$ 56.204,00	3,77%	R\$ 2.204,41	22,65

mada de R\$ 16.058,48 semestralmente, possibilitando o uso de 42 locais para outros fins institucionais.

No caso da instância 2018.1<sub>CG.LM</sub> testada no cenário C3, apesar da economia relativamente baixa, R\$ 2.204,41, sua diferença para o resultado da instância 2018.1<sub>CG</sub> foi de apenas R\$ 548,10. Logo, esse resultado para o caso do *campus* IFPB-CG seja o mais interessante apresentado neste trabalho, pois além de reduzir o custo energético em R\$ 2.204,41, estimadamente, possibilita o uso de quatro locais de aula no *campus* para outras atividades no campus.

## 6 CONCLUSÃO

O presente trabalho apresentou um estudo para o problema de alocação de aulas a salas, mais especificamente, para o caso IFPB. Para isso, foram propostos cenários de formulações matemáticas que tinham como objetivo a redução de custos com energia elétrica ao alocar aulas aos locais de aula, verificando principalmente o impacto das regras políticas definidas, assim como uma formulação para minimizar a quantidade de locais de aula necessários para que todas as aulas sejam alocadas.

Todos os cenários de formulações testados apresentaram relevantes potenciais de economia energética, bem como a possibilidade de diminuição no total de locais utilizados. Nesse sentido, um dos principais cenários atingiu uma redução anual de 29,12%, em kWh, 121.156,66, possibilitando uma economia estimada de R\$ 100.512,78 no ano de 2019 para o IFPB. Quanto à quantidade mínima necessária de locais de aula para alocar todas as aulas encontrou-se uma redução de 97 para 55 locais no *campus* IFPB-JP no período letivo 2019.1. Desse modo, essa possibilidade de redução de custos energéticos e do uso dos locais de aula apenas rearranjando a distribuição das aulas nos locais é uma informação de grande valia para as instituições de ensino, pois, apenas com alterações operacionais, proporciona a diminuição dos gastos, bem como a disponibilização de locais para outros fins.

Portanto, o presente estudo demonstrou que os cenários de formulações matemáticas propostos utilizando PLI resolveram o PAAS para o caso estudado gerando um expressivo potencial de economia no uso de energia elétrica, tal como uma redução no quantitativo de locais de aula obrigatórios. Ao resolver o problema em questão, a solução proposta evita o desperdício de tempo e esforço dos responsáveis pela alocação manual, possibilita a aplicação das preferências definidas pela gestão, bem como promove a eficiência nos gastos públicos e a diminuição no impacto ambiental com a redução do uso da energia elétrica.

Embora os resultados obtidos com os cenários propostos terem sido norteados por

dois *campi* específicos do IFPB, é possível, considerando as particularidades de cada instituição de ensino, utilizar as formulações matemáticas em outras instituições de grande porte, pois as regras colocadas pelo IFPB são semelhantes às utilizadas pela grande maioria das instituições.

## Referências Bibliográficas

- BARADADYM, V. A. Computer-aided school and university timetabling: The new wave. *Lecture Notes in Computer Science*, v. 1153, p. 22–45, 1996.
- BEYROUTHY, C.; BURKE, E. K.; LANDA-SILVA, D.; MCCOLLUM, B.; MCMULLAN, P.; PARKES, A. J. Towards improving the utilization of university teaching space. *Journal of the Operational Research Society*, v. 60, n.1, p. 130–143, 2009.
- BURKE, E. K.; COWLING, P.; LANDA SILVA, J. D.; MCCOLLUM, B. Three Methods to Automate the Space Allocation Process in UK Universities. *Lecture Notes in Computer Science*, v. 2079, p. 254–273, 2001.
- CARTER, M. W. A Lagrangian Relaxation Approach To The Classroom Assignment Problem. *INFOR: Information Systems and Operational Research*, v. 27, n. 2, p. 230–246, 1989.
- CARTER, M. W.; TOVEY, C. A. When Is the Classroom Assignment Problem Hard? *Operations Research*, v. 40, n. 1-supplement-1, p. S28–S39, 1992.
- CONSTANTINO, A. A.; MARCONDES FILHO, W.; LANDA-SILVA, D. Iterated heuristic algorithms for the classroom assignment problem. *Proceedings of the 8th International Conference on the Practice and Theory of Automated Timetabling - PATAT, Belfast*, v. 8, p. 152–166, 2010.
- DAMMAK, A.; ELLOUMI, A.; KAMOUN, H. Classroom assignment for exam timetabling. *Advances in Engineering Software*, v. 37, n. 10, p. 659–666, 2006.
- DE QUEIROZ, D. L.; NEPOMUCENO, N. V. Um Modelo Em Programação Linear Inteira Para Alocação De Disciplinas: Um Estudo De Caso No Curso De Ciência Da Computação Da Universidade De Fortaleza. *XLIX Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, Blumenau. Anais do XLIX SBPO*, v. 49, 2017.

- ELLOUMI, A.; KAMOUN, H.; JARBOUI, B.; DAMMAK, A. The classroom assignment problem: Complexity, size reduction and heuristics. *Applied Soft Computing Journal*, v. 14, p. 677–686, 2014.
- FAUDZI, S.; ABDUL-RAHMAN, S.; ABD RAHMAN, R. An Assignment Problem and Its Application in Education Domain: A Review and Potential Path. *Advances in Operations Research*, v. 2018, p. 1–19, 2018.
- JARDIM, R. D.; DE CARVALHO, R. SCAP - Software web para o problema de alocação de salas. *L Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, Rio de Janeiro. Anais do L SBPO*, v. 50, 2018.
- JINDAL, A.; KUMAR, N.; RODRIGUES, J. J. A Heuristic-Based Smart HVAC Energy Management Scheme for University Buildings. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, v. 14, n. 11, p. 5074–5086, 2018.
- KIM, T. W.; LEE, K. G.; HONG, W. H. Energy consumption characteristics of the elementary schools in South Korea. *Energy and Buildings*, v. 54, p. 480–489, 2012.
- KRIPKA, R. M. L.; KRIPKA, M.; DA SILVA, M. C. Formulação para o problema de alocação de salas de aula com minimização de deslocamentos. *XLIII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, Ubatuba. Anais do XLIII SBPO*, v. 43, p. 1–12, 2011.
- MAFFRAY, F.; PREISSMANN, M. On the NP-completeness of the k-colorability problem for triangle-free graphs. *Discrete Mathematics*, v. 162, n. 1-3, p. 313–317, 1996.
- MARTINEZ-ALFARO, H.; FLORES-TERAN, G. Solving the classroom assignment problem with simulated annealing. *SMC'98 Conference Proceedings. 1998 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics*, v. 4, p. 3703–3708, 1998.
- MULVEY, J. M. A classroom/time assignment model. *European Journal of Operational Research*, v. 9, n. 1, p. 64–70, 1982.
- OVALLE, C. T.; TORRES, J. R. M.; ARAÚJO, C. L. Q.; LEPERQUEUR, A. S.; LUNA, M. C. University Course Scheduling and Classroom Assignment. *Ing. Univ. Bogotá (Colombia)*, v. 18, n. 1, p. 59–75, 2014.

- PHILLIPS, A. E.; WATERER, H.; EHRGOTT, M.; RYAN, D. M. Integer programming methods for large-scale practical classroom assignment problems. *Computers and Operations Research*, v. 53, p. 42–53, 2015.
- PORTAL INSTITUCIONAL DO IFPB. Campus João Pessoa começa a produzir energia solar. Disponível em: <<https://www.ifpb.edu.br/joaopessoa/noticias/2017/08/campus-joao-pessoa-comeca-a-produzir-energia-solar>>. Acesso em: 11 de jul. de 2019., 2017.
- QUEIROGA, E. V.; BULHÕES JÚNIOR, T. L.; CABRAL, L. A. F.; DA COSTA, L. C. A.; SUBRAMANIAN, A. Problema de Alocação de Aulas: O Caso da Central de Aulas da UFPB. *XLVII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, Porto de Galinhas. Anais do XLVII SBPO*, v. 47, 2015.
- SCHAERF, A. A Survey of Automated Deduction. *Artificial Intelligence Review*, v. 13, p. 87–127, 1999.
- SETHANAN, K.; THEERAKULPISUT, S.; BENJAPIYAPORN, C. Improving Energy Efficiency by Classroom Scheduling: A Case Study in a Thai University. *Advanced Materials Research*, v. 931-932, p. 1089–1095, 2014.
- SONG, K.; KIM, S.; PARK, M.; LEE, H. S. Energy efficiency-based course timetabling for university buildings. *Energy*, v. 139, p. 394–405, 2017.
- SOUZA, M. J. F.; MARTINS, A. X.; DE ARAUJO, C. R. Experiências com simulated annealing e busca tabu na resolução do problema de alocação de salas. *XXXIV Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, Rio de Janeiro. Anais do XXXIV SBPO*, v. 34, p. 1100–1110, 2002.
- SUBRAMANIAN, A.; MEDEIROS, J. M. F.; CABRAL, L. A. F.; SOUZA, M. J. F. Alocação De Aulas a Salas Em Uma Instituição Universitária. *Revista Produção Online*, v. 11, n. 1, p. 54–75, 2011.
- THONGSANIT, K. Solving the Course-Classroom Assignment Problem for a University. *Silpakorn University Science and Technology Journal*, v. 8, n. 1, p. 46–52, 2014.
- WASFY, A.; ALOUL, F. Solving the University Class Scheduling Problem Using Advanced ILP Techniques. *IEEE GCC Conference*, v. 2007, 2007.

WENDT, J. F. M.; MÜLLER, F. M. Problema de Alocação de Salas no Centro de Tecnologia – UFSM com um Modelo Matemático Multi-Índice. *XLIX Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, Blumenau. Anais do XLIX SBPO*, v. 49, 2017.

XU, F.; WU, W.; ZHAO, F.; ZHOU, Y.; WANG, Y.; WU, R.; ZHANG, T.; WEN, Y.; FAN, Y.; JIANG, S. A micro-market module design for university demand-side management using self-crossover genetic algorithms. *Applied Energy*, v. 252, 2019.

## Apêndices

**APÊNDICE A: RELAÇÃO DE EQUIPAMENTOS PRESENTES NOS LOCAIS DE AULA DO IFPB-JP**

Ar-condicionado	kWh/mês	Potência(W)
AR CONDICIONADO MIDEA 22.000 LIVIA 42MFCA22M5	41,8	-
AR CONDICIONADO MIDEA 22.000 LIVIA 42VFCA22M5	40,3	-
AR CONDICIONADO MIDEA 18.000 LIVIA 42VFCA18M5	33,6	-
AR CONDICIONADO MIDEA 30.000 MSE1-30CR	63,7	-
AR CONDICIONADO ELGIN 18.000 SRFI-18000-2	36,8	-
AR CONDICIONADO ELGIN JANELA 18000 EAF-18000-2	38,1	-
AR CONDICIONADO ELGIN SPLIT 18000 HVFI18B2IA	34,2	-
AR CONDICIONADO ELGIN TETO 36000 PEQI36B2NA	73,2	-
AR CONDICIONADO ELGIN TETO 36000 PHQI-36000 -2	77,2	-
AR CONDICIONADO ELGIN SPLIT 24000 HVFI24B2IA	45,6	-
AR CONDICIONADO ELGIN 24.000 SHFI 24000	50,6	-
AR CONDICIONADO ELGIN 24.000 SRQI-24000-2	52,3	-
AR CONDICIONADO KOMECO 24.000 KOS 24 FC G2P	53,8	-
AR CONDICIONADO KOMECO 30.000 KOS 30 FC G2	67,1	-
AR CONDICIONADO KOMECO 24.000 KOS 24 FC 3LX	52,4	-
AR CONDICIONADO KOMECO 18.000 KOS 18 FC 3HX	34,2	-
AR CONDICIONADO KOMECO 30.000 KOS 30 FC 3LX	65,5	-
AR CONDICIONADO FUJITSU 27.000 ASBA30LFC	51,2	-
AR CONDICIONADO FUJITSU 27.000 ASBA30JFC	48,7	-
AR CONDICIONADO LG 24000 TSNC2425MA0	49,1	-
AR CONDICIONADO SAMSUNG 24000 AR24HVSPASNXXAZ	45,6	-
AR CONDICIONADO SAMSUNG 24000 ASV24PSBTNXXAZ	44,7	-
AR CONDICIONADO SAMSUNG 12000 AS12UWSUNXXAZ	23,6	-
AR CONDICIONADO SAMSUNG 18000 AS18UWBUNXXAZ	36,8	-
AR CONDICIONADO SPRINGER SILENTIA 21000 ZCB215BB	45,8	-
AR CONDICIONADO SPRING CARRIER 24000 42XQD024515LC	55,7	-
AR CONDICIONADO TETO DAIKIN 36000 FCQ36KVL	55,7	-
AR CONDICIONADO GREE 18000 GWC18MC-D1NNA3C/I	34,2	-
AR CONDICIONADO ELECTROLUX 30000 SI30F	70,8	-
AR CONDICIONADO CONSUL 22000 CBV22BBBNA	42,2	-
AR CONDICIONADO CONSUL JANELA AIR MASTER 21000 CCF21DBBN	45,9	-

**APÊNDICE A: RELAÇÃO DE EQUIPAMENTOS PRESENTES NOS LOCAIS DE AULA DO IFPB-JP**

<b>Projektor</b>	<b>kWh/mês</b>	<b>Potência(W)</b>
PROJETOR EPSON POWERLITE S5+	6,93	231
PROJETOR EPSON POWERLITE S10+	8,4	280
PROJETOR EPSON POWERLITE S12+	8,1	270
PROJETOR EPSON POWERLITE X12	8,1	270
PROJETOR EPSON POWERLITE X14+	8,1	270
PROJETOR EPSON POWERLITE X24+	8,49	283
PROJETOR EPSON POWERLITE W8+	8,4	280
PROJETOR EPSON POWERLITE W12+	8,1	270
PROJETOR EPSON BRIGHTLINK 695WI+	10,62	354
PROJETOR BENQ BRANCO DLP TEXAS INSTRUMENTS MS527	8,1	270
TV SONY 55 LCD KDL-55EX505/1	7,89	263
TV SAMSUNG 52 LN52C530F1MXZD	6,9	230
TV PHILCO 55 PH55M	4,05	135
TV TOSHIBA REGZA 52HL157 132CM	8,1	270
TV LG 32 32LG30R	4,5	150
TV LG 42 42LD460B	5,7	190
<b>Iluminação</b>	<b>kWh/mês</b>	<b>Potência(W)</b>
LÂMPADA 40W	1,2	40
LÂMPADA 36W	1,08	36
LÂMPADA 32W	0,96	32
LÂMPADA 20W	0,6	20
LÂMPADA 18W	0,54	18
LÂMPADA 16W	0,48	16
<b>Computador</b>	<b>kWh/mês</b>	<b>Potência(W)</b>
COMPUTADOR HP COMPAQ 6005 PRO SMALL FORM FACTOR	7,2	240
COMPUTADOR HP COMPAQ 6305 PRO SMALL FORM FACTOR	7,2	240
COMPUTADOR HP COMPAQ 6300 PRO SMALL FORM FACTOR	7,2	240
COMPUTADOR HP ELITEDESK 705 G3 MINI	1,95	65
COMPUTADOR HP ELITEDESK 705 G2 SFF	6	200
NOTEBOOK HP 645 G1	1,95	65
COMPUTADOR APPLE MAC MINI COM PROCESSADOR I5 DUAL CORE DE 2,5 GHZ , 4GB DE MEMORIA, HD DE 500GB	2,55	85
COMPUTADOR DATASONIC TAURUS I Q4.4	15	500

**APÊNDICE A: RELAÇÃO DE EQUIPAMENTOS PRESENTES NOS LOCAIS DE AULA DO IFPB-JP**

Monitor	kWh/mês	Potência(W)
MONITOR HP 20" LA2006X	0,78	26
MONITOR HP E2011P - BN (V206HZ)	0,6	20
MONITOR HP E2011P - BN (L200HX)	0,6	20
MONITOR HP ELITEDISPLAY E221	0,87	29
MONITOR HP 17 L1710	0,9	30
MONITOR HP L190HB	0,66	22
MONITOR HP 21.5 22MP55PY - B (V225HZ)	0,57	19
MONITOR HP LA1905WG	0,78	26
MONITOR HP L200HX	0,6	20
MONITOR HP LE1901W	0,684	22,8
MONITOR HP L176V	1,11	37
MONITOR LG W1942PE - PF	1,08	36
MONITOR AOC 2217V	1,35	45
MONITOR SAMSUNG B2230	1,35	45

## APÊNDICE B: RELAÇÃO DOS LOCAIS DE AULA DO IFPB-JP

Bloco acadêmico	Descrição do local de aula	Tipo	Utilizado como sala de aula	Utilizado como lab. de informática	Quantidade de carteiras	Custo energético por aula	Quantidade de computadores	Custo energético do computador do aluno por aula
BLOCO DE APOIO A ADMINISTRAÇÃO	SALA DE AULA 29 - IDIOMAS - NUCLI 1	Sala de aula	Sim	Não	26	1,82	-	-
BLOCO DE APOIO A ADMINISTRAÇÃO	SALA DE AULA 30 - IDIOMAS - NUCLI 2	Sala de aula	Sim	Não	25	1,24	-	-
BLOCO DE APOIO A ADMINISTRAÇÃO	SALA DE AULA 48 - SALA PROVISÓRIA - P 8	Sala de aula	Sim	Não	30	2,65	-	-
BLOCO DE APOIO A ADMINISTRAÇÃO	SALA DE INFORMÁTICA 12 - (Bloco DAA)	Lab. de informática	Não	Sim	-	2,78	16	0,21
BLOCO DE APOIO A ADMINISTRAÇÃO	SALA DE INFORMÁTICA 13 - (Bloco DAA)	Lab. de informática	Não	Sim	-	3,3	14	0,21
BLOCO DE APOIO A ADMINISTRAÇÃO	SALA DE INFORMÁTICA 14 - (Bloco DAA)	Lab. de informática	Não	Sim	-	2,53	16	0,21
BLOCO DE DESIGN	LABORATÓRIO DE INFORMÁTICA 28 - Conforto do Ambiente - 08	Lab. de informática	Sim	Sim	-	3,33	19	0,21
BLOCO DE DESIGN	LABORATÓRIO DE INFORMÁTICA 30 - (Luz e Cor) - 06	Lab. de informática	Sim	Sim	18	3,36	9	0,21
BLOCO DE DESIGN	LABORATÓRIO E ATELIER DE PROJETO I - 12	Lab. de informática	Não	Sim	-	3,56	14	0,22
BLOCO DE DESIGN	LABORATÓRIO E ATELIER DE PROJETO II - 02	Lab. específico	Não	Sim	-	3,74	14	0,21
BLOCO DE DESIGN	SALA DE AULA 32 - MULTIMÍDIA II	Sala de aula	Sim	Não	37	2,61	-	-
BLOCO DE DESIGN	SALA DE AULA 41 - SALA P7	Sala de aula	Sim	Não	17	1,66	-	-
BLOCO DE DESIGN	SALA DE AULA 45 - SALA PROVISÓRIA P 5	Sala de aula	Sim	Não	33	1,8	-	-
BLOCO DE DESIGN	SALA DE AULA 49 - SALA PROVISÓRIA - P 9	Sala de aula	Sim	Não	31	1,87	-	-
BLOCO DE DESIGN	SALA DE INFORMÁTICA 31 - (DESENCAD)	Lab. de informática	Sim	Sim	-	3,97	36	0,22
BLOCO DE EDIFICAÇÕES	LABORATÓRIO DE GESTÃO 01 - FÍSICO QUÍMICA (ÁGUA)	Lab. específico	Sim	Não	21	3,31	-	-
BLOCO DE EDIFICAÇÕES	LABORATÓRIO DE GESTÃO 03 - MICROBIOLOGIA	Lab. específico	Sim	Não	21	3,19	-	-
BLOCO DE EDIFICAÇÕES	LABORATÓRIO DE HIDROLOGIA	Lab. específico	Sim	Não	29	2,21	-	-
BLOCO DE EDIFICAÇÕES	LABORATÓRIO DE INFORMÁTICA 19 - (Lab.Geo)	Lab. de informática	Não	Sim	-	1,87	10	0,22
BLOCO DE EDIFICAÇÕES	LABORATÓRIO DE MATERIAIS 01	Lab. específico	Sim	Não	27	3,94	-	-
BLOCO DE EDIFICAÇÕES	LABORATÓRIO DE MATERIAIS 2	Lab. específico	Sim	Não	17	3,88	-	-
BLOCO DE EDIFICAÇÕES	LABORATÓRIO DE MECÂNICA DOS SOLOS	Lab. específico	Sim	Não	30	3,3	-	-
BLOCO DE EDIFICAÇÕES	SALA DA AULA 39 - LAB. DE TECNOLOGIA DA CONSTRUÇÃO	Sala de aula	Sim	Não	35	3,85	-	-
BLOCO DE EDIFICAÇÕES	SALA DE AULA 31 - MULTIMÍDIA I	Sala de aula	Sim	Sim	24	1,87	10	0,21

## APÊNDICE B: RELAÇÃO DOS LOCAIS DE AULA DO IFPB-JP

Bloco acadêmico	Descrição do local de aula	Tipo	Utilizado como sala de aula	Utilizado como lab. de informática	Quantidade de carteiras	Custo energético por aula	Quantidade de computadores	Custo energético do computador do aluno por aula
BLOCO DE EDIFICAÇÕES	SALA DE AULA 36 - TOPOGRAFIA E-111	Sala de aula	Sim	Não	31	2,04	-	-
BLOCO DE EDIFICAÇÕES	SALA DE INFORMÁTICA 11 - (Lab. Edificações)	Lab. de informática	Não	Sim	-	2,82	25	0,21
BLOCO DE ELETROTÉCNICA	CIRCUITOS DIGITAIS E TCC - A-137	Lab. específico	Sim	Não	16	2,52	-	-
BLOCO DE ELETROTÉCNICA	COMANDOS ELÉTRICOS E AUTOMAÇÃO - A-136	Lab. específico	Sim	Sim	22	5,3	17	0,21
BLOCO DE ELETROTÉCNICA	ELETRICIDADE I - A-127	Lab. específico	Não	Sim	-	3,93	10	0,21
BLOCO DE ELETROTÉCNICA	ELETRICIDADE II - A-131	Lab. específico	Sim	Não	16	4,13	-	-
BLOCO DE ELETROTÉCNICA	ELETRÔNICA I - A-134	Lab. específico	Não	Sim	-	3	8	0,21
BLOCO DE ELETROTÉCNICA	ELETRÔNICA INDUSTRIAL - A-128	Lab. específico	Sim	Sim	14	4,03	12	0,21
BLOCO DE ELETROTÉCNICA	INSTALAÇÕES ELÉTRICAS - A-139	Lab. específico	Sim	Não	27	5,15	-	-
BLOCO DE ELETROTÉCNICA	MÁQUINAS ELÉTRICA - A-130	Lab. específico	Sim	Não	27	4,2	-	-
BLOCO DE ELETROTÉCNICA	SALA DE INFORMÁTICA 10 - (A-129)	Lab. de informática	Sim	Sim	9	3,92	23	0,21
BLOCO DE ENGENHARIA ELÉTRICA	AUDITÓRIO DE ENGENHARIA ELÉTRICA	Sala de aula	Sim	Não	52	5,58	-	-
BLOCO DE ENGENHARIA ELÉTRICA	LABORATÓRIO DE MEDIDAS EM TELECOMUNICAÇÕES	Lab. específico	Sim	Não	23	2,91	-	-
BLOCO DE ENGENHARIA ELÉTRICA	LABORATÓRIO DE TELECOMUNICAÇÕES	Lab. específico	Não	Sim	-	2,31	8	0,22
BLOCO DE ENGENHARIA ELÉTRICA	SALA DE INFORMÁTICA 09	Lab. de informática	Sim	Sim	-	4,29	29	0,22
BLOCO DE ENGENHARIA ELÉTRICA	SALA DE INFORMÁTICA 18 - (Lab. Mestrado)	Lab. específico	Não	Sim	-	3,91	12	0,21
BLOCO DE INFORMÁTICA	LABORATÓRIO DE PESQUISA EM REDES CONVERGENTES - LPRC	Lab. específico	Não	Sim	-	7,08	29	0,05
BLOCO DE INFORMÁTICA	SALA DE AULA 28	Sala de aula	Sim	Não	27	3,51	-	-
BLOCO DE INFORMÁTICA	SALA DE AULA 33 - NÚCLEO DE APRENDIZAGEM - N 1	Sala de aula	Sim	Não	26	1,63	-	-
BLOCO DE INFORMÁTICA	SALA DE AULA 34 - NÚCLEO DE APRENDIZAGEM - N 2	Sala de aula	Sim	Não	24	1,63	-	-
BLOCO DE INFORMÁTICA	SALA DE INFORMÁTICA 01 - (LAB.REDES)	Lab. de informática	Não	Sim	-	2,08	17	0,22
BLOCO DE INFORMÁTICA	SALA DE INFORMÁTICA 02	Lab. de informática	Não	Sim	-	3,2	29	0,07
BLOCO DE INFORMÁTICA	SALA DE INFORMÁTICA 03	Lab. de informática	Não	Sim	-	4,13	20	0,21
BLOCO DE INFORMÁTICA	SALA DE INFORMÁTICA 04 - (Mini Mac)	Lab. de informática	Não	Sim	-	1,81	17	0,09

## APÊNDICE B: RELAÇÃO DOS LOCAIS DE AULA DO IFPB-JP

Bloco acadêmico	Descrição do local de aula	Tipo	Utilizado como sala de aula	Utilizado como lab. de informática	Quantidade de carteiras	Custo energético por aula	Quantidade de computadores	Custo energético do computador do aluno por aula
BLOCO DE INFORMÁTICA	SALA DE INFORMÁTICA 05	Lab. de informática	Não	Sim	-	2,24	15	0,18
BLOCO DE INFORMÁTICA	SALA DE INFORMÁTICA 06	Lab. de informática	Não	Sim	-	2,23	14	0,18
BLOCO DE INFORMÁTICA	SALA DE INFORMÁTICA 07	Lab. de informática	Não	Sim	-	2,23	14	0,18
BLOCO DE INFORMÁTICA	SALA DE INFORMÁTICA 08	Lab. de informática	Não	Sim	-	2,53	14	0,18
BLOCO DE INSTRUMENTO MUSICAL	SALA DE MÚSICA 07 - Teoria Musical	Sala de aula	Sim	Não	39	2,52	-	-
BLOCO DE INSTRUMENTO MUSICAL	SALA DE MÚSICA 10 - Cordas	Sala de aula	Sim	Não	16	1,63	-	-
BLOCO DE INSTRUMENTO MUSICAL	SALA DE MÚSICA 12 - Auditório	Sala de aula	Sim	Não	44	3,99	-	-
BLOCO DE MECÂNICA	ENERGIA RENOVÁVEIS (FONTES ENERGIAS ALTERNATIVAS)	Sala de aula	Sim	Não	24	2,00	-	-
BLOCO DE MECÂNICA	LABORATÓRIO DA UNIDADE ACADÊMICA DE GESTÃO E NEGÓCIOS - UAG	Lab. de informática	Não	Sim	-	1,96	11	0,21
BLOCO DE MECÂNICA	LABORATÓRIO DE AUTOMAÇÃO AI-02	Lab. de informática	Sim	Sim	-	2,87	12	0,21
BLOCO DE MECÂNICA	LABORATÓRIO DE AUTOMAÇÃO AI-03	Sala de aula	Sim	Não	37	2,89	-	-
BLOCO DE MECÂNICA	LABORATÓRIO DE AUTOMAÇÃO AI-04	Lab. específico	Sim	Sim	10	2,89	12	0,21
BLOCO DE MECÂNICA	LABORATÓRIO DE AUTOMAÇÃO Ai-05	Lab. de informática	Sim	Sim	9	2,88	18	0,22
BLOCO DE MECÂNICA	LABORATÓRIO DE AUTOMAÇÃO Ai-06	Lab. de informática	Sim	Sim	20	3,52	20	0,22
BLOCO DE MECÂNICA	LABORATORIO DE ENSAIOS MECÂNICOS	Lab. específico	Sim	Não	17	2,15	-	-
BLOCO DE MECÂNICA	LABORATORIO DE FRESAGEM	Lab. específico	Sim	Não	19	1,99	-	-
BLOCO DE MECÂNICA	LABORATÓRIO DE INFORMÁTICA 29 - (Pneumática)	Lab. específico	Não	Sim	-	3,32	14	0,21
BLOCO DE MECÂNICA	LABORATÓRIO DE METROLOGIA	Lab. específico	Não	Não	35	2,95	-	-
BLOCO DE MECÂNICA	LABORATORIO DE REFRIGERAÇÃO	Lab. específico	Sim	Não	13	1,98	-	-
BLOCO DE MECÂNICA	SALA DE AULA DE METALOGRAFIA	Sala de aula	Sim	Não	43	2,54	-	-
BLOCO DE QUÍMICA	LABORATÓRIO DE BIOLOGIA	Lab. específico	Sim	Não	25	4,58	-	-
BLOCO DE QUÍMICA	LABORATÓRIO DE FÍSICA	Lab. específico	Sim	Não	30	6,45	-	-
BLOCO DE QUÍMICA	SALA DE AULA 26	Sala de aula	Sim	Não	43	2,86	-	-
BLOCO DE QUÍMICA	SALA DE AULA 27	Sala de aula	Sim	Não	41	2,86	-	-

## APÊNDICE B: RELAÇÃO DOS LOCAIS DE AULA DO IFPB-JP

Bloco acadêmico	Descrição do local de aula	Tipo	Utilizado como sala de aula	Utilizado como lab. de informática	Quantidade de carteiras	Custo energético por aula	Quantidade de computadores	Custo energético do computador do aluno por aula
BLOCO DE SALA DE AULA	LABORATÓRIO DE INFORMÁTICA 21 - (Lab. Polo EAD)	Lab. de informática	Sim	Sim	-	4,23	24	0,22
BLOCO DE SALA DE AULA	SALA DE AULA 01	Sala de aula	Sim	Não	46	2,56	-	-
BLOCO DE SALA DE AULA	SALA DE AULA 02	Sala de aula	Sim	Não	45	2,56	-	-
BLOCO DE SALA DE AULA	SALA DE AULA 03	Sala de aula	Sim	Não	45	2,56	-	-
BLOCO DE SALA DE AULA	SALA DE AULA 04	Sala de aula	Sim	Não	47	3,72	-	-
BLOCO DE SALA DE AULA	SALA DE AULA 05	Sala de aula	Sim	Não	47	2,56	-	-
BLOCO DE SALA DE AULA	SALA DE AULA 06	Sala de aula	Sim	Não	46	3,83	-	-
BLOCO DE SALA DE AULA	SALA DE AULA 07	Sala de aula	Sim	Não	47	3,58	-	-
BLOCO DE SALA DE AULA	SALA DE AULA 08	Sala de aula	Sim	Não	48	2,09	-	-
BLOCO DE SALA DE AULA	SALA DE AULA 09	Sala de aula	Sim	Não	46	3,51	-	-
BLOCO DE SALA DE AULA	SALA DE AULA 10	Sala de aula	Sim	Não	46	3,44	-	-
BLOCO DE SALA DE AULA	SALA DE AULA 11	Sala de aula	Sim	Não	47	3,51	-	-
BLOCO DE SALA DE AULA	SALA DE AULA 12	Sala de aula	Sim	Não	48	3,52	-	-
BLOCO DE SALA DE AULA	SALA DE AULA 13	Sala de aula	Sim	Não	39	3,76	-	-
BLOCO DE SALA DE AULA	SALA DE AULA 14	Sala de aula	Sim	Não	48	3,76	-	-
BLOCO DE SALA DE AULA	SALA DE AULA 15	Sala de aula	Sim	Não	38	3,76	-	-
BLOCO DE SALA DE AULA	SALA DE AULA 16	Sala de aula	Sim	Não	46	3,84	-	-
BLOCO DE SALA DE AULA	SALA DE AULA 17	Sala de aula	Sim	Não	45	3,85	-	-
BLOCO DE SALA DE AULA	SALA DE AULA 18	Sala de aula	Sim	Não	45	3,85	-	-
BLOCO DE SALA DE AULA	SALA DE AULA 19	Sala de aula	Sim	Não	47	3,84	-	-
BLOCO DE SALA DE AULA	SALA DE AULA 20	Sala de aula	Sim	Não	46	3,85	-	-
BLOCO DE SALA DE AULA	SALA DE AULA 21	Sala de aula	Sim	Não	49	3,84	-	-
BLOCO DE SALA DE AULA	SALA DE AULA 22	Sala de aula	Sim	Não	47	3,76	-	-
BLOCO DE SALA DE AULA	SALA DE AULA 23	Sala de aula	Sim	Não	48	3,76	-	-

## APÊNDICE B: RELAÇÃO DOS LOCAIS DE AULA DO IFPB-JP

Bloco acadêmico	Descrição do local de aula	Tipo	Utilizado como sala de aula	Utilizado como lab. de informática	Quantidade de carteiras	Custo energético por aula	Quantidade de computadores	Custo energético do computador do aluno por aula
BLOCO DE SALA DE AULA	SALA DE AULA 24	Sala de aula	Sim	Não	46	3,85	-	-
BLOCO DE SALA DE AULA	SALA DE AULA 25	Sala de aula	Sim	Não	45	3,84	-	-
BLOCO DE SALA DE AULA	SALA DE AULA 35 - NÚCLEO DE PROGRESSÃO PARCIAL	Sala de aula	Sim	Não	22	1,73	-	-
BLOCO DE TELECOMUNICAÇÕES	AFERIÇÃO E CALIBRAÇÃO DE EQUIPAMENTOS BIOMÉDICOS	Lab. específico	Sim	Sim	13	2,49	8	0,21
BLOCO DE TELECOMUNICAÇÕES	LABORATÓRIO DE FIBRAS ÓPTICAS	Lab. específico	Sim	Não	20	2,94	-	-
BLOCO DE TELECOMUNICAÇÕES	LABORATÓRIO DE INSTRUMENTAÇÃO BIOMÉDICA	Lab. específico	Sim	Sim	-	2,49	7	0,21
BLOCO DE TELECOMUNICAÇÕES	LABORATORIO DE TELEFONIA E REDES CONVERGENTES	Lab. específico	Sim	Sim	-	2,94	8	0,45
GINÁSIO 02	SALA DE AULA 50 - EDUCAÇÃO FÍSICA - TEORIA	Sala de aula	Sim	Não	26	1,8	-	-

**APÊNDICE C: RELAÇÃO DE EQUIPAMENTOS PRESENTES NOS LOCAIS DE AULA DO IFPB-CG**

<b>Ar-condicionado</b>	<b>kWh/mês</b>	<b>Potência(W)</b>
AR CONDICIONADO ELGIN 30.000 SRFI-30000-2	64,1	-
AR CONDICIONADO PHILCO 30.000 PAC30000QFM6	59,6	-
AR CONDICIONADO ELECTROLUX 30.000 TI30R	57	-
AR CONDICIONADO ELGIN TETO 36000 PHFI-36000 -2	81,5	-
<b>Projektor</b>	<b>kWh/mês</b>	<b>Potência(W)</b>
TV PHILCO 58	4,5	150
TV SAMSUNG UN60H6300AG	5,58	186
COMPUTADOR URMET DARUMA PC-3500i	5,04	168
<b>Iluminação</b>	<b>kWh/mês</b>	<b>Potência(W)</b>
LÂMPADA 40W	1,2	40
LÂMPADA 20W	0,6	20
LÂMPADA 18W	0,54	18
LÂMPADA 32W	0,96	32
LÂMPADA 26W	0,78	26
<b>Computador</b>	<b>kWh/mês</b>	<b>Potência(W)</b>
COMPUTADOR HP COMPAQ 6305 PRO SMALL FORM FACTOR	7,2	240
COMPUTADOR HP COMPAQ 6005 PRO SMALL FORM FACTOR	7,2	240
COMPUTADOR HP DESKTOP PRO A MT	9,3	310
COMPUTADOR C3TECH	7,89	263
<b>Monitor</b>	<b>kWh/mês</b>	<b>Potência(W)</b>
MONITOR HP ELITEDISPLAY E221	0,87	29
MONITOR AOC F19	1,11	37
MONITOR HP V22B	0,48	16
MONITOR PHILIPS 223V5LHSB2/57	0,459	15,3

## APÊNDICE D: RELAÇÃO DOS LOCAIS DE AULA DO IFPB-CG

Bloco acadêmico	Descrição do local de aula	Tipo	Utilizado como sala de aula	Utilizado como lab. de informática	Quantidade de carteiras	Custo energético por aula	Quantidade de computadores	Custo energético do computador do aluno por aula
BLOCO DE SALA DE AULA	SALA 01(CENTRAL DE AULAS)	Sala de aula	Sim	Não	48	2,31	-	-
BLOCO DE SALA DE AULA	SALA 04(CENTRAL DE AULAS)	Sala de aula	Sim	Não	47	2,51	-	-
BLOCO DE SALA DE AULA	SALA 05(CENTRAL DE AULAS)	Sala de aula	Sim	Não	50	2,51	-	-
BLOCO DE SALA DE AULA	SALA 06(CENTRAL DE AULAS)	Sala de aula	Sim	Não	48	2,51	-	-
BLOCO DE SALA DE AULA	SALA 07(CENTRAL DE AULAS)	Sala de aula	Sim	Não	47	2,18	-	-
BLOCO DE SALA DE AULA	SALA 08(CENTRAL DE AULAS)	Sala de aula	Sim	Não	47	2,18	-	-
BLOCO DE SALA DE AULA	SALA 09(CENTRAL DE AULAS)	Sala de aula	Sim	Não	46	2,38	-	-
BLOCO DE SALA DE AULA	SALA 10(CENTRAL DE AULAS)	Sala de aula	Sim	Não	47	2,38	-	-
BLOCO DE SALA DE AULA	SALA 11(CENTRAL DE AULAS)	Sala de aula	Sim	Não	47	2,38	-	-
BLOCO DE SALA DE AULA	SALA 12(CENTRAL DE AULAS)	Sala de aula	Sim	Não	47	2,38	-	-
BLOCO DE SALA DE AULA	SALA 13(CENTRAL DE AULAS)	Sala de aula	Sim	Não	44	2,08	-	-
BLOCO DE SALA DE AULA	SALA 14(CENTRAL DE AULAS)	Sala de aula	Sim	Não	50	2,38	-	-
BLOCO DE SALA DE AULA	SALA 15(CENTRAL DE AULAS)	Sala de aula	Sim	Não	50	2,38	-	-
BLOCO DE SALA DE AULA	Sala 16	Sala de aula	Sim	Não	44	2,05	-	-
BLOCO DE SALA DE AULA	SALA 17(CENTRAL DE AULAS)	Sala de aula	Sim	Não	48	2,51	-	-
BLOCO DE SALA DE AULA	SALA 18(CENTRAL DE AULAS)	Sala de aula	Sim	Não	47	2,51	-	-
BLOCO DE SALA DE AULA	SALA 19(CENTRAL DE AULAS)	Sala de aula	Sim	Não	47	2,08	-	-
BLOCO DE SALA DE AULA	SALA 20(CENTRAL DE AULAS)	Sala de aula	Sim	Não	40	2,38	-	-
BLOCO DE SALA DE AULA	SALA 21(CENTRAL DE AULAS)	Sala de aula	Sim	Não	47	2,05	-	-
BLOCO DE SALA DE AULA	SALA 22(CENTRAL DE AULAS)	Sala de aula	Sim	Não	46	2,38	-	-
BLOCO DE SALA DE AULA	SALA 23(CENTRAL DE AULAS)	Sala de aula	Sim	Não	48	2,38	-	-
BLOCO DE SALA DE AULA	SALA 24(CENTRAL DE AULAS)	Sala de aula	Sim	Não	47	2,38	-	-
BLOCO DE SALA DE AULA	SALA 25(CENTRAL DE AULAS)	Sala de aula	Sim	Não	47	2,38	-	-

## APÊNDICE B: RELAÇÃO DOS LOCAIS DE AULA DO IFPB-CG

Bloco acadêmico	Descrição do local de aula	Tipo	Utilizado como sala de aula	Utilizado como lab. de informática	Quantidade de carteiras	Custo energético por aula	Quantidade de computadores	Custo energético do computador do aluno por aula
BLOCO DE SALA DE AULA	SALA 26(CENTRAL DE AULAS)	Sala de aula	Sim	Não	47	2,38	-	-
BLOCO DE SALA DE AULA	SALA 27(CENTRAL DE AULAS)	Sala de aula	Sim	Não	47	2,38	-	-
BLOCO DE SALA DE AULA	SALA 28(CENTRAL DE AULAS)	Sala de aula	Sim	Não	47	2,38	-	-
BLOCO DE SALA DE AULA	SALA 29(CENTRAL DE AULAS)	Sala de aula	Sim	Não	47	2,26	-	-
BLOCO DE SALA DE AULA	SALA 30(CENTRAL DE AULAS)	Sala de aula	Sim	Não	46	2,08	-	-
BLOCO DE SALA DE AULA	SALA 31(CENTRAL DE AULAS)	Sala de aula	Sim	Não	47	2,38	-	-
BLOCO DE SALA DE AULA	SALA 32(CENTRAL DE AULAS)	Sala de aula	Sim	Não	46	2,08	-	-
CÉLULAS	LABORATORIO DE GEOLOGIA	Lab. Específico	Sim	Não	33	3,05	-	-
CÉLULAS	Laboratorio de Informatica 1	Lab. Info	Sim	Sim	20	2,33	19	0,22
CÉLULAS	LABORATORIO DE INFORMATICA 2	Lab. Info	Sim	Sim	10	3,17	19	0,23
CÉLULAS	Laboratorio de Mineralogia	Lab. Específico	Sim	Não	54	2,85	-	-
CÉLULAS	LABORATORIO DE PROGRAMACAO 1	Lab. Info	Não	Sim	-	2,69	29	0,23
CÉLULAS	LABORATORIO DE PROGRAMACAO 2	Lab. Info	Sim	Sim	20	2,81	20	0,27
CÉLULAS	LABORATORIO DE PROGRAMACAO 3	Lab. Info	Não	Sim	-	2,69	28	0,23
CÉLULAS	LABORATORIO DE PROGRAMACAO 4	Lab. Info	Sim	Sim	20	2,95	19	0,22
CÉLULAS	Laboratorio de Redes	Lab. Específico	Não	Sim	-	2,33	18	0,22