

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
DA PARAÍBA
CAMPUS JOÃO PESSOA**

Taynara Lopes Santos Cavalcanti

**ESTUDO COMPARATIVO ENTRE O AMBIENTE DE CONTRATAÇÃO LIVRE E A
PRODUÇÃO PRÓPRIA DE ENERGIA PARA EMPRESAS DE PEQUENO PORTE**

João Pessoa

2025

TAYNARA LOPES SANTOS CAVALCANTI

ESTUDO COMPARATIVO ENTRE O AMBIENTE DE CONTRATAÇÃO LIVRE E A
PRODUÇÃO PRÓPRIA DE ENERGIA PARA EMPRESAS DE PEQUENO PORTE

**Trabalho de Conclusão de Curso submetido
ao Instituto Federal da Paraíba, como
requisito necessário para obtenção do grau de
Bacharel em Engenharia Elétrica**

João Pessoa, Março de 2025

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA PARAÍBA

TAYNARA LOPES SANTOS CAVALCANTI

Documento assinado digitalmente
 **MANOEL ALVES FILHO**
Data: 28/04/2025 19:13:11-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Manoel Alves Filho
Instituto Federal da Paraíba - IFPB
Orientador

Documento assinado digitalmente
 **WALMERAN JOSE TRINDADE JUNIOR**
Data: 28/04/2025 14:37:30-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Walmeran José Trindade Junior
Instituto Federal da Paraíba - IFPB
Membro da Banca Examinadora

Documento assinado digitalmente
 **HELDER ROLIM FLORENTINO**
Data: 28/04/2025 18:51:05-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Helder Rolim Florentino
Instituto Federal da Paraíba - IFPB
Membro da Banca Examinadora

João Pessoa, 23 de Março de 2025

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

C377e Cavalcanti, Taynara Lopes Santos.

Estudo comparativo entre o ambiente de contratação livre e a produção própria de energia para empresas de pequeno porte / Taynara Lopes Santos Cavalcanti. – 2025.

28 f. : il.

TCC (Curso Superior de Bacharelado em Engenharia Elétrica) – Instituto Federal de Educação da Paraíba / Unidade Acadêmica de Controle e Processos Industriais / Coordenação do Curso Superior de Bacharelado em Engenharia Elétrica, 2025.

Orientador: Prof^o Dr. Manuel Alves Filho.

1. Mercado cativo. 2. Mercado livre de energia. 3. Geração distribuída. 4. Pequenas empresas. I. Título.

CDU 621.311(043)

Resumo

O presente trabalho visa elaborar um estudo comparativo entre o Ambiente de Contratação Livre e Geração Própria de energia, enfatizando o cenário do mercado livre de energia no Brasil frente aos sistemas de geração distribuída. A pesquisa utilizou um estudo de caso para demonstrar a viabilidade econômica, de modo a indicar a melhor opção em relação ao prazo de retorno do investimento, levando em consideração o cenário atual do setor elétrico brasileiro e as implicações dessa escolha para empresas de pequeno porte.

Palavras-chave: mercado cativo, mercado livre de energia, geração distribuída

Abstract

The present work aims to develop a comparative study between the Free Energy Trading Environment and Self-Generation of energy, emphasizing the scenario of the free energy market in Brazil concerning distributed generation systems. The research employed a case study to demonstrate economic feasibility, indicating the best option regarding investment return period, while considering the current state of the Brazilian electric sector and the implications of this choice for small businesses.

Keywords: regulated energy market, energy market, distributed generation

Lista de tabelas

Tabela 1- Demonstrativo das tarifas levadas em consideração na análise da conta de energia do mercado cativo	19
Tabela 2-Demonstrativo das tarifas levadas em consideração na análise da conta de energia do mercado livre .	20
Tabela 3-Consumo médio expresso ao longo dos 12 meses	21
Tabela 4- Resultado de viabilidade voltada a aplicação no Mercado Livre no período de 3 anos	23
Tabela 5- Demonstrativo de cálculo para estipular o valor quantitativo a ser pago em virtude da potência excedente injetada	23
Tabela 6 - Indicadore de VPL, TIR e Payback do sistema fotovoltaico	24

Lista de abreviaturas e siglas

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica

CCEE - Câmara de Comercialização de Energia Elétrica

SIN - Sistema Interligado Nacional

ACL - Ambiente de Contratação Livre

ACR - Ambiente de Contratação Regulado

ROI - Return on Investment

ICMS - Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços

TUSD - Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição

VPL - Valor Presente Líquido

TIR - Taxa Interna de Retorno

Sumário

1	INTRODUÇÃO	9
	1.1 Regulamentação	10
	1.2 Processo de Contratação no Mercado Livre de Energia	10
2	REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO	Erro! Indicador não definido.
	2.1 A importância de normas regulamentadoras aplicadas ao setor de geração distribuída e ao mercado livre de energia	12
	2.2 Evolução do setor fotovoltaico	13
3	METODOLOGIA	18
	3.1 Revisão bibliográfica	15
	3.2 Coleta de Dados	15
	3.3 Cálculo do Retorno sobre Investimento - ROI	15
	3.4 Estudo de Caso	16
	3.5 Análise Quantitativa	16
	3.6 Estudo de viabilidade econômica	18
	3.6.1 Cálculo comparativo entre o ACR x ACL	18
	3.6.2 Dimensionamento do sistema de geração fotovoltaica	20
4	RESULTADOS	23
5	DISCUSSÕES FINAIS	26
	CONCLUSÃO	27
	REFERÊNCIAS	28

1 INTRODUÇÃO

A implementação da geração distribuída no país iniciou gradativamente ao longo dos anos, sendo 2012 um período de grandes mudanças em relação à disseminação das energias renováveis no Brasil, visando diversificar a matriz energética de modo que ela possua uma característica mais dinâmica e bidirecional do fluxo de potência. Tendo em vista que a partir desta mudança, o sistema de produção e transmissão de energia elétrica no Brasil absorveu a integração de fontes de energia intermitentes no Sistema Interligado Nacional (SIN), foi necessário a partir disso, lidar com desafios para manter a maior flexibilidade e capacidade de resposta do sistema a fim de garantir a estabilidade da rede. Essa interconexão proporciona ganhos sinérgicos e aproveita a diversidade dos regimes hidrológicos das bacias, garantindo segurança e economia energética no atendimento ao cliente final. O SIN é composto por quatro subsistemas: Sul, Sudeste/Centro-Oeste, Nordeste e parte da região Norte, permitindo a transferência de energia entre eles mediante uma extensa malha de transmissão.

Sendo assim, a incorporação de tecnologias de geração distribuída no SIN demandam investimentos e adaptações tecnológicas que resultam em melhorias no suprimento eficiente do mercado consumidor, garantindo a disponibilidade de energia elétrica e evitando possíveis apagões, como também na redução de falhas no processo de fornecimento de energia na medida que se utiliza de alternativas mais sustentáveis e com menos emissões de gases poluentes em seu processo de geração.

Atualmente, pesquisas indicam que hoje as fontes renováveis possuem um número expressivo na composição da matriz energética brasileira, tendo em vista que a energia solar passou a ter entre 2016 a 2018 um percentual de crescimento de 0,1% à 1,4%. Já em 2025 dados da ONS relatam que o setor representa 7,3% da matriz energética, ultrapassando a marca de 55 gigawatts (GW) de potência instalada (ONS, 2025). Esse crescimento é advindo de um custo-benefício atrativo na aquisição do sistema solar, na qual possui retorno do capital investido em uma média de tempo de 3 a 5 anos, o que torna o sistema bastante viável já que em sua grande maioria, as marcas presentes no mercado atual apresentam módulos fotovoltaicos e inversores de tensão com excelente desempenho e com garantia de 5 a 25 anos de fábrica.

Outra alternativa de redução de custo na conta de energia é na possibilidade de

adesão ao mercado livre de energia, em que permite que consumidores negociem diretamente com fornecedores, como geradores ou comercializadores, estabelecendo condições de compra personalizadas ao seu perfil de consumo. Diferente do mercado cativo, onde a distribuidora local é a única opção, o mercado livre oferece liberdade de escolha de fornecedores e negociação de preços, prazos e volumes de energia por meio de um estudo baseado em seu consumo médio ao longo dos meses.

Dentre os benefícios advindos da inserção ao Mercado Livre de Energia podemos citar a previsibilidade de custos presente nos contratos destinado a cada cliente, onde este possui um fator que permite adequar melhor a sua necessidade de consumo, resultando em um melhor planejamento financeiro. Outro fator é a flexibilidade nas negociações, onde são estabelecidas estratégias adaptadas às demandas específicas de cada negócio. E por fim, outro fator relevante é na escolha de fornecedores, em que através da tarifa de cada fornecedor, é possível avaliar e eleger o que oferece as melhores condições e serviços.

1.1 Regulamentação

Para haver a contratação de energia no mercado livre de energia, o consumidor deve seguir alguns passos e atender a certos requisitos estabelecidos pela ANEEL.

Dentre as leis que garante a conformidade do processo, temos a Lei nº 9.074/1995 e as normas da ANEEL que garantem o funcionamento e transparência do mercado, sendo a ANEEL o órgão regulamentador que fiscaliza e estabelece regras para o mercado livre de energia. Outro agente bastante importante é a Câmara de Comércio de Energia Elétrica (CCEE), na qual se trata de uma sociedade civil de direito privado sem fins lucrativos que facilita as transações entre as partes interessadas, garantindo segurança e eficiência ao decorrer do processo. Essas regulamentações visam proporcionar um ambiente seguro e transparente para a negociação livre entre consumidores e fornecedores sem que haja prejuízo para ambas as partes.

1.2 Processo de Contratação no Mercado Livre de Energia

Na adequação e contratação desse recurso, é necessário seguir alguns processos que vão desde a análise da proposta ofertada, até a contratação e registro dos trâmites nos órgãos competentes, deste modo segue abaixo os pontos focais presentes neste processo:

1. Análise de Viabilidade: O consumidor deve avaliar se a migração para o mercado livre é vantajosa, considerando seu perfil de consumo e as condições do mercado.

2. **Contratação de Consultoria:** É recomendável contratar uma consultoria especializada para auxiliar na migração e na gestão dos contratos de energia.
3. **Negociação de Contratos:** No mercado livre, o consumidor negocia diretamente com os fornecedores de energia (geradores ou comercializadores), definindo preços, prazos e volumes de energia de acordo com suas necessidades.
4. **Registro na CCEE:** Após a negociação, os contratos devem ser registrados na CCEE, responsável por viabilizar as transações entre os agentes do mercado.

1.3 **Justificativa**

O estudo tem como justificativa a relevância do tema para a compreensão do cenário de transição energética no Brasil, e quais os modelos mais viáveis destinados a cada perfil de consumidor.

1.4 **Objetivos Gerais**

O trabalho tem como objetivo apresentar os benefícios de cada modelo analisados neste estudo, e realizar um comparativo a partir de um caso real por meio de dados de viabilidade econômica.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O mercado de energia solar e o mercado livre de energia têm experimentado um crescimento relevante de procura e demanda nos últimos anos, impulsionados por diversos fatores como a busca por sustentabilidade atrelado a viabilidade econômica. A energia solar e o mercado livre são ferramentas poderosas para otimizar o consumo de energia e reduzir custos, na mesma proporção que diversifica a matriz energética brasileira. A combinação dessas duas vertentes permitiram transformar o modelo de geração, de compra e venda de energia no mercado cativo, em um ambiente com maior flexibilidade e com amplas possibilidades de modelos de negócio, sendo uma delas a transição de fontes de geração habituais para fontes de energia mais abundantes e renováveis.

No entanto, essa transição do modelo de fornecimento de energia vem passando por diversas intercorrências ao longo de sua implementação. A falta de uma lei regulamentadora para novos ingressantes na modalidade de geração distribuída, provocou um aumento em falhas de projeto e de instalação acerca de novas unidades na rede de distribuição de energia, pertencentes as concessionárias de cada estado do Brasil.

Alguns desses problemas encontrados estão vinculados com o mau planejamento e a má gestão dos processos, na qual podemos citar dentre eles:

1. O mau dimensionamento dos cabos e dispositivos de proteção, provocando casos de sobredimensionamento ou subdimensionamento dos equipamentos que compõem o projeto;
2. Eventuais problemas de funcionamento provocado pelo aquecimento dos conectores e emendas;
3. Problemas com a concessionária no demonstrativo de créditos gerados pela as unidades geradoras e unidades beneficiárias;

2.1 **A importância de normas regulamentadoras aplicadas ao setor de geração distribuída e ao mercado livre de energia**

As normas regulamentadoras no setor elétrico tem como finalidade garantir um ambiente de conformidade para a aplicação do direito do consumidor de optar por integrar ou não no modelo de geração própria de energia, como também permitir a concessionária viabilizar parâmetros tarifários de concessão de energia para diferentes

perfis de clientes. Visando isso, a Resolução Normativa ANEEL 482/2012 aplicada no Brasil estabelece as regras para a microgeração e minigeração distribuída, permitindo que consumidores gerem sua própria energia a partir de fontes renováveis, como, por exemplo, a solar. Esta também define o modelo de compensação de energia, onde o excedente gerado pode ser utilizado para abater o consumo em períodos posteriores, de unidades consumidoras que possuem a mesma titularidade. Esse modelo ficou conhecido como o Marco legal da energia solar, na qual foi implementado em janeiro de 2023. Outra Resolução complementar é a Normativa 687/2015 (ANEEL) na qual abrange a 482/2012, detalhando aspectos relacionados à compensação de energia e à conexão de sistemas de geração distribuída à rede elétrica.

As legislações mais atuais do Mercado Livre de energia propõem mudanças significativas para a ingresso de novos perfis de cliente com modalidades de consumos diversos. Conforme a Portaria Normativa N° 50/GM/MME de 27/09/2022, este possibilita que consumidores do grupo A, que possuem tensão igual ou superior a 2,3 kV, possam operar no Ambiente de Contração Livre (ACL), sem a necessidade de um consumo mínimo, desta forma permitindo que empresas possam se beneficiar da flexibilidade e das vantagens do retorno financeiro proporcionado pelo mercado livre.

Temos também nesse conjunto de medidas, a Norma da ANEEL de 12/12/2023, na qual a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) aprovou melhorias voltadas a incentivar a migração de consumidores com demanda contratada a partir de 500 kW para o ACL. A norma simplifica os prazos e procedimentos, permitindo que esses consumidores contratem energia incentivada, e sejam representados por comercializadores varejistas. Isto impulsiona o crescimento do setor, possibilitando que empresas de menor porte possam ingressar neste modelo de contratação que antes era restrito aos grandes consumidores, oferecendo mais opções de escolha e negociação de contratos.

2.2 Evolução do setor fotovoltaico

Fazendo um breve comparativo dos avanços tecnológicos apresentados no decorrer dos últimos 10 anos, podemos encontrar no mercado painéis fotovoltaicos com maior eficiência e menores dimensões físicas que os apresentados no início do mercado de energia solar, como, por exemplo, a tecnologia de módulos bifaciais, retratando a rápida evolução dos equipamentos que compõem o sistema. Isso resulta em uma maior produção de energia por área e um menor custo por watt gerado, alcançando resultados de geração satisfatórios.

Dentre essas melhorias, podemos citar então:

- Baterias estacionárias que compõem sistema de geração OFF GRID, de maior capacidade e menor custo: As baterias de lítio, por exemplo, têm se tornado mais acessíveis e eficientes, permitindo o armazenamento de energia solar para uso noturno ou em dias nublados. Isto permite a autonomia dos sistemas solares e reduz conseqüentemente a dependência do sistema de distribuição de energia da concessionária de energia, que supriria essa demanda nos momentos de ausência de sol. Outra utilização bastante relevante desse equipamento seria destinado ao tema de eletromobilidade, onde estudos de melhorias voltados aos ciclos de carregamento rápido, trariam arpefeiçoamento do armazenamento e ciclo de vida dessas baterias ajudando a alavancar o mercado de veículos elétricos e híbridos no Brasil.
- Integração com a internet das coisas (IoT): A conexão dos sistemas solares com dados conectados em nuvem permite o monitoramento remoto da energia gerada, a otimização do consumo e a integração com outros dispositivos inteligentes. Fazendo um rápido diagnóstico do sistema
- Mini e microgeração: A possibilidade de gerar energia solar em pequena escala, como em residências e pequenos comércios, tem se popularizado, democratizando o acesso à energia limpa.

Outro fator bastante relevante é que o mercado livre tem visto um aumento na participação de fontes renováveis, como a solar e a eólica, com regulamentações que incentivam a contratação de energia limpa. Muitas empresas estão optando por contratos de longo prazo no ACL para garantir preços mais estáveis e previsíveis, além de contribuir para metas de sustentabilidade.

2.3 **Parâmetros para elaboração do trabalho**

Apresentaremos nesta seção quais os principais tópicos a serem desenvolvidos ao longo do trabalho, para desenvolver o modelo de análise aplicado no estudo.

2.1 Revisão bibliográfica

Diante do que foi apresentado nos capítulos anteriores, houve uma revisão de literatura acerca das condições no mercado de energia no Brasil, de modo que foi abordado temas sobre a evolução do setor elétrico e os estudos anteriores sobre os impactos econômicos do ACL e da geração fotovoltaica, a fim de entender quais as vantagens e desvantagens de cada modelo.

2.2 Coleta de Dados

Para a coleta de informações, buscamos entender quais os fatores significativos para o estudo visando estruturar o cenário comparativo entre ambos os modelos. De modo que, observamos a importância de considerar e estimar as seguintes variáveis:

- Calcular os custos de instalação dos sistemas fotovoltaicos, além de custos de manutenção e operação ao longo da vida útil do sistema, levando-se em consideração um período médio de 25 anos.
- Considerar benefícios como isenções fiscais e redução nas contas de energia.

2.3 Cálculo do Retorno sobre Investimento - ROI

O ROI (Return on Investment) se trata de uma métrica financeira aplicada na avaliação de um investimento, a partir de sua viabilidade e eficiência. Deste modo, o ROI é calculado da seguinte forma:

$$ROI = (Investimento\ inicial - Ganho\ Obtido) / Investimento\ Inicial \quad (1.1)$$

Na qual, a partir resultado obtido, podemos determinar se o investimento obterá lucro ou prejuízo, se o cálculo apresentado for positivo ou negativo, respectivamente.

Outros fatores de análise financeira importantes são:

- O Payback: Que estipula o tempo que levará para recuperar o investimento inicial com as economias geradas.
- TIR (Taxa Interna de Retorno): Indicador que ajuda a medir a rentabilidade do investimento.

- VPL (Valor Presente Líquido): Cálculo que considera o valor do dinheiro no tempo e ajuda a avaliar a viabilidade de projetos de investimento.

2.4 Estudo de Caso

A metodologia abordada para o estudo de viabilidade econômica foi baseada em uma aplicação real em uma empresa no ramo de fabricação de tubos e conexões localizada no estado da Paraíba, possuindo um perfil de consumo em alta tensão com classe de atendimento A4 – Industrial. O Objetivo principal desse estudo é fazer um comparativo entre as tarifas do mercado cativo, simular a transição para o mercado livre e os valores de consumo contratado, e comparar o investimento e o retorno ofertado pela implementação do sistema de geração fotovoltaico na unidade consumidora, compensando diretamente a energia gerada na fatura.

Diante disso, foram comparados o desempenho econômico, a eficiência, a flexibilidade das operações entre os dois mercados, bem como o retorno do investimento associado ao sistema de energia fotovoltaica, caso o consumidor optasse pela geração distribuída.

2.5 Análise Quantitativa

Tendo em vista que no Mercado Livre o consumidor está sujeito a tarifa de uso do sistema de distribuição e aos tributos de impostos estaduais, faremos inicialmente um comparativo econômico entre as tarifas incluídas na contratação de energia por meio do ACL, e as tarifas impostas pela concessionária de energia, sem considerar as bandeiras tarifárias, em virtude da sua volatilidade ao longo do ano.

A Tarifa ML é negociada diretamente no mercado livre, por meio de um contrato de compra e venda com o gerador ou comercializador de energia elétrica. Além disso, é necessário levar em consideração custos adicionais relacionados a consultoria, e a taxa cobrada pela CCEE.

No âmbito do mercado cativo, a Tarifa de Energia (TE) é a taxa cobrada pela distribuidora sobre a energia consumida em quilowatt-hora (kWh) durante o mês, esta é uma tarifa que poderá sofrer variações ao longo dos meses em decorrência das bandeiras tarifárias, de modo que a soma da TUSD + TE + impostos formam a tarifa final cobrada

pela concessionária de energia.

Já a TUSD Fio B é uma tarifa complementar a Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição (TUSD), implementada pela Lei nº 14.300/2022 que regulamenta a cobrança do fio B na geração distribuída, de modo que ela é aplicada as unidades geradoras conectadas em rede. Essa tarifa incide sobre a energia excedente gerada por sistemas fotovoltaicos injetados na rede de distribuição, visto cujo objetivo é cobrir custos relacionados à infraestrutura da rede de distribuição de energia, como postes, transformadores e subestações.

Portanto, além de considerar os valores quantitativos, é fundamental analisar fatores não financeiros que podem influenciar a decisão. Esses fatores incluem a percepção de risco, as implicações ambientais e o nível de aceitação do modelo de tecnologia proposto pela empresa instaladora.

3 METODOLOGIA

A metodologia aplicada para este trabalho se trata de um estudo de caso utilizando dados reais de contas de consumo de um cliente comercial, de modo que foi atribuído valores reais de mercado disponibilizados por empresas integradoras do ramo de energia fotovoltaica, para a correta aplicação da base de preço do sistema fotovoltaico que foi dimensionado para este cliente.

3.1 Estudo de viabilidade econômica

A migração para o Mercado Livre de Energia é uma decisão estratégica que pode proporcionar significativas vantagens econômicas e operacionais para os consumidores. Para realizar um estudo de viabilidade econômica, é essencial considerar diversos parâmetros que influenciam diretamente os custos e benefícios dessa transição.

3.6.1 Cálculo comparativo entre o ACR x ACL

Para estipular o investimento inicial de cada modelo, primeiro dimensionamos o seu consumo médio de energia durante o período de 1 ano da empresa contratante, utilizando a conta de energia como base, visando realizar uma estimativa de valor de demanda aplicada ao tempo de vigência de contrato com a CCEE, sendo este de 3 anos. Além da demanda contratada, é preciso também calcular o valor do consumo TE ponta e fora ponta da unidade consumidora, levando em consideração que se trata de um cliente do grupo A4 - Industrial.

Para realizar um levantamento das alíquotas, é essencial compreender alguns conceitos relacionados às taxas de cobrança presentes na conta de energia. Um exemplo disso é a tarifa TUSD, aplicada pela concessionária em virtude da disponibilidade e do uso da rede de distribuição. Essa tarifa é válida tanto no mercado regulado quanto no mercado livre, além de ser aplicada no sistema de geração distribuída. Sua principal finalidade é cobrir os custos associados à infraestrutura das redes de distribuição, fundamentais para viabilizar e sustentar o sistema de transferência de energia. Por isso, é imprescindível realizar melhorias e manutenções periódicas, que garantam a interoperabilidade da rede quanto sua capacidade de atender a novas demandas.

A Resolução da ANEEL nº 3.378, de 27/08/2024, divulgada no site da ENERGISA PARAÍBA, disponibilizou as alíquotas atualizadas cobradas pela concessionária para o ano

de 2024. Essas alíquotas variam conforme a modalidade tarifária, sendo determinadas pela classe de atendimento e pela opção do cliente de aderir aos modelos de Tarifa Azul ou Tarifa Verde

A unidade consumidora analisada neste estudo possui uma demanda contratada de 135 kW, com perfil de consumo restrito aos horários fora-de-ponta. Por esse motivo, o consumo de TE Ponta foi desconsiderado no estudo.

Estimativa Faturamento - Modalidade Tarifária VERDE				
Parcela	Valor	Unidade	Tarifa s/Trib.	Subtotal
Consumo TE - Fora de Ponta	20.110,00	kWh	0,21753	R\$ 4.374,53
TUSD Fora Ponta	20.110,00	kWh	0,06902	R\$ 1.387,99
Demanda Contratada	135,00	kW	24,72	R\$ 3.337,20
TOTAL DA FATURA:				R\$ 9.099,72

Tabela 1- Demonstrativo das tarifas levadas em consideração na análise da conta de energia do mercado cativo

Na simulação da conta considerando as alíquotas do mercado livre de energia, foi possível observar na Tabela 2 diferenças significativas na tarifação. A cobrança pela TUSD Fora Ponta e pela tarifa ML Fora Ponta de consumo mostrou-se bem mais econômica, desconsiderando a inclusão das tarifas oscilatórias do mercado cativo aplicadas ao longo do ano, como as das bandeiras tarifárias.

Estimativa Faturamento - Modalidade Mercado Livre				
Parcela	Valor	Unidade	Tarifa s/Trib.	Subtotal
Consumo ML Fora ponta	20.110,00	kWh	R\$ 0,1570	R\$ 3.157,27
TUSD Fora Ponta	20.110,00	kWh	R\$ 0,06948	R\$ 1.397,24
Demanda Contratada	135,00	kW	R\$ 11,38	R\$ 1.536,30
CDE-Covid	20.110,00	kWh	R\$ 0,0094	R\$ 188,23
CCEE	20.110,00	kWh	R\$ 0,0100	R\$ 201,10
Assessoria/Representação				R\$ 1.200,00
TOTAL DA FATURA:				R\$ 7.680,14

Tabela 2-Demonstrativo das tarifas levadas em consideração na análise da conta de energia do mercado livre

Vale ressaltar que em ambos os cenários não foram considerados os impostos de PIS, COFINS e ICMS na análise financeira, visto que os impostos incidem nas duas modalidades utilizando os mesmos percentuais de cálculo.

3.6.2 Dimensionamento do sistema de geração fotovoltaica

No projeto de dimensionamento do sistema fotovoltaico, o primeiro fator a determinar é o consumo médio anual do cliente a partir do seu perfil de consumo. Na tabela abaixo foi feito o descritivo do consumo mensal, e calculado o consumo médio anual através da média dos 12 meses.

Mes/ano	Consumo Fora Ponta(kWh)	TUSD sem tributos Fora Ponta	TE sem tributos Fora Ponta	Valor Fora Ponta(R\$)
jan/24	10392,93	0,240620	0,06902	R\$ 3.218,07
fev/24	20974,86	0,240620	0,06902	R\$ 6.494,66
mar/24	13397,65	0,240620	0,06902	R\$ 4.148,45
abr/24	19560,55	0,240620	0,06902	R\$ 6.056,73
mai/24	18957,25	0,240620	0,06902	R\$ 5.869,92
jun/24	19678,52	0,240620	0,06902	R\$ 6.093,26
jul/24	17878,95	0,240620	0,06902	R\$ 5.536,04
ago/24	24439,75	0,240620	0,06902	R\$ 7.567,52
set/24	31861,75	0,238540	0,06902	R\$ 9.799,40
out/24	28198,49	0,224590	0,06902	R\$ 8.279,36
nov/24	25959,4	0,224590	0,06902	R\$ 7.621,94
dez/24	29531,1	0,224590	0,06902	R\$ 8.670,63
Médias	21735,93	0,23644	0,069020	R\$ 6.613,00
Total Anual	260831,2			79.355,97

Tabela 3-Consumo médio expresso ao longo dos 12 meses

Chegando ao seguinte gráfico de consumo do cliente ao longo dos meses.

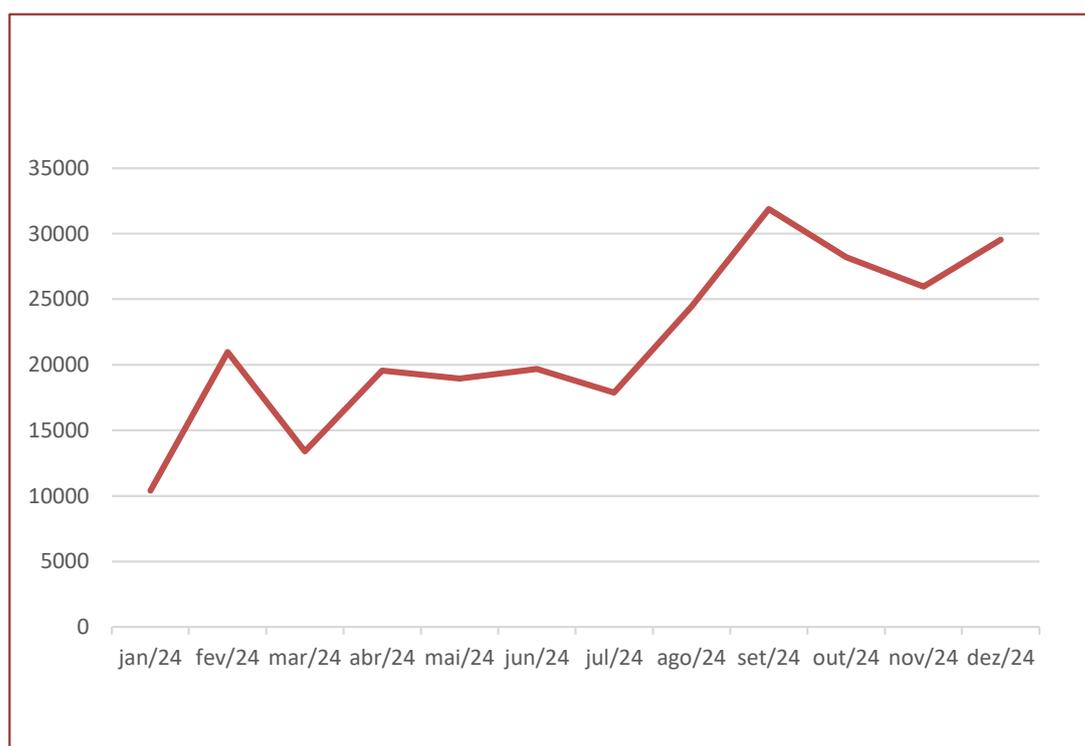


Gráfico 1 – Curva característica de consumo ao longo do período de 1 ano

Com base nos preços oferecidos por empresas integradoras do estado da Paraíba, estimamos o custo aproximado de um sistema de geração fotovoltaica para atender a um consumo médio de R\$ 6.613,00. O sistema proposto terá uma capacidade de 168 kWp, gerando uma média mensal de 22 MWh. Os inversores utilizados serão de até 135 kW, uma vez que a demanda do sistema está limitada à demanda contratada pela unidade consumidora, que é de 135 kW.

Para calcular o quantitativo de potência excedente injetada na rede, consideramos o perfil de consumo da empresa. Como a maioria das atividades ocorre durante o período diurno, estimamos que 25% da energia seja injetada na rede para compensação, ao invés de 50%. Assim, apenas 5.500 kWh são utilizados como referência no cálculo da conta, contabilizados no medidor de energia. O restante da potência, totalizando 16.500 kWh gerados pelo sistema solar, é instantaneamente compensado na própria unidade, o que evita custos adicionais para o cliente, como a TUSD fio B e a diferença de imposto sobre a TE.

Os valores referentes às despesas com energia e ao prazo de retorno de investimento foram apresentados em tabelas disponibilizadas no capítulo seguinte, “Resultados”.

4 RESULTADOS

Com base nas tabelas de consumo apresentadas anteriormente, projetamos um cenário de contratação no mercado livre com duração de três anos para o cálculo de viabilidade. Considerando os reajustes anuais das tarifas do mercado livre, obtivemos os números apresentados na tabela a seguir:

Economia Média - 3 anos		
Tipo	Valor	Percentual
Média de valor da conta	R\$ 8.022,01	
Economia mensal	R\$ 1.077,71	16%
Economia em 3 anos	R\$ 38.797,49	

Tabela 4- Resultado de viabilidade voltada a aplicação no Mercado Livre no período de 3 anos

Para o sistema de geração distribuída, foi estimado por uma empresa privada no segmento de energia solar o investimento total de R\$ 151.970,00 para um sistema que oferte 22.000 kWh.

Considerando que toda a energia gerada não será efetivamente consumida pela unidade, haverá uma potência excedente que será injetado na rede elétrica. Nesse contexto, é essencial considerar a tarifação estabelecida pela distribuidora para as operações de compra e venda de energia, bem como a aplicação da tarifa TUSD Fio B. Somente após essas análises foi viável calcular o montante adicional que será incluído na conta de energia.

ITEM	CONSUMO	TARIFA S/IMP	TE	TUSD + ICMS	VALOR S/ IMP.
CONSUMO	5500	0,30000	0,06	0,24	R\$ 1.650,00 (-)
Injeção/Comp.	5500	0,24300	0,06	0,18300	R\$ 1.336,50 (+)
AJUSTE TRF (TUSD Fio B)	5500	0,09000			R\$ 495,00

R\$
Demanda 3.072,60

R\$

Valor a pagar 3.881,10

Tabela 5- Demonstrativo de cálculo para estipular o valor quantitativo a ser pago em virtude da potência excedente injetada

$$\text{Valor a pagar} = (\text{Consumo} - \text{Injeção}) + \text{TUSD Fio B} + \text{Demanda} \quad [\text{Eq. 1}]$$

$$\text{Valor a pagar} = (1650 - 1.336,50) + 495 + 3.072,60 \quad [\text{Eq. 2}]$$

$$\text{Valor a pagar} = \text{R\$ } 3.881,10 \quad [\text{Eq. 3}]$$

Na tabela 5 foi feito o cálculo utilizando como base os valores conforme disponibilizado pela ANEEL das tarifas aplicadas a TUSD Fio B e TE sobre a potência excedente injetada.

Com base nos indicadores de Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR) e Payback do investimento, chegou-se à conclusão de que o cliente recuperará o montante investido no sistema em um período de 5 anos.

INFLAÇÃO	5%
VPL	1.148.187,96
TIR	22%
PAYBACK SIMPLES	4,9
PAYBACK DESCONTADO	5

Tabela 6 - Indicadore de VPL, TIR e Payback do sistema fotovoltaico

Deste modo, podemos estimar a partir do valor de Payback descontado o gráfico de retorno de investimento abaixo.



Gráfico 2 – Curva de retorno do capital investido ao longo dos anos

De modo que, de uma forma geral chegamos ao seguinte comparativo de custo aplicado a cada modelo e o retorno ao longo dos anos, como mostra na Tabela 7. É importante reforçar que o consumo estipulado para o modelo de energia distribuída – solar de 5500 kWh é advinda do cálculo da energia injetada na rede de distribuição, na qual representa 25% da energia gerada pelo o sistema fotovoltaico, que é de aproximadamente 22 kWh.

Tabela 7- Quadro comparativo final

Quadro comparativo					
Modelo de mercado	TUSD	TUSD FIO B	Tarifa Fora Ponta (TE - ML)	Consumo	Conta mensal
Mercado cativo	R\$ 0,06902	-	R\$ 0,2175	20110 kWh	R\$ 9.099,72
Mercado livre	R\$ 0,06948	-	R\$ 0,1570	20110 kWh	R\$ 7.680,14
Energia distribuída - solar	R\$ 0,06902	R\$ 0,0900	R\$ 0,2175	5500 kWh	R\$ 3.881,10

5 DISCUSSÕES FINAIS

Com base nos resultados, é possível constatar que a demanda contratada no Ambiente de Contratação Livre (ACL) é significativamente mais econômica em comparação ao mercado cativo. Isso se deve ao fato de as tarifas de Energia (TE) no mercado cativo serem consideravelmente mais altas do que as tarifas de Mercado Livre (ML), o que resultou em uma economia de R\$ 51.104,81 ao longo dos três anos de contratação no ACL. Outro aspecto relevante é a diferença percentual entre as variações das tarifas de Uso do Sistema de Distribuição (TUSD) nos horários de ponta e fora de ponta. No mercado cativo, essa diferença se mostra muito mais expressiva do que no mercado livre.

Outro fator relevante para o estudo se dar ao fato que ao aderir no mercado de geração distribuída, o cliente se qualifica diretamente na categoria GDII em virtude de sua potência ser de 168 kWp, de modo que ele pagará 30% do valor da tarifa do TUSD Fio B no ano de 2024, lembrando que esse percentual sofre um aumento gradativo ao longo dos anos.

Em virtude do perfil do cliente e da presença de capital para investimento, a medida mais viável para este estudo é optar pelo sistema de geração solar, visto que a taxa e prazo de retorno de 5 anos do capital investido é satisfatório, e após esse período, ele usufruirá do bem por mais 20 anos da vida útil do sistema, conforme a garantia estipulada pelo os fabricantes.

Para outros casos, vale levar em consideração outros fatores complementares para a tomada de decisão, como a presença de capital para investir, disponibilidade de área para instalação do sistema e perfil de consumo da unidade.

CONCLUSÃO

Diante do estudo realizado, é possível concluir que a migração do mercado cativo para o mercado livre de energia oferece vantagens econômicas significativas, especialmente para empresas que não possuem o capital necessário para investir em sistemas de geração fotovoltaica próprios. A redução de custos na conta de energia surge como um diferencial estratégico para essas empresas.

Além disso, o mercado livre apresenta uma vantagem importante: a ausência da necessidade de desligamento dos sistemas nos horários de ponta, garantindo maior eficiência operacional e continuidade no funcionamento das máquinas. Essa característica se torna ainda mais relevante para empresas com altos índices de consumo nesses períodos.

Outro benefício a ser destacado é a previsibilidade dos custos energéticos no mercado livre, pois os consumidores estão isentos das oscilações tarifárias decorrentes das bandeiras tarifárias do mercado cativo. Essa estabilidade facilita o planejamento financeiro e reduz os riscos para os consumidores.

Ademais, o perfil de clientes que consomem mais energia durante o dia é particularmente favorável à adoção de sistemas fotovoltaicos, potencializando ainda mais os benefícios econômicos e ambientais. Para esses clientes, o investimento em sistemas fotovoltaicos, aliado à migração para o mercado livre, resulta em um prazo de retorno (payback) atrativo, consolidando-se como uma solução eficiente para a gestão energética.

Por fim, empresas com capital disponível para investir em geração própria têm a oportunidade de alcançar não só economias ainda maiores, mas também independência energética a longo prazo. O retorno sobre o investimento justifica, portanto, a adesão a essa estratégia, que se alinha a tendências de sustentabilidade e economia.

REFERÊNCIAS

BRASIL. Lei nº 9.427, de 26 de dezembro de 1996. Institui a Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL e disciplina o regime das concessões de serviços públicos de energia elétrica e dá outras providências. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, p. 31002, 27 dez. 1996. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L9427cons.htm. Acesso em: 20 mar. 2025.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. Consultoria Jurídica. Portaria Normativa nº 50/GM/MME, de 27 de setembro de 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/aceso-a-informacao/legislacao/portarias/2022/portaria-normativa-n-50-gm-mme-2022.pdf>. Acesso em: 25 mar. 2025.

ONS – Operador Nacional do Sistema Elétrico. Acesso de Micro e Minigeração no Sistema de Distribuição: esclarecimentos sobre a não aplicabilidade do Parecer Técnico do ONS para acesso de Micro e Minigeração do Sistema de Distribuição. Disponível em: <https://www.ons.org.br/Paginas/Noticias/20230329-Acesso-de-Micro-e-Minigeracao-no-Sistema-de-Distribuicao.aspx>. Acesso em: 25 mar. 2025.

JUNIOR, Roberto Donisete Mauricio et al. O mercado de energia solar no Brasil: uma análise dos desafios e oportunidades do setor. Revista de Gestão e Secretariado, v. 16, n. 3, p. e4768-e4768, 2025.

CARDOSO, Flávio Gomes et al. Impactos do mercado livre de energia elétrica no Brasil nas tarifas regionais do mercado cativo: uma análise de relações entre variáveis. 2024.

KRENN, Cassiano Souza. Modelo de painel de dados para o ambiente de contratação livre de energia: uma proposta para a tomada de decisão. 2024.

REGERT, Rogerio; EWERLING, Marcos Vinícius Mosconi. Estudo de viabilidade na migração para mercado livre de energia. Disponível em: https://portal.ugv.edu.br/db_uva/trabalho/13455/ARTIGO%20%28TCC%29%20ROGERIO%20REGERT%20-%20Versao%20Final%20CORRIGIDO%20ultimo.pdf. Acesso em: 23 mar. 2025.

OPERAÇÃO NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO (ONS). Resultados da geração eólica/fotovoltaica no SIN, Junho 2022. Disponível em: https://www.ons.org.br/AcervoDigitalDocumentosEPublicacoes/Resultados%20da%20Gera%20e%20c3%a7%20c3%a3o%20E%20c3%b3lica%20e%20Fotovoltaica%20no%20SIN_jun_22.pdf. Acesso em: 20 mar. 2025.

	INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA PARAÍBA
	Campus João Pessoa - Código INEP: 25096850
	Av. Primeiro de Maio, 720, Jaguaribe, CEP 58015-435, João Pessoa (PB)
	CNPJ: 10.783.898/0002-56 - Telefone: (83) 3612.1200

Documento Digitalizado Ostensivo (Público)

Trabalho de Conclusão de Curso

Assunto:	Trabalho de Conclusão de Curso
Assinado por:	Taynara Lopes
Tipo do Documento:	Dissertação
Situação:	Finalizado
Nível de Acesso:	Ostensivo (Público)
Tipo do Conferência:	Cópia Simples

Documento assinado eletronicamente por:

- **Taynara Lopes Santos Cavalcanti, ALUNO (20191610025) DE BACHARELADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA - JOÃO PESSOA**, em 29/05/2025 18:19:03.

Este documento foi armazenado no SUAP em 29/05/2025. Para comprovar sua integridade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifpb.edu.br/verificar-documento-externo/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 1506930

Código de Autenticação: 5649eb3ab5

