

**Universidade Federal da Paraíba**  
**Centro de Energias Alternativas e Renováveis**  
**Departamento de Engenharia Elétrica**

**Rodolfo Patricio Alves Vieira**

**Análise da Estrutura Tarifária de Energia Elétrica na UFPB Considerando a  
Inserção de Painéis Fotovoltaicos**

**Paraíba – PB**

**Jun – 2017**

**RODOLFO PATRICIO ALVES VIEIRA**

**ANÁLISE DA ESTRUTURA TARIFÁRIA NA UFPB CONSIDERANDO A  
INSERÇÃO DE PAINÉIS FOTOVOLTAICOS**

**Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao Departamento de  
Engenharia Elétrica como um dos pré-  
requisitos para a obtenção do título  
em Bacharel em Engenharia Elétrica  
sob orientação do Prof. Yuri Percy  
Molina Rodriguez**

**Paraíba – PB**

**2017**

**V658a Vieira, Rodolfo Patricio Alves**

**Análise da Estrutura Tarifária na UFPB Considerando a Inserção de Painéis Fotovoltaicos. /Rodolfo Patricio Alves Vieira - João Pessoa: UFPB, 2017.**

**78fl. il.:**

**Orientador: Prof. Dr. Prof. Dr. Yuri Percy Molina Rodriguez**

**Monografia (Curso de Graduação em Engenharia Elétrica) Centro de Tecnologia / Campos I / Universidade Federal da Paraíba.**

**1. Painéis Fotovoltaicos 2. PowerFactory 3. Estrutura Tarifária I. Título.**

**BS/CT/UFPB**

**CDU: 2.d. 621.3(043)**

**RODOLFO PATRICIO ALVES VIEIRA**

**ANÁLISE DA ESTRUTURA TARIFÁRIA NA UFPB CONSIDERANDO A  
INSERÇÃO DE PAINÉIS FOTOVOLTAICOS**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA COMO PARTE DOS  
REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU EM  
BACHAREL EM ENGENHARIA ELÉTRICA.**

**DATA DE APROVAÇÃO: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_**

**NOTA: \_\_\_\_\_**

**APROVADOR POR:**

---

**Prof. Dr. Yuri Percy Molina Rodriguez (Orientador)**

**Universidade Federal da Paraíba**

---

**Prof. Dr. Juan Moises Mauricio Villanueva (Avaliador)**

**Universidade Federal da Paraíba**

---

**Prof. Dr. Rogério Gaspar de Almeida (Avaliador)**

**Universidade Federal da Paraíba**

**Paraíba – PB**

**2017**

Dedico este trabalho aos meus familiares por todo apoio e suporte durante toda a minha jornada, em especial aos meus pais por terem sido peça fundamental na formação do meu caráter.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço ao meu pai José Ubirajara e a minha mãe Cledna Patricio por todo o apoio dado durante a graduação. Tenho certeza de que sem eles eu não chegaria até aqui, pois sempre foram muito corretos nos seus conselhos durante toda a minha vida.

Ao meu irmão Rodrigo e a minha namorada Ana Claudia por sempre estarem ao meu lado me incentivando e me dando força para seguir em frente.

Agradeço ao meu orientador Yuri Percy Molina Rodriguez por toda a ajuda durante este trabalho, assim como pela sua paciência em todas as explicações que foram necessárias à realização deste trabalho.

Aos amigos José Henrique, Marcos, Luan, Victor, Wislley, Maxsuel e tantos outros que me ajudaram durante essa caminhada.

Aos amigos Lourival e Gabriel por todo o apoio, os quais eu tive o prazer de conhecer durante minha experiência de intercâmbio no Canadá

Ao meu amigo Iuri por toda sua paciência e por ter sido de fundamental importância em algumas tarefas que foram necessárias para o prosseguimento do trabalho.

Por fim, agradeço a Deus por toda a saúde e paz que tive durante todos esses anos que foram de extrema importância para sempre me manter firme mesmo diante das dificuldades da vida.

## RESUMO

Este trabalho apresenta um estudo da estrutura tarifária na Universidade Federal da Paraíba (UFPB) considerando a inserção de painéis fotovoltaicos em diferentes pontos da universidade. Por meio da alocação desse tipo de tecnologia, espera-se que a potência contratada pela universidade diminua de forma que, conseqüentemente, seu consumo também sofra uma redução. Por meio do sistema elétrico georreferenciado da UFPB e com o auxílio do software *PowerFactory*<sup>®</sup> foi possível realizar várias simulações considerando o período de 24 horas.

Após a simulação e o armazenamento de todos os resultados obtidos, realizou-se a análise do impacto econômico na estrutura tarifária da UFPB com o intuito de definir se, de fato, a inserção de painéis fotovoltaicos é viável para a universidade considerando o custo de instalação desses equipamentos.

**Palavras-Chaves:** Painéis Fotovoltaicos, *PowerFactory*<sup>®</sup>, Estrutura Tarifária.

## ABSTRACT

This work presents a study of the Federal University of Paraiba' energy bills inserting photovoltaic panels in different points at the university. By using this type of technology we hope that the consumption of power decreases in order to the energy bills gets cheaper. By using the georeferenced electrical system of UFPB and the software *PowerFactory*<sup>®</sup> it was possible to do many simulations during 24 hours.

After simulations and gathering all the results it was analyzed the impact of the technology on the energy bills of the university in order to show if the use of photovoltaic panels is good or not to UFPB taking into consideration the system' cost.

**Keywords:** Photovoltaic Panels, *PowerFactory*<sup>®</sup>, Energy Bills.

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: REPRESENTAÇÃO DE UMA USINA HIDRELÉTRICA .....	18
FIGURA 2: AEROGERADORES USADOS NA ENERGIA EÓLICA.....	19
FIGURA 3: GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA POR MEIO DA BIOMASSA.....	20
FIGURA 4: SISTEMA FOTOVOLTAICO - ESQUEMÁTICO.....	21
FIGURA 5: PAINÉIS FOTOVOLTAICOS INSTALADOS NO TELHADO .....	23
FIGURA 6: SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO À REDE .....	25
FIGURA 7: RELAÇÃO ENTRE OPERADORES E CONSUMIDORES .....	28
FIGURA 8: INTERFACE DO PROGRAMA: I – ÁREA PARA CONSTRUÇÃO DO DESENHO ESQUEMÁTICO: II – FERRAMENTAS GERAIS PARA CONSTRUÇÃO DO MODELO .....	35
FIGURA 9: GERENCIADOR DE DADOS .....	36
FIGURA 10: PLANTA DA UFPB.....	37
FIGURA 11: PLANTA DO SISTEMA COM OS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS .....	38
FIGURA 12: CONTA DE ENERGIA DA UFPB - FEVEREIRO DE 2016 .....	40
FIGURA 13: ESTRUTURA DO CONSUMO - FEVEREIRO DE 2016.....	41
FIGURA 14: COMPORTAMENTO DA DEMANDA NA PONTA DURANTE O ANO DE 2016 .....	42
FIGURA 15: COMPORTAMENTO DA DEMANDA FORA DE PONTA DURANTE O ANO DE 2016.....	42
FIGURA 16: REPRESENTAÇÃO DO CUSTO MENSAL COM ENERGIA ELÉTRICA NA UFPB EM 2016.....	45
FIGURA 17: VARIAÇÃO DE POTÊNCIA DOS PAINÉIS DURANTE UM DIA PARA O MÊS DE JANEIRO .....	46
FIGURA 18: VARIAÇÃO DE POTÊNCIA DO SISTEMA DURANTE UM DIA .....	47
FIGURA 19: COMPORTAMENTO DA DEMANDA FORA DE PONTA CONSIDERANDO A INSERÇÃO DOS PAINÉIS.....	48
FIGURA 20: ORÇAMENTO DA ENGSOL PARA UM PAINEL DE APROXIMADAMENTE 75 KW .....	54
FIGURA 21: INFORMAÇÕES GERAIS DA ENGSOL .....	78

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1: MODALIDADE HOROSSAZONAL PARA CONSUMIDORES DO GRUPO A .....	29
TABELA 2: EXEMPLO DE DEMONSTRATIVO DE CONSUMO.....	32
TABELA 3: VALORES DAS TARIFAS .....	32
TABELA 4: CÁLCULO DA DEMANDA DE ULTRAPASSAGEM ACIMA DE 5% .....	33
TABELA 5: DESCRIÇÃO DAS CONTAS DE ENERGIA DE 2016.....	43
TABELA 6: TARIFAS VIGENTES DE 2017 ATRAVÉS DA RESOLUÇÃO HOMOLOGATIVA DA ANEEL Nº 2126 .....	44
TABELA 7: VALORES DAS BANDEIRAS TARIFÁRIAS DE 2017.....	44
TABELA 8: CUSTOS MENSAIS COM ENERGIA ELÉTRICA NA UFPB .....	44
TABELA 9: REDUÇÃO MENSAL NO CONSUMO FORA DE PONTA .....	47
TABELA 10: REDUÇÃO MENSAL NO CONSUMO FORA DE PONTA EM REAIS PARA O SUBGRUPO A4-AZUL .....	48
TABELA 11: VALORES DAS CONTAS CONSIDERANDO A INSERÇÃO DOS PAINÉIS .....	49
TABELA 12: ECONOMIA ANUAL OBTIDA COM A UTILIZAÇÃO DOS PAINÉIS PARA O SUBGRUPO A4-AZUL .....	49
TABELA 13: VALORES DAS CONTAS DE ENERGIA PARA O SUBGRUPO A3-AZUL .....	50
TABELA 14: REDUÇÃO MENSAL NO CONSUMO FORA DE PONTA EM REAIS PARA O SUBGRUPO A3-AZUL .....	51
TABELA 15: VALORES DAS CONTAS DE ENERGIA PARA O SUBGRUPO A3-AZUL CONSIDERANDO A INSERÇÃO DOS PAINÉIS FOTOVOLTAICOS .....	51
TABELA 16: ECONOMIA ANUAL OBTIDA COM A UTILIZAÇÃO DOS PAINÉIS PARA O SUBGRUPO A3-AZUL .....	52
TABELA 17: ECONOMIA ANUAL OBTIDA CONSIDERANDO A MIGRAÇÃO PARA A3-AZUL .....	52
TABELA 18: TEMPO DE RETORNO DO INVESTIMENTO COM A CONSTRUÇÃO DE UMA SUBESTAÇÃO DE 69 KV/13.8 KV, 5/6,25 MVA .....	53
TABELA 19: ECONOMIAS OBTIDAS E TEMPO DE RETORNO ESTIMADO LEVANDO EM CONSIDERAÇÃO O CUSTO DOS PAINÉIS .....	55
TABELA 20: REDUÇÃO NAS PERDAS EM POTÊNCIA E EM REAIS .....	56
TABELA 21: PERDAS NAS LINHAS DO SISTEMA.....	62

# SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b>	<b>13</b>
1.1 Motivação	14
1.2 Objetivo Geral	15
1.2.1 Objetivos Específicos	15
1.3 Organização do Trabalho	15
<b>2. ENERGIAS RENOVÁVEIS</b>	<b>17</b>
2.1 Fontes Renováveis	17
2.2 Energia Hidráulica	17
2.3 Energia Eólica	18
2.4 Biomassa	19
2.5 Energia Solar	20
<b>3. ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA</b>	<b>22</b>
3.1 Células Fotovoltaicas	22
3.2 Mercado Fotovoltaico	24
3.3 Sistemas Conectados à Rede de Pequeno Porte	25
<b>4. ESTRUTURA TARIFÁRIA BRASILEIRA</b>	<b>27</b>
4.1 Características do Sistema Elétrico	27
4.2 Classes de Consumo	28
4.3 Conceitos e Definições	30
4.4 Cálculo da Fatura de Energia Elétrica – Classe de Consumo A4 Azul	31
<b>5. DIGSILENT POWERFACTORY®</b>	<b>34</b>
5.1 O Programa	34
5.2 Interface Gráfica	34
5.3 Gerenciador de Dados	35
5.4 Linguagem de Programação DPL	36
5.5 Planta Georreferenciada da UFPB no <i>PowerFactory</i> ®	37
5.6 Método de Newton-Raphson para o Cálculo do Fluxo de Carga	38
<b>6. RESULTADOS</b>	<b>40</b>
6.1 Análise das Contas de Energia da UFPB de 2016 no Subgrupo A4 - Azul	40

6.2	Análise das Contas de Energia Considerando a Inserção dos Painéis Fotovoltaicos no Subgrupo A4-Azul	45
6.3	Análise das Contas de Energia da UFPB Considerando a Estrutura Tarifária A3 – Azul	49
6.4	Análise das Contas de Energia da UFPB Considerando a Estrutura Tarifária A3 – Azul e a Inserção dos Painéis Fotovoltaicos	51
6.5	Migração do Subgrupo A4 – Azul para o Subgrupo A3 – Azul Considerando o Custo de uma Subestação de 69 kV/13.8 kV	52
6.6	Estudo de Viabilidade Técnica Considerando o Custo de Implementação dos Painéis Fotovoltaicos na UFPB	53
6.7	Análise das Perdas de Distribuição com a Inserção dos Painéis Fotovoltaicos	55
6.8	Conclusão dos Resultados	56
<b>7.</b>	<b><u>CONCLUSÃO</u></b>	<b>58</b>
7.1	Perspectivas para Trabalhos Futuros	58
<b>8.</b>	<b><u>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</u></b>	<b>59</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A busca por novas tendências faz parte da necessidade humana de estar sempre se renovando o que implica, conseqüentemente, em um processo contínuo de evolução. O mesmo acontece com o sistema elétrico. A identificação e a análise destas tendências contribuem para determinar a situação atual bem como com a criação de prováveis cenários para o futuro [1].

O cenário atual está cada vez mais desgastado devido as crises no setor energético. Dessa forma, a necessidade de mudança aumenta e está relacionada com os aspectos referentes à oferta e à demanda do setor elétrico. Pelo lado da oferta, a crise do petróleo e a incerteza da disponibilidade dessa fonte no futuro provocou uma elevação no preço dos combustíveis fósseis, aumentando assim, os custos operacionais das companhias elétricas que operam usinas geradoras alimentadas por esses combustíveis. Com relação a demanda, o crescente aumento contribuiu para uma acentuação da geração de eletricidade [2].

Não obstante, o cuidado com o meio ambiente ocasionou custos extras nas atividades das empresas do setor devido a alguns problemas como: oposição à instalação de linhas de transmissão e grandes plantas geradoras; desapropriação, impactos regionais (inundações de áreas para reservatórios de hidrelétricas, chuva ácida provocada pela emissão de dióxido de carbono de termelétricas e radiação por acidente em usinas nucleares); ou impactos globais [2].

Devido a fatores como preços da oferta, pressões ambientais e a elevação das taxas de juros do mercado internacional a redução dos investimentos em novas unidades geradoras de eletricidade aumentou e políticas de conservação de energia tornaram-se cada vez mais comuns. Como solução para a crise no setor elétrico mundial, passou-se a dedicar mais atenção para a geração distribuída em redes de distribuição, subtransmissão ou mesmo de transmissão [2].

A geração distribuída entrega a energia diretamente à rede de distribuição ou onde está localizado o consumidor final, não necessitando de linhas de transmissão. Esse tipo de geração é caracterizado por diferentes tecnologias, onde destacam-se as tecnologias mais modernas como micro-turbinas, células combustíveis, e tecnologias de fonte renovável, como painéis fotovoltaicos, pequenas centrais hidroelétricas, aerogeradores e geradores movidos a biomassa [2].

O uso da microgeração apresenta, ainda, grandes obstáculos. As primeiras barreiras encontradas foram as referentes à regulamentação, dificuldades técnicas de conexão das microunidades, questões de ordem econômicas em razão do alto custo de instalação e longo tempo de retorno do investimento, que ocasionam dúvidas sobre a real eficiência e confiabilidade por parte dos usuários [3].

Porém, nos últimos anos, nota-se no Brasil uma crescente disposição em incorporar fontes renováveis na matriz energética. O país tem uma matriz baseada na geração hidrelétrica, que é uma fonte renovável de energia, e está com grandes forças voltadas para a ampliação do parque eólico e da geração fotovoltaica [4].

A tecnologia fotovoltaica como geração distribuída, vem sendo aos poucos inserida nos sistemas de distribuição a nível mundial no âmbito de programas e regulamentos de incentivo, como a Resolução ANEEL 482/12 de 17 de abril de 2012, que define regras de incentivo a micro e minigeração no Brasil, contudo esse tipo de tecnologia ainda apresenta um baixo impacto de utilização quando comparada com outras fontes [2], [5].

A geração direta de eletricidade a partir da luz do sol, apresenta-se como uma das mais promissoras formas de geração de energia elétrica. A geração fotovoltaica além de estática e silenciosa, não agride ao meu ambiente e possui a possibilidade de instalação dos módulos fotovoltaicos próximos ao consumo. Assim, além de gerar energia junto ao ponto de consumo, estes geradores distribuídos podem contribuir para adiar investimentos na instalação de novas plantas de geração e suas respectivas linhas de transmissão [2].

A escolha do tema abordado neste trabalho visa a inserção de painéis fotovoltaicos no sistema elétrico da UFPB com o intuito de diminuir a energia consumida da universidade junto a companhia de distribuição de energia elétrica do estado, com o objetivo de diminuir a conta de energia elétrica paga pela instituição.

## **1.1 Motivação**

Em meio à crise econômica que o Brasil enfrenta atualmente, torna-se cada vez mais necessário a busca por soluções economicamente mais viáveis. Levando em consideração esse fato, surgiu-se a ideia de buscar soluções mais econômicas que impactassem diretamente na conta de energia elétrica da UFPB. Portanto, o uso de

painéis fotovoltaicos durante o dia pode ocasionar uma redução no consumo de energia elétrica da universidade proveniente da companhia distribuidora. Dessa forma, com o intuito de testar a eficácia desse tipo de fonte de energia no sistema elétrico bem como estimar sua economia na estrutura tarifária da UFPB, foi realizado um estudo para propor a inserção de dez sistemas fotovoltaicos na universidade com capacidade máxima para gerar 75 kW de potência cada um. Com isso, espera-se diminuir a potência contratada e o consumo de energia da universidade junto a companhia de distribuição de energia elétrica do estado da Paraíba, bem como realizar a análise do custo da implementação dos sistemas fotovoltaicos com a economia obtida com o objetivo de estimar em quanto tempo o investimento na implementação dos painéis será compensado.

## **1.2 Objetivo Geral**

O objetivo geral deste trabalho é inserir dez sistemas fotovoltaicos em diferentes locais da universidade com o intuito de observar o impacto econômico na estrutura tarifária da UFPB.

### **1.2.1 Objetivos Específicos**

Os objetivos específicos deste trabalho são:

- Determinar o impacto da inserção de painéis fotovoltaicos na energia consumida da concessionária na hora fora de ponta;
- Determinar o impacto da inserção de painéis fotovoltaicos na potência contratada à concessionária na hora fora de ponta e;
- Analisar o retorno sobre o investimento necessário à implantação dos painéis fotovoltaicos.

## **1.3 Organização do Trabalho**

Este trabalho será dividido da seguinte maneira:

No capítulo 1, comenta-se brevemente sobre o cenário energético mundial, bem como o conceito de geração distribuída e sua diferença quando comparada a geração centralizada, bem como o crescimento da energia fotovoltaica, motivação e objetivos do trabalho.

No capítulo 2, aborda-se as principais fontes de energias renováveis presentes atualmente bem como as principais características de cada uma delas.

No capítulo 3, dar-se ênfase as características da energia fotovoltaica assim como detalhes mais específicos sobre esse tipo de energia renovável. Em adição, detalha-se, também, como se encontra o mercado de energia solar no Brasil e a nível global.

No capítulo 4, realiza-se a análise das características do sistema elétrico brasileiro com suas diferentes classes de consumo, conceitos e definições importantes para o entendimento da fatura de energia elétrica e como é feito o cálculo da conta de energia para consumidores do grupo A4 Azul.

No capítulo 5, caracteriza-se o software, *PowerFactory*<sup>®</sup>, que foi utilizado para simulação do cálculo de potência consumida, bem como a linguagem de programação em *DIgSILENT* (DPL) e a planta georreferenciada da UFPB que foi utilizada como modelo.

No capítulo 6, são apresentados os resultados e as interpretações das simulações e a análise econômica dos resultados obtidos com o intuito de concluir se, de fato, a inserção de painéis fotovoltaicos é viável para a universidade considerando o custo de instalação dessa tecnologia.

Por fim, as conclusões e referências bibliográficas.

## **2. ENERGIAS RENOVÁVEIS**

Neste capítulo são abordadas as principais fontes de energias renováveis presentes atualmente junto com suas principais características.

### **2.1 Fontes Renováveis**

As fontes renováveis de energia são aquelas que derivam de recursos naturais e que, naturalmente, se renovam diariamente. São exemplos de fontes renováveis, a luz do sol, a energia cinética do vento e a força das águas, por exemplo. Outra característica das fontes renováveis é que, não causam danos ao meio ambiente quando comparadas com as fontes não renováveis. [6].

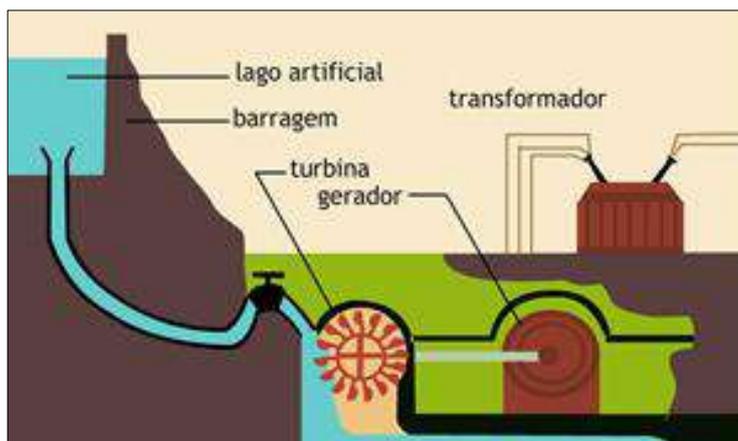
Com isso, nas subseções seguintes serão abordadas as principais fontes de energia renováveis como a hidráulica, a biomassa, a eólica e solar. Neste trabalho, o foco de estudo será a energia solar por meio da utilização de painéis fotovoltaicos para diminuição do consumo de energia elétrica.

### **2.2 Energia Hidráulica**

A energia hidráulica é uma forma de energia renovável, que aproveita as energias potencial e cinética acumuladas em rios e lagos e as transforma em energia mecânica para movimentar uma turbina hidráulica. A energia potencial aumenta de acordo com a altura barragem em relação a turbina hidráulica presente no final do desnível da usina. O que a geração hidrelétrica faz é interceptar esta água descendente e converter sua energia hidráulica em energia cinética, por meio de hidrogeradores [7].

A Figura 1 ilustra um desenho esquemático simples de uma usina hidrelétrica.

Figura 1: Representação de uma Usina Hidrelétrica



Fonte: [26]

### 2.3 Energia Eólica

A energia eólica é a energia obtida por meio do vento. Esta energia pode ser aproveitada de várias formas como bombeamento de água e geração de energia elétrica. Por meio da utilização de um aerogerador, é possível fazer o aproveitamento da energia eólica e transformar essa energia em energia elétrica [8].

O aerogerador é basicamente composto por uma torre de sustentação, um gerador elétrico e um conjunto de pás que são responsáveis pela captação do vento e acionamento do gerador elétrico [8]. A Figura 2 ilustra um conjunto de aerogeradores usados nessa fonte de energia renovável.

Figura 2: Aerogeradores usados na Energia Eólica



Fonte: [27]

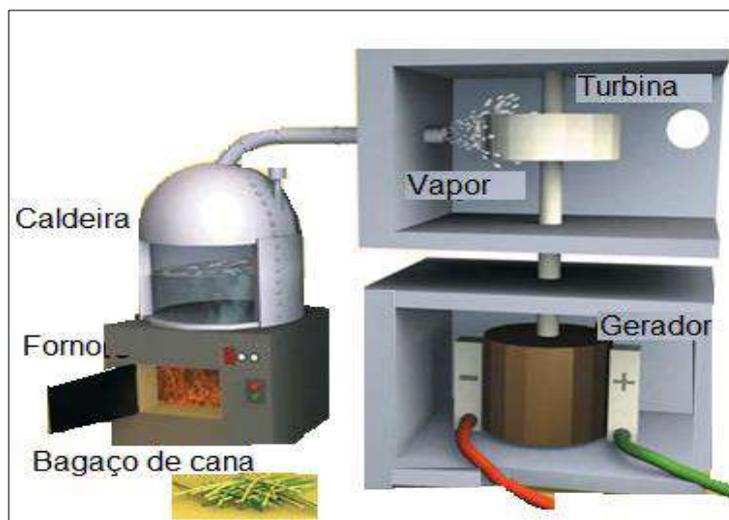
## 2.4 Biomassa

A biomassa utiliza resíduos sólidos urbanos, animais, vegetais, industriais e florestais para a geração de energia elétrica. Setores de cogeração de indústrias estão cada vez mais fazendo uso da biomassa com o objetivo de produzir energia elétrica[9].

A utilização da biomassa tem como grandes vantagens seu aproveitamento direto por meio da combustão em fornos e caldeiras e também a redução de impactos socioambientais. Como desvantagens, seu aproveitamento apresenta eficiência reduzida, porém estão sendo estudadas melhorias das tecnologias de conversão [10].

Atualmente a biomassa vem sendo bastante utilizada na geração de eletricidade, principalmente em sistemas de cogeração e fornecimento de energia elétrica [11]. A Figura 3 ilustra um sistema de geração de energia elétrica com biomassa.

Figura 3: Geração de Energia Elétrica por meio da Biomassa



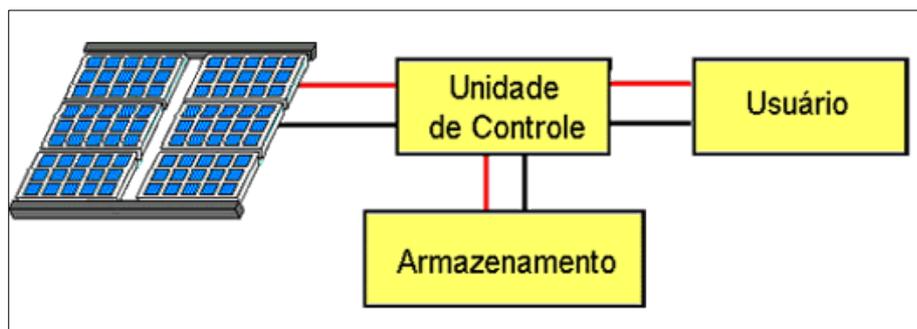
Fonte: [28]

## 2.5 Energia Solar

A energia solar fotovoltaica é uma alternativa viável para os mais diversos locais, uma vez que o sol atinge todo o território e é uma fonte inesgotável de energia [12].

O sistema fotovoltaico baseia-se na transformação direta da radiação solar em eletricidade. Um sistema fotovoltaico de energia funcionando isoladamente é composto por um conjunto de módulos fotovoltaicos e por um conjunto de equipamentos complementares, incluindo baterias, controladores de carga e inversores. Os módulos fotovoltaicos geram eletricidade em corrente contínua por meio da captação da radiação solar. As baterias armazenam a energia pelos painéis fotovoltaicos durante o dia, possibilitando o funcionamento dos aparelhos elétricos à noite ou em períodos nublados. O controlador de carga é instalado entre os módulos e as baterias, aumentando a vida útil da bateria por meio do controle de sobrecarga e não permitindo que a mesma descarregue totalmente. O inversor é responsável por converter a tensão contínua em tensão alternada necessária à alimentação dos equipamentos [12]. Esse tipo de fonte renovável será o foco deste trabalho. A Figura 4 ilustra um esquemático dos sistemas fotovoltaicos.

Figura 4: Sistema Fotovoltaico - Esquemático



Fonte: [29]

### 3. ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

Neste capítulo são abordados, de maneira introdutória, conceitos sobre energia solar fotovoltaica e os sistemas fotovoltaicos (categorias e aplicações). A situação do mercado fotovoltaico e o impacto que essa fonte de energia provoca na qualidade da potência da rede elétrica também são abordados.

#### 3.1 Células Fotovoltaicas

O efeito fotovoltaico é a conversão de radiação eletromagnética em energia elétrica, que ocorre por meio da geração e separação das cargas pela interação com o meio material, isto ocorre com a absorção de radiação pelo material. O efeito fotovoltaico está condicionado a existência de uma barreira de potencial em um semicondutor iluminado, ou seja, apenas na presença desse tipo de fenômeno é possível obter energia. Quando o material é iluminado as cargas elétricas criadas pela luz através do efeito de fotogeração são separadas pela barreira; tornando o efeito fotovoltaico um processo de geração de energia elétrica [13].

Em aplicações terrestres, a propagação da radiação solar na atmosfera, ocasiona o espalhamento e a absorção de parte dessa radiação, o que resulta em, aproximadamente,  $1.000 \text{ W/m}^2$  de irradiância em um dia sem nuvens, valor este usado no dimensionamento de sistemas solares para a geração de eletricidade. Os principais semicondutores utilizados no processo de fabricação de células fotovoltaicas são, por ordem decrescente de utilização, o silício cristalino (c-Si); o silício amorfo hidrogenado (a-Si:H); o telureto de cádmio (CdTe) e os compostos relacionados ao disseleneto de cobre (gálio) e índio (CuInSe<sub>2</sub>) [14].

Em termos de eficiência de conversão fotovoltaica, a tecnologia do silício cristalino é, entre as tecnologias utilizadas em aplicações terrestres, a que apresenta a maior eficiência, em torno de 15% para módulos disponíveis no mercado. As tecnologias de filmes finos, possuem 8% de eficiência para módulos comerciais, valor este devido ao fato dessa tecnologia ainda estar em processo de desenvolvimento e, dessa forma, é necessário o dobro da área em painéis solares de filmes finos para obter a mesma energia fornecida pelos módulos de silício cristalino[14].

A energia produzida nos módulos fotovoltaicos pode ser armazenada em baterias ou pode ser aplicada diretamente em sistemas de iluminação pública isolada e

sistemas de bombeamento, por exemplo. Instalações com ligação diretamente á rede são ótimas soluções quando se deseja economizar custos com o consumo de energia elétrica e melhorar a qualidade no serviço por meio da diminuição das perdas. A potência instalada nestes casos é reduzida, normalmente da ordem de dezenas de kW [15].

O uso de painéis fotovoltaicos apresenta várias vantagens como: fonte de energia gratuita, fácil instalação, resistência a variações climáticas, dentre outras. Apesar do custo elevado para a implantação desse sistema, o mesmo torna-se viável quando deseja-se atender determinada comunidade a qual está localizada em uma área muito isolada. Nesse caso o custo com a construção de uma linha de transmissão tornaria o investimento bem mais caro quando comparado com a geração fotovoltaica [15]. Na Figura 5 mostra-se um exemplo de painel fotovoltaico.

Figura 5: Painéis Fotovoltaicos Instalados no Telhado



Fonte: [30]

É importante notar que o sistema fotovoltaico pode ser dividido em três categorias, são elas: sistemas isolados, híbridos e conectados à rede. Sistemas isolados se caracterizam por fazerem uso de alguma forma de armazenamento de energia, geralmente utilizam baterias. Os sistemas híbridos são aqueles que, desconectados da rede convencional, apresenta várias fontes de geração de energia como por exemplo: turbinas eólicas e geração diesel. Por fim, os sistemas conectados à rede caracterizam-se por não utilizarem forma de armazenamento de energia, pois toda geração é entregue diretamente na rede. Neste trabalho, o foco de estudo será nos sistemas conectados à rede elétrica de pequeno porte relacionados a produção distribuída [15].

### 3.2 Mercado Fotovoltaico

O mercado fotovoltaico está em crescente evolução e apresenta boas expectativas para os anos seguintes. A quinta edição da *Intersolar South America*, principal conferência e série de exposições do mundo do setor de energia solar, foi realizada em agosto de 2016 na cidade de São Paulo e discutiu o cenário atual do mercado de energia solar fotovoltaica no Brasil e também forneceu perspectivas para o setor nos próximos anos.

De acordo com a ANEEL, até 2024 cerca de 1,2 milhões de empreendimentos fotovoltaicos deverão ser instalados no Brasil. A Resolução Normativa 687/2015, entrou em vigor em março e tem como objetivo principal a redução de custos do sistema e a inserção da geração compartilhada. Segundo o *chairman* da *Intersolar*, Ricardo Ruther, o edital do programa de Pesquisa & Desenvolvimento Estratégico da ANEEL (chamada 21/2016), que contempla “Arranjos técnicos e comerciais para a inserção de sistemas de armazenamento de energia no setor elétrico brasileiro”, também pode favorecer o segmento de geração fotovoltaica [16].

De acordo com o congresso, uma demanda extra de eletricidade será exigida por meio da inserção em massa dos carros elétricos no mercado mundial e, conseqüentemente, essa demanda extra será suprida pela energia solar impulsionando o mercado fotovoltaico. Segundo a estimativa do Plano Decenal de Energia (PDE) para 2025, a demanda de energia elétrica deverá aumentar, em média, cerca de 4,2% ao ano, chegando a 926 TWh em 2025, com aproximadamente 76% desse volume sendo suprido por fontes renováveis de energia. A fonte solar deverá responder por 3,9% da capacidade instalada brasileira, o que corresponde a 7675 MW [16].

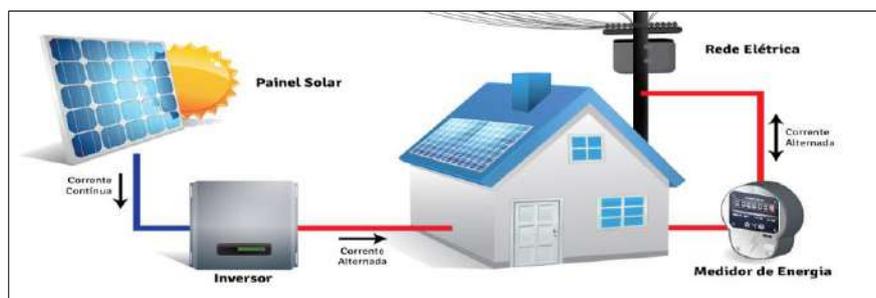
Em nível global, de acordo com Bruce Douglas, diretor de operações da *Solar Power Europe*, o custo da energia solar sofreu uma rápida queda e já se equipara a fonte eólica em termos de custo de instalação. Segundo ele, novas fábricas têm sido instaladas fora da China nos últimos 18 meses, em países como Tailândia, Malásia e outros, e as pesquisas realizadas têm aumentado a eficiência da geração solar fotovoltaica. Entre 2000 e 2015, o mercado global cresceu a uma taxa média anual de 25%, e atingiu, em 2015, 50 GW de capacidade instalada. A China lidera o mercado com a participação de 18,9% na capacidade instalada global, tendo ultrapassando a Alemanha, que agora detém uma fatia 17,3%, seguida por Japão, com 15%. A previsão é de que em 2020, a capacidade instalada mundial seja atinja, pelo menos, 97 GW. Para

o Brasil, a expectativa é de crescimento de 150% até 2020, somando mais de 6000 MW [16].

### 3.3 Sistemas Conectados à Rede de Pequeno Porte

Produção distribuída é composta por módulos fotovoltaicos montados diretamente nas edificações ou em outros locais no qual se deseja fazer uso da energia solar. Por meio de um inversor cc/ca é possível converter a tensão contínua gerada pelos módulos fotovoltaicos em tensão alternada e alimentar a edificação ou o local a qual se deseja [17]. Na Figura 6 pode-se ver todos os elementos que são utilizados em uma instalação solar fotovoltaica conectada à rede.

Figura 6: Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede



Fonte:[31]

Nesse tipo de conexão não é necessário utilizar uma bateria para armazenar a energia produzida pelos painéis, pois toda energia produzida será diretamente injetada na rede elétrica. Caso o consumo seja maior que a produção do painel, a rede elétrica se encarrega de suprir a diferença. Quando, por certa razão, a produção exceder o consumo, essa energia extra será injetada na rede elétrica de distribuição da concessionária, diminuindo assim, o consumo proveniente da mesma e provocando um decréscimo na conta de energia. Dessa forma, dependendo do consumo do cliente e do tamanho da instalação fotovoltaica ele pode diminuir consideravelmente sua conta de energia elétrica [17].

Com isso, o uso de sistemas fotovoltaicos conectados à rede é uma ótima alternativa quando o objetivo é diminuir o consumo de energia elétrica proveniente da concessionária. Porém, antes de instalar o sistema, faz-se necessário realizar os cálculos

de viabilidade técnica, afim de identificar se, de acordo com o consumo do cliente, a economia será viável ao ponto de retornar o valor que foi investido.

## **4. ESTRUTURA TARIFÁRIA BRASILEIRA**

Neste capítulo são abordadas de maneira geral as características do sistema elétrico brasileiro, as diferentes classes de consumo e como é calculada a conta de energia elétrica.

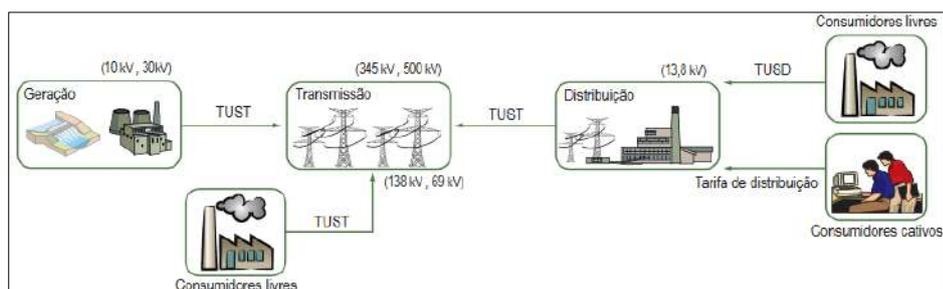
### **4.1 Características do Sistema Elétrico**

Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), o Brasil é a quinta nação mais populosa do mundo com quase 184 milhões de habitantes. De acordo com a ANEEL o país possui mais de 61,5 milhões de unidades consumidoras espalhadas em 99% dos municípios brasileiros, onde a grande maioria, cerca de 85%, é residencial. Com relação ao mercado de distribuição, existem 63 concessionárias responsáveis pelo atendimento das unidades consumidoras [18].

As distribuidoras são empresas de grande porte que interligam o setor de energia elétrica a sociedade e que recebem das companhias de transmissão toda a energia necessária ao atendimento da demanda do país. Nas redes de transmissão, após deixar a usina, a energia elétrica trafega em tensão que varia de 88 kV a 750 kV. Ao chegar às subestações das distribuidoras, a tensão é rebaixada e enviada ao consumidor final em 127 V ou 220 V, por meio de fios, postes e transformadores, exceto algumas unidades industriais que utilizam tensões mais elevadas (de 2,3 kV a 88 kV) em suas linhas de produção e recebem energia diretamente da subestação distribuidora [18].

Importante perceber que, de acordo com a Figura 7, os consumidores livres podem comprar energia da distribuição ou negociar diretamente com a transmissão. O que determina a melhor opção para a compra são os valores das Tarifas do Uso do Sistema de Distribuição (TUSD) e das Tarifas do Uso do Sistema de Transmissão (TUST). A Figura 7 mostra a relação entre os agentes operadores do sistema elétrico e os consumidores.

Figura 7: Relação entre Operadores e Consumidores



Fonte: [18]

A ANEEL tem como funções, assegurar ao consumidor, o pagamento de um valor justo e o acesso a um serviço contínuo e de qualidade, como também, garantir à distribuidora o equilíbrio econômico-financeiro necessário ao cumprimento do Contrato de Concessão. A ANEEL regula as tarifas e qualidade no serviço, tanto do ponto de vista técnico quanto de atendimento ao consumidor. Por meio de indicadores como o DEC (Duração Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora) e o FEC (Frequência Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora) que medem, respectivamente, a duração e a frequência das interrupções no fornecimento, é possível avaliar a qualidade do serviço [18].

## 4.2 Classes de Consumo

Na aplicação das tarifas de energia elétrica, os consumidores são identificados por classes e subclasses de consumo: residencial, industrial, comercial e serviços, rural, poder público, iluminação pública, serviço público e consumo próprio. Cada classe tem uma estrutura tarifária distinta, de acordo com as peculiaridades de consumo de energia e de demanda de potência [19].

Consumidores que pertencem ao grupo A, alta tensão, são supridos por fonte de tensão igual ou superior a 2,3 kV. Esse grupo se divide em:

- Subgrupo A1: tensão de fornecimento igual ou superior a 230 kV;
- Subgrupo A2: tensão de fornecimento de 88 kV a 138 kV;
- Subgrupo A3: tensão de fornecimento de 69 kV;
- Subgrupo A3a: tensão de fornecimento de 30 kV a 44 kV;
- Subgrupo A4: tensão de fornecimento de 2,3 kV a 25 kV e;

- Subgrupo AS: tensão de fornecimento inferior a 2,3 kV, a partir de sistema subterrâneo de distribuição.

Consumidores que se encaixam no grupo B, baixa tensão, são supridos por fonte de tensão inferior a 2,3 kV, se dividem em:

- Subgrupo B1: consumidores do tipo residencial;
- Subgrupo B2: consumidores rurais;
- Subgrupo B3: demais consumidores e;
- Subgrupo B4: iluminação pública.

A UFPB está alocada no subgrupo A4, ou seja, recebe energia de uma fonte de tensão entre 2,3 kV e 25 kV.

Associado a isso, para o caso de consumidores que estão no grupo A, as tarifas de energia elétrica são diferentes dependendo das horas de utilização do dia e dos períodos do ano. Esse tipo de consumo diferenciado é chamado de Modalidade Tarifaria Horossazonal. A Tabela 1 mostra com mais clareza o que foi dito.

Tabela 1: Modalidade Horossazonal para Consumidores do Grupo A

	Verde	Azul
Demanda	Única	Ponta
		Fora de Ponta
Energia	Ponta	Ponta
	Fora de Ponta	Fora de Ponta

Fonte: Autor

Percebe-se por meio da Tabela 1 que, por exemplo, um consumidor do tipo A4 verde terá uma tarifa de energia elétrica diferente de um consumidor do tipo A4 azul. O consumidor do tipo A4 verde terá uma tarifa única para contratação da potência necessária e duas tarifas diferentes para o consumo de energia elétrica, ou seja, um valor de tarifa para o horário de ponta (17h30m às 20h30m para a Energisa Paraíba) e outro valor de tarifa para o horário fora de ponta (resto do dia). Já o consumidor do tipo A4 azul, por exemplo, terá valores de tarifas diferentes tanto para contratação de potência como para consumo de energia elétrica.

### 4.3 Conceitos e Definições

Para melhor entendimento de como é feito o cálculo da conta de energia elétrica, faz-se necessário entender o significado de alguns termos que estão presentes na tarifa de energia elétrica. Nos parágrafos seguintes são abordados os principais termos.

A demanda é a média das potências elétricas ativas ou reativas, solicitadas ao sistema elétrico pela parcela de carga instalada em operação na unidade consumidora, expressa em quilowatts (kW) e quilovolt-ampère-reactivo (kvar).

A demanda contratada é a demanda de potência ativa a ser obrigatória e continuamente disponibilizada pela distribuidora, no ponto de entrega, conforme valor e período de vigência fixados em contrato, e que deve ser integralmente paga, seja ou não utilizada durante o período de faturamento, expressa em quilowatts (kW) [20]. Para definição do melhor valor de demanda contratada de forma a não pagar ultrapassagem, considera-se o maior valor de potência consumida durante o dia. Em outras palavras, suponha-se que de 00h às 12h a potência seja de 3400 kW, das 12h às 20h a potência seja de 4000 kW e, finalmente, das 20h às 24h a potência seja de 3600 kW, com isso, a demanda contratada deverá ser de 4000 kW para que atenda todos os intervalos sem a necessidade de pagar demanda de ultrapassagem.

A demanda faturável é o valor da demanda de potência ativa, que será efetivamente cobrada pela concessionária no final do mês, expressa em kW. O faturamento da demanda considerará, sempre, o maior valor dentre o contratado e o apurado por medição, observado o limite de tolerância estabelecido. No caso do Brasil esse limite é de 5% acima do valor contratado [20].

Para o caso em que a ultrapassagem esteja dentro desse limite, a demanda faturável será a própria demanda medida. No caso em que esse limite seja excedido, fatura-se a demanda contratada e paga-se uma taxa extra proporcional a demanda de ultrapassagem.

Um outro fator que aparece constantemente nas faturas de energia elétrica são as bandeiras tarifárias. As bandeiras verde, amarela e vermelha são as cores atualmente usadas. As bandeiras amarelas e vermelhas indicam um acréscimo na conta de energia elétrica para cada kWh usado. A bandeira verde não representa nenhum acréscimo na conta, apenas indica que os reservatórios estão com volume de água em condições ideais.

#### **4.4 Cálculo da Fatura de Energia Elétrica – Classe de Consumo A4 Azul**

O cálculo da conta de energia depende do consumo nas horas de ponta e fora de ponta, assim como da potência contratada para esses dois períodos. Deve-se ter o cuidado com o consumo e a potência contratada nas horas de ponta, pois a tarifa costuma ser mais cara nesse período.

Com isso, a concessionária faz a leitura do consumo e da potência que foi utilizada pelo cliente nesses horários, multiplica pelo valor da tarifa correspondente e aplica os impostos sobre esse valor para que, finalmente, o valor final seja repassado para o cliente. Na ocorrência de demanda de ultrapassagem e aplicação de bandeiras tarifárias, taxas extras serão aplicadas.

Os impostos que são aplicados na fatura de energia elétrica são: Imposto sobre a Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS), previsto no artigo 155 da Constituição Federal de 1988, a distribuidora tem a obrigação de realizar a cobrança do ICMS direto na fatura e repassá-lo integralmente ao Governo Estadual; Programa de Integração Social (PIS) e Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social (COFINS), cobrados pela União para manter programas voltados ao trabalhador e para atender programas sociais do Governo Federal [19].

Suponhamos, por exemplo, que no mês de janeiro a UFPB apresentou um consumo como mostrado na Tabela 2. Nesse mês não houve demanda de ultrapassagem e a bandeira tarifária era vermelha e seu valor por cada kWh foi de R\$ 0,045. É importante notar que houve bastante demanda de potência não consumida, porém o consumidor pagará pela potência contratada, ou seja, a demanda faturável, nesse caso, será a própria demanda contratada.

Tabela 2: Exemplo de Demonstrativo de Consumo

MÊS	Consumo em kWh	
	Ponta	Fora de Ponta
Janeiro	86.800,00	1.008.000,00
	Demanda medida em kW	
	Ponta	Fora de Ponta
	1.988,00	3.584,00
	Demanda não consumida em kW	
	Ponta	Fora de Ponta
	1.592,00	2.016,00
	Demanda Contatada em kW	
	Ponta	Fora de Ponta
	3.580,00	5.600,00
	Demanda de Ultrapassagem em kW	
	Ponta	Fora de Ponta
	0,00	0,00
	Demanda Faturada em kW	
	Ponta	Fora de Ponta
3.580,00	5.600,00	
Bandeira		
Vermelha		

Fonte: Autor

Vamos supor também que os valores das tarifas de energia são iguais aos valores mostrados na Tabela 3.

Tabela 3: Valores das Tarifas

MÊS	Tarifas - Valores em Reais			
	Consumo em kWh		Demanda Faturada em kW	
	Ponta	Fora de Ponta	Ponta	Fora de Ponta
Janeiro	0,33228	0,22078	38,05	12,94

Fonte: Autor

Dessa forma, para o cálculo da fatura de energia elétrica do mês de janeiro, deve-se seguir os seguintes passos:

- 1) Multiplicar o consumo na hora de ponta pelo valor da tarifa do consumo na hora de ponta;
- 2) Multiplicar o consumo na hora fora de ponta pelo valor da tarifa do consumo na hora fora de ponta;
- 3) Multiplicar a demanda faturada na hora de ponta pelo valor da tarifa da demanda na hora de ponta;

- 4) Multiplicar a demanda faturada na hora fora de ponta pelo valor da tarifa da demanda na hora fora de ponta;
- 5) Somar o consumo na hora de ponta com o consumo na hora fora de ponta e multiplicar esse valor pelo valor da bandeira tarifária correspondente;
- 6) Somar os passos de 1 a 5 para obter o valor da conta de energia elétrica sem a aplicação de impostos.

Com isso, o valor da conta de energia nesse mês foi de R\$ 503.337,14. Caso não houvesse o acréscimo na conta de energia devido a aplicação da bandeira tarifária, deve-se interromper o procedimento no passo 4 e fazer a soma total.

Uma outra situação possível seria o caso de haver demanda de ultrapassagem. Caso essa ultrapassagem fosse menor que 5% da demanda contratada, a demanda faturada seria a própria demanda medida, ou seja, considerando os dados da Tabela 2, supondo-se que a demanda de ultrapassagem fosse de 100 kW na ponta. Dessa forma, a demanda faturada na ponta seria igual a 3680 kW, pois o valor de ultrapassagem foi menor que 5% e não há alteração de tarifação. Caso o valor da ultrapassagem fosse de 180 kW, então a demanda faturada seria 3580 kW (demanda contratada), mas o consumidor iria pagar uma taxa extra referente a demanda de ultrapassagem, pois seu valor foi maior que 5%. A taxa correspondente seria igual ao dobro do valor da tarifa da demanda na ponta multiplicada pelo valor ultrapassado, ou seja, 180 kW. A Tabela 4 exemplifica melhor o que foi comentado.

Tabela 4: Cálculo da Demanda de Ultrapassagem acima de 5%

Demanda medida em kW	Tarifa - Valor em Real
Ponta	Ponta
3.760,00	38,05
Demanda de Ultrapassagem em kW	Tarifa Demanda de Ultrapassagem - Valor em Real
Ponta	Ponta
180,00	76,1
Demanda Faturada em kW	Valor Pago Referente a Ultrapassagem acima de 5%
Ponta	
3.580,00	$180,00 \times 76,1 = 13.698,00$

Fonte: Autor

Portanto, caso houvesse uma ultrapassagem de 180 kW no exemplo anterior, o valor total da conta de energia elétrica sem impostos seria de R\$ 517.035,14.

## 5. DIGSILENT POWERFACTORY®

Neste capítulo são abordadas as principais características e funções do software que foi utilizado nas simulações para cálculo de potência consumida pela rede, a linguagem de programação utilizada bem como a planta da UFPB usada no programa.

### 5.1 O Programa

O *PowerFactory*® é um software especializado em simulações no campo dos sistemas elétricos de transmissão, distribuição, geração, plantas industriais e energias renováveis. Esse software abrange as principais e mais sofisticadas aplicações. Criado na Alemanha por Martin Schmiege em 1985, o *PowerFactory*® está presente em mais de 140 países [21].

O *DIgSILENT PowerFactory*® é um software avançado, integrado e interativo, dedicado ao sistema de energia elétrica e análise de controle, com o objetivo de otimização de operações. Foi o primeiro software de análise de sistema de potência com uma interface gráfica unifilar integrada que inclui funções de desenhos, recursos de edição e relevantes características do cálculo estático e dinâmico dos sistemas de energia [22].

As principais ferramentas do programa são; análise de fluxos de potência; análise de curto-circuito; análise de harmônicos; fluxo de potência ótimo. O *DIgSILENT PowerFactory*® pode ser usado para o estudo de redes de alta potência por meio de simulação e construção de diagramas unifilares. A interface gráfica do programa permite acesso direto ao diagrama unifilar, parâmetros dos elementos relacionados à rede (cargas e linhas de transmissão) e controladores (máquinas) [21].

Importante ressaltar que a utilização desse programa só foi possível devido a obtenção da licença do programa por parte da Universidade Federal da Paraíba, permitindo assim, acesso á todos os benefícios do programa.

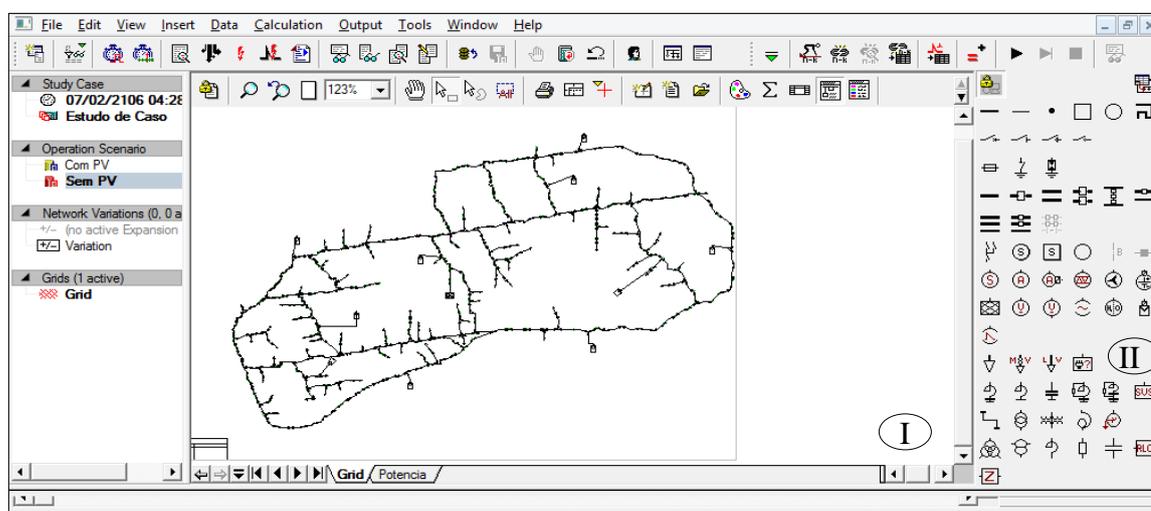
### 5.2 Interface Gráfica

A interface gráfica do *DIgSILENT PowerFactory*® permite acesso direto, no diagrama unifilar, aos parâmetros dos elementos relacionados a rede. No programa é possível ter acesso a três tipos de telas de construção para diferentes aplicações [23]:

- Rede - Interface com ferramentas que permite a construção de redes de sistema de potência;
- Diagrama de Blocos - Tela usada para implementação dos modelos dos controladores;
- Painel-Construção de Gráficos - Tela usada para construção de gráficos.

A Figura 8 mostra um exemplo da interface do programa.

Figura 8: Interface do Programa: I – Área para construção do desenho esquemático; II – Ferramentas gerais para construção do modelo

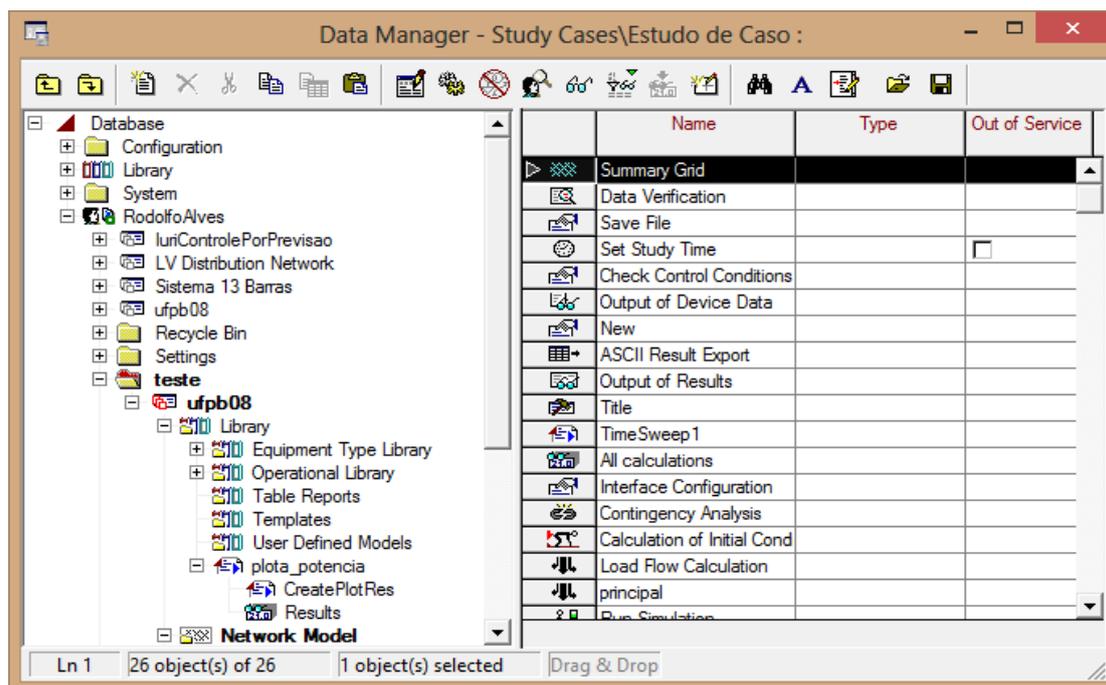


Fonte: Autor

### 5.3 Gerenciador de Dados

Todas as construções feitas na interface gráfica são automaticamente identificadas, relacionadas e armazenadas em um banco de dados. Na tela do gerenciador é possível identificar duas colunas, a coluna da esquerda mostra os projetos, e diferentes caminhos para armazenagem de resultados, gráficos e códigos. A coluna da direita mostra variáveis e elementos que são importantes para o controle do sistema [24]. A Figura 9 mostra um exemplo da tela do gerenciador de dados.

Figura 9: Gerenciador de Dados



Fonte: Autor

## 5.4 Linguagem de Programação DPL

*DIgSILENT Programming Language* (DPL) é a linguagem de programação usada pelo *PowerFactory*<sup>®</sup> com o objetivo de poder automatizar os cálculos do projeto.

Dentre as características dessa linguagem de programação destacam-se: acesso a todos os valores de entrada e saída, uso de todos os comandos de cálculo, acesso aos resultados, gráficos, base de dados, dentre outros [24].

A linguagem *script* DPL possui uma sintaxe semelhante à linguagem de programação C++. A sintaxe pode ser dividida nas seguintes partes [21]:

- Definições das variáveis;
- Atribuições e expressões;
- Instruções de fluxo de potência;
- Chamadas de métodos.

No código se define as entradas e todas as variáveis de interesse durante o processo de cálculo. A informação de entrada pode ser avaliada com a utilização de função e variáveis internas armazenadas no código-fonte [21].

Com isso, utilizou-se o programa para realizar o fluxo de carga com a inserção dos painéis fotovoltaicos e sem a inserção dos mesmos. É importante ressaltar

que, dentre os vários métodos de cálculo de fluxo de carga, o programa utiliza o método de Newton-Raphson por ser mais intuitivo que os demais. Esse método será melhor discutido na seção 5.6 deste trabalho.

### 5.5 Planta Georreferenciada da UFPB no *PowerFactory*<sup>®</sup>

A Figura 10 mostra a planta da UFPB que foi utilizada para a inserção dos painéis fotovoltaicos.

Figura 10: Planta da UFPB



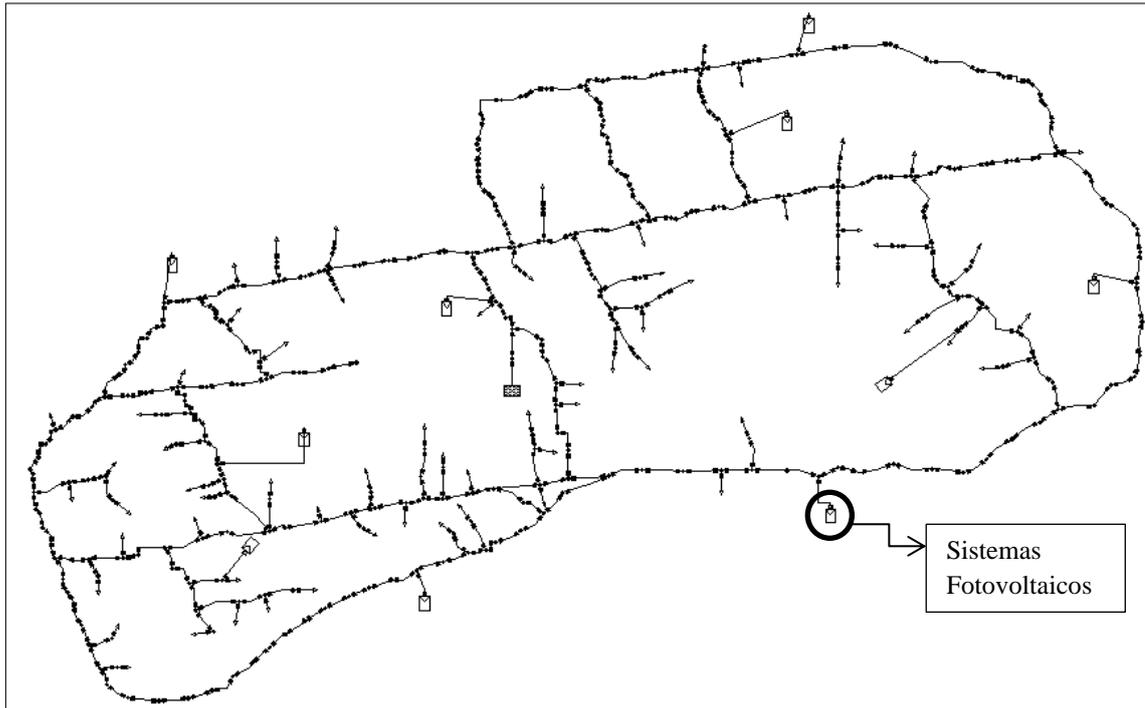
Fonte: Autor

Com isso, foi possível inserir os dez painéis fotovoltaicos na planta e simular o fluxo de carga considerando as variações nas potências dos painéis fotovoltaicos.

Com os valores obtidos por meio da simulação, foi possível determinar qual seria o melhor valor de potência contratada nas horas de ponta e fora de ponta do sistema com o objetivo de diminuir os custos com contratação e consumo.

A Figura 11 ilustra a planta do sistema considerando a inserção dos dez módulos fotovoltaicos em diferentes pontos da universidade.

Figura 11: Planta do Sistema com os Módulos Fotovoltaicos



Fonte: Autor

### 5.6 Método de Newton-Raphson para o Cálculo do Fluxo de Carga

O método de Newton-Raphson é um método para a determinação de raízes reais de equações não lineares. Basicamente, o método utiliza a série de Taylor, por meio de uma aproximação inicial, um processo iterativo robusto e de fortes características de convergência. O problema considera quatro variáveis,  $V$ ,  $\theta$ ,  $P$  e  $Q$ , tensão, ângulo, potência ativa e potência reativa, respectivamente. O objetivo do método é calcular o fluxo de potência ativa e reativa em cada barra, por meio de iterações, em que a diferença entre a referência e o valor calculado é obtida em cada iteração dada pelas equações de potência representadas por (1) e (2) [24]

$$\Delta P_k = P_k^{esp} - P_k = P_k^{esp} - V_k \sum_{j=1}^{n+m+1} V_m (G_{km} \cos \theta_{km} + B_{km} \sen \theta_{km}) \quad (1)$$

$$\Delta Q_k = Q_k^{esp} - Q_k = Q_k^{esp} - V_k \sum_{j=1}^{n+m+1} V_m (G_{km} \sen \theta_{km} - B_{km} \cos \theta_{km}) \quad (2)$$

O índice “*esp*” indica valores especificados de potência ativa e reativa, enquanto  $G$  e  $B$  são a condutância e susceptância entre as barras  $k$  e  $m$ , respectivamente.

Por definição, as barras de carga têm definidos os valores de  $P$  e  $Q$ , dessa forma os valores de  $\Delta P$  e  $\Delta Q$  tendem a zero na solução. O mesmo acontece para  $\Delta P$  das barras de geração. É possível substituir o termo  $\Delta Q$  por  $\Delta Q/V$  para melhorar a convergência do cálculo iterativo. As equações (1) e (2) podem ser representadas na forma matricial como mostrado em (3) [24].

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} H & N \\ M & L \end{bmatrix} x \begin{bmatrix} \Delta \theta \\ \Delta V \end{bmatrix} \quad (3)$$

Onde os elementos  $H$ ,  $N$ ,  $M$  e  $L$  representam a matriz Jacobiana  $J$ :

$$J = \begin{bmatrix} \frac{\partial P}{\partial \theta} & \frac{\partial P}{\partial V} \\ \frac{\partial Q}{\partial \theta} & \frac{\partial Q}{\partial V} \end{bmatrix} \quad (4)$$

Com isso, as tensões nas barras e as potências injetadas são atualizadas e uma vez que o critério de convergência dado por (5) for satisfeito, o processo é interrompido e o resultado é dado, em que  $\varepsilon$  (tolerância) é um número arbitrariamente pequeno [24]

$$\max(\Delta P, \Delta Q) < \varepsilon \quad (5)$$

O resultado obtido após a convergência são as tensões que permitem calcular, por exemplo, as perdas de potência ativa e reativa do sistema, dadas por [24]:

$$P_{perdas} = P_{km} + P_{mk} = G_{km}(V_k^2 + V_m^2 - 2V_kV_m \cos \theta_{km}) \quad (6)$$

$$Q_{perdas} = Q_{km} + Q_{mk} = -B_{km}(V_k^2 + V_m^2 - 2V_kV_m \sin \theta_{km}) \quad (7)$$

Onde  $Q_{km}$  e  $P_{km}$  são respectivamente os fluxos ativo e reativo no ramo de  $k$  para  $m$ .

## 6. RESULTADOS

Neste capítulo serão apresentados os resultados obtidos por meio da análise do consumo de potência do sistema considerando a inserção dos painéis fotovoltaicos. Como forma de comparação, utilizou-se as contas de energia da UFPB durante o ano de 2016.

### 6.1 Análise das Contas de Energia da UFPB de 2016 no Subgrupo A4 - Azul

A Figura 12 mostra uma das contas de energia que foram consideradas na análise da estrutura tarifária da UFPB.

Figura 12: Conta de Energia da UFPB - Fevereiro de 2016

**Classe de Consumo**

**Descrição do Consumo**

Descrição	Consumo	Tarifa	Valor
Consumo em kWh - Ponta	137.200,00	0,33228	45.588,81
Adic. B. Vermelha			41.914,62
Consumo em kWh - Fora Ponta	1.260.000,00	0,22078	278.182,80
Demanda de Potência Medida - Ponta	3.248,00	38,05000	123.586,40
Demanda de Potência Não Consumida - Ponta	332,00	38,05000	12.632,60
Demanda de Potência Medida - Fora Ponta	5.292,00	12,94000	68.478,48
Demanda de Potência Não Consumida - F Ponta	308,00	12,94000	3.985,52
PIS			10.943,18
COPINS			50.507,01
ICMS			205.964,22
<b>LANÇAMENTOS E SERVIÇOS</b>			
CONTRIB SERV. ILLUM. PÚBLICA			11.853,44
IMPOSTO RENDA ( - )	02/2016		-10.101,40
CONT. SOCIAL ( - )	02/2016		-8.417,83
COPINS ( - )	02/2016		-25.253,50

Fonte: Autor

É possível, por meio da análise da Figura 12, obter uma descrição completa do consumo de energia elétrica do mês de referência, bem como identificar a classe de consumo na qual o cliente está inserido. Para saber quais os valores de demanda contratada na ponta e na fora de ponta, faz-se necessário analisar a outra parte da conta de energia ilustrada na Figura 13.

Figura 13: Estrutura do Consumo - Fevereiro de 2016

Estrutura do consumo									
REFERÊNCIA: Fevereiro / 2016		Data Leitura Anterior: 31/01/2016			Data Leitura Atual: 29/02/2016			DIAS FATURADOS: 29	
K W h	PONTA	LEITURA ATUAL		LEITURA ANTERIOR		CONSTANTE		PERDAS %	CONSUMO A FATURAR 137200 1260000
	FORA PONTA	30281		29831		2800,0000			
	RESERVADO	3235		3186		2800,0000			
k v A r h	PONTA	LEITURA ATUAL		LEITURA ANTERIOR		CONSTANTE		PERDAS %	CONSUMO
	FORA PONTA								FATOR DE POTENCIA
	RESERVADO								
K W	PONTA	LEITURA	CONSTANTE	PERDAS %	DEMANDA MEDIDA	DEMANDA CONTRATADA	DEMANDA PERCENTUAL	DEMANDA ULTRAPASSAGEM	DEM. A FATURAR
	FORA PONTA	1,16	2800,0000		3248,00	3.580,00			3.580,00
	RESERVADO	1,89	2800,0000		5292,00	5.600,00			5.600,00
E R E	PONTA	LEITURA ATUAL		LEITURA ANTERIOR		CONSTANTE		PERDAS %	ENERGIA REATIVA EXCEDENTE
	FORA PONTA	2		2		2800,0000			
	RESERVADO					2800,0000			
D R E	PONTA	LEITURA		MEDIDA		CONSTANTE		PERDAS %	DEMANDA REATIVA EXCEDENTE
	FORA PONTA	1,06		2968,00		2800,0000			
	RESERVADO	1,76		4928,00		2800,0000			
		AJUSTE FATOR DE POTÊNCIA			BASE DE CÁLCULO kWh			A FATURAR	
		AJUSTE FATOR DE POTÊNCIA			BASE DE CÁLCULO KW			A FATURAR	

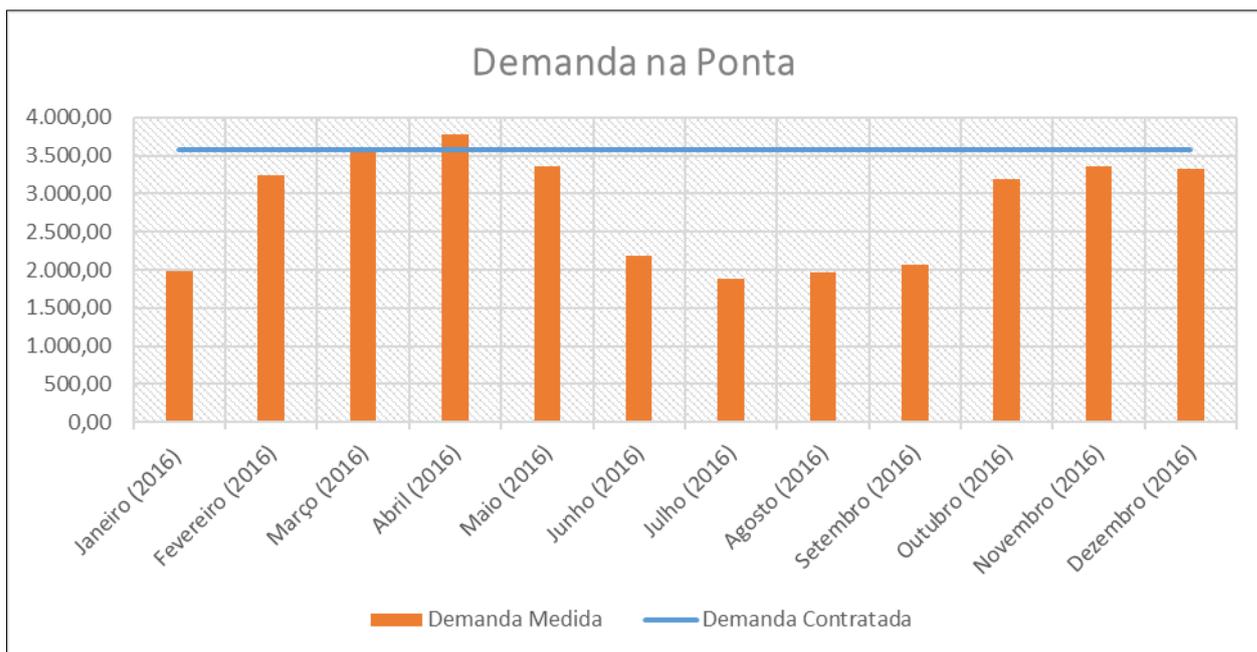
Fonte: Autor

Por meio da análise da Figura 13, podemos identificar que a demanda contratada na ponta é de 3580 kW e na fora de ponta é de 5600 kW. É possível, também, ter informações referentes ao consumo e a demanda faturada.

Com todas as informações presentes nas contas de energia como demanda contratada, demanda faturada, demanda de ultrapassagem, consumo e adicional de bandeira tarifária, foi possível realizar alguns cálculos e plotar alguns gráficos para melhor visualizar a estrutura tarifária da UFPB antes da inserção dos painéis fotovoltaicos.

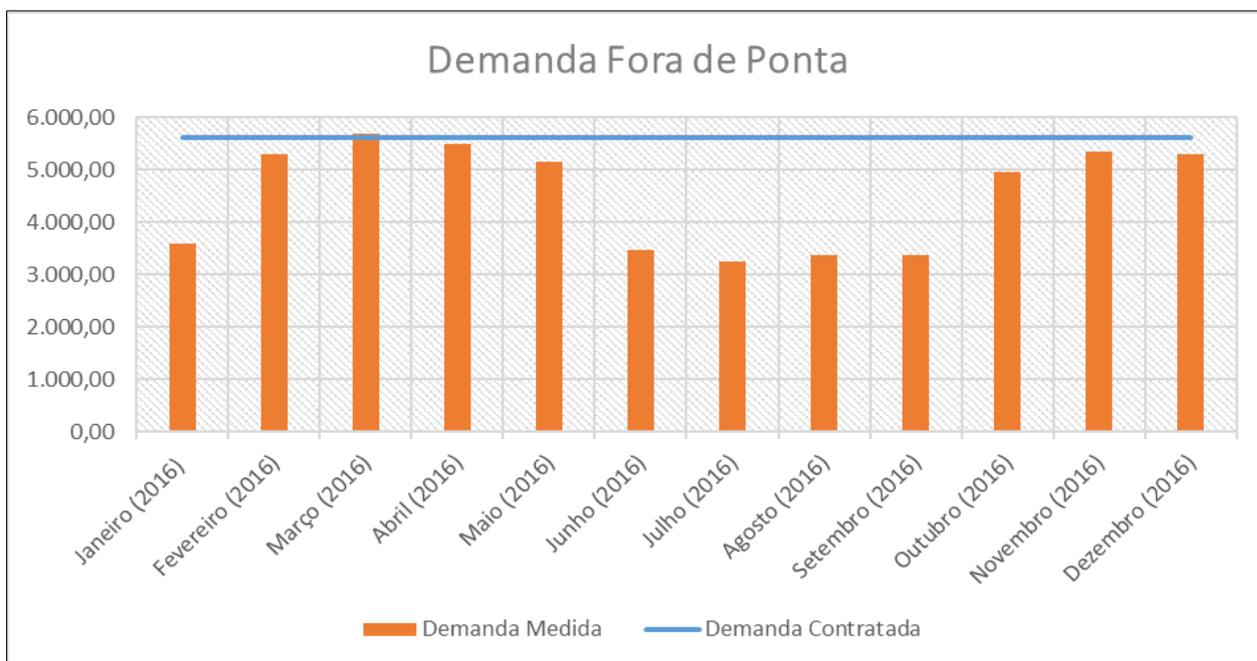
Com relação a demanda contratada e medida na ponta e fora de ponta, respectivamente, as Figuras 14 e 15 ilustram o comportamento do sistema durante o ano de 2016.

Figura 14: Comportamento da Demanda na Ponta Durante o ano de 2016



Fonte: Autor

Figura 15: Comportamento da Demanda Fora de Ponta Durante o ano de 2016



Fonte: Autor

Considerando a Figura 14, podemos notar que apenas no mês de abril a demanda medida foi maior que a contratada na ponta, ou seja, nesse mês houve demanda de ultrapassagem. Nos outros meses a demanda medida sempre foi menor que a demanda contratada, porém, como já foi dito, o valor pago será referente ao valor de contrato, ou seja, a demanda faturada será a própria demanda contratada.

No caso da Figura 15 que ilustra o comportamento da demanda fora de ponta, apenas no mês de março houve uma leve ultrapassagem da demanda medida com relação a demanda contratada. Nos outros meses as demandas medidas sempre foram menores do que a contratada.

É importante perceber que em ambas as figuras, nos meses de Junho à Setembro existe uma queda considerável na redução da demanda consumida pela universidade. Isso deve-se ao fato de que nesses meses a cidade de João Pessoa apresenta temperaturas menores e um clima mais frio devido as chuvas na região. Dessa forma, o uso do ar-condicionado na universidade diminui consideravelmente e, conseqüentemente, a demanda consumida diminui também.

Com o intuito de calcular o valor total das contas de energia da UFPB durante o ano de 2016, detalhou-se todos os dados presentes nas contas em uma tabela e realizou-se os cálculos de acordo com o explicado no capítulo 4. A Tabela 5 ilustra os dados obtidos.

Tabela 5: Descrição das Contas de Energia de 2016

MESES	Consumo em kwh		Demanda medida em kw		Demanda não consumida em kw		Demanda Contratada		Demanda de Ultrapassagem		Demanda Faturada		Bandeira
	Ponta	Fora de Ponta	Ponta	Fora de Ponta	Ponta	Fora de Ponta	Ponta	Fora de Ponta	Ponta	Fora de Ponta	Ponta	Fora de Ponta	
Janeiro (2016)	86.800,00	1.008.000,00	1.988,00	3.584,00	1.592,00	2.016,00	3.580,00	5.600,00	0,00	0,00	3.580,00	5.600,00	vermelha
Fevereiro (2016)	137.200,00	1.260.000,00	3.248,00	5.292,00	332,00	308,00	3.580,00	5.600,00	0,00	0,00	3.580,00	5.600,00	vermelha
Março (2016)	170.800,00	1.509.200,00	3.556,00	5.684,00	24,00	0,00	3.580,00	5.600,00	0,00	84,00	3.580,00	5.684,00	amarela
Abril (2016)	162.400,00	1.416.800,00	3.780,00	5.488,00	0,00	112,00	3.580,00	5.600,00	200,00	0,00	3.580,00	5.600,00	vermelha
Mai (2016)	154.000,00	1.386.000,00	3.360,00	5.152,00	220,00	448,00	3.580,00	5.600,00	0,00	0,00	3.580,00	5.600,00	vermelha
Junho (2016)	92.400,00	971.600,00	2.184,00	3.472,00	1.396,00	2.128,00	3.580,00	5.600,00	0,00	0,00	3.580,00	5.600,00	vermelha
Julho (2016)	92.400,00	935.200,00	1.876,00	3.248,00	1.704,00	2.352,00	3.580,00	5.600,00	0,00	0,00	3.580,00	5.600,00	vermelha
Agosto (2016)	89.600,00	977.200,00	1.960,00	3.360,00	1.620,00	2.240,00	3.580,00	5.600,00	0,00	0,00	3.580,00	5.600,00	vermelha
Setembro (2016)	98.000,00	1.013.600,00	2.072,00	3.360,00	1.508,00	2.240,00	3.580,00	5.600,00	0,00	0,00	3.580,00	5.600,00	vermelha
Outubro (2016)	128.800,00	1.265.600,00	3.192,00	4.956,00	388,00	644,00	3.580,00	5.600,00	0,00	0,00	3.580,00	5.600,00	vermelha
Novembro (2016)	151.200,00	1.414.000,00	3.360,00	5.348,00	220,00	252,00	3.580,00	5.600,00	0,00	0,00	3.580,00	5.600,00	vermelha
Dezembro (2016)	126.000,00	1.204.000,00	3.332,00	5.292,00	248,00	308,00	3.580,00	5.600,00	0,00	0,00	3.580,00	5.600,00	vermelha

Fonte: Autor

Como forma de padronizar a análise, foram considerados os valores das tarifas vigentes de 2017 mostradas na Tabela 6. Com isso é possível ter uma análise homogênea mantendo o preço das tarifas constantes e mais atualizadas. Importante lembrar que deve-se utilizar os valores tarifários do Grupo A4 Azul.

Tabela 6: Tarifas Vigentes de 2017 através da Resolução Homologativa da ANEEL nº 2126

MODALIDADE TARIFÁRIA		DEMANDA				CONSUMO	
		PONTA	FORA DE PONTA	ULTRAPASSAGEM		PONTA	FORA DE PONTA
				PONTA	FORA DE PONTA		
Azul	A3	13,64	3,85	27,28	7,70	0,33226	0,22454
	A4	40,81	13,70	81,62	27,40	0,34198	0,23426
Verde		-	13,70	-	27,40	1,33263	0,23426
Convencional		43,09		86,18		0,24323	

Fonte: Energisa Paraíba. Recebido via e-mail em: 05/04/2017

Um outro fator que deve ser levado em consideração é o adicional de bandeira tarifária. Para o ano de 2017, os valores das bandeiras tarifárias são mostrados na Tabela 7.

Tabela 7: Valores das Bandeiras Tarifárias de 2017

Bandeira	Valor por kWh consumido
Vermelha	R\$ 0,035
Amarela	R\$ 0,020

Fonte: [32]

De posse de todas essas informações, foram calculados os valores mensais das contas de energia da UFPB durante o ano de 2016 sem considerar os impostos. Feito isso, calculou-se o gasto total da universidade durante o ano apenas com energia elétrica. A Tabela 8 mostra os resultados.

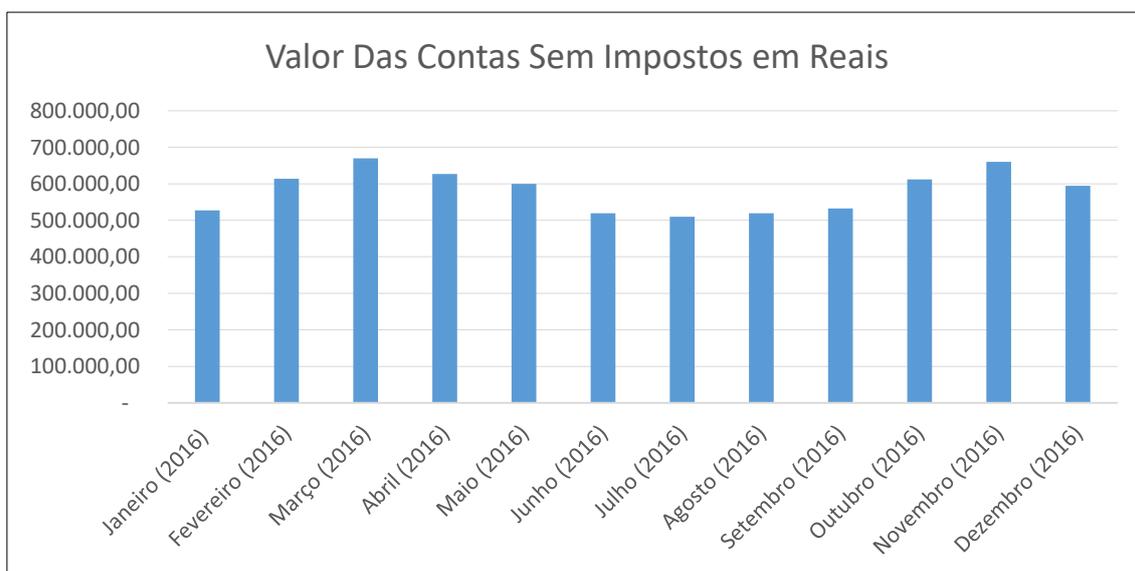
Tabela 8: Custos Mensais com Energia Elétrica na UFPB

Meses	Valor da Conta em Reais (Sem Impostos)
Janeiro (2016)	526.955,74
Fevereiro (2016)	613.809,06
Março (2016)	669.525,98
Abril (2016)	626.580,92
Mai (2016)	600.169,08
Junho (2016)	519.265,77
Julho (2016)	509.464,70
Agosto (2016)	519.718,08
Setembro (2016)	532.685,78
Outubro (2016)	612.150,28
Novembro (2016)	660.552,82
Dezembro (2016)	594.508,32
<b>Total</b>	<b>6.985.386,52</b>

Fonte: Autor

Nota-se que os meses mais caros foram março, abril e novembro. Analisando-se, novamente, as Figuras 14 e 15, pode-se esperar que esses meses custariam mais aos cofres da UFPB, visto que suas demandas medidas foram muito próximas das contratadas chegando até a ultrapassar, em alguns casos, as demandas contratadas. O valor de R\$ 6.985.386,52 representa o custo anual com energia elétrica na universidade sem considerar a inserção de painéis fotovoltaicos. O gráfico ilustrado na Figura 16 facilita a visualização do custo mensal com energia elétrica na UFPB.

Figura 16: Representação do Custo Mensal com Energia Elétrica na UFPB em 2016



Fonte: Autor

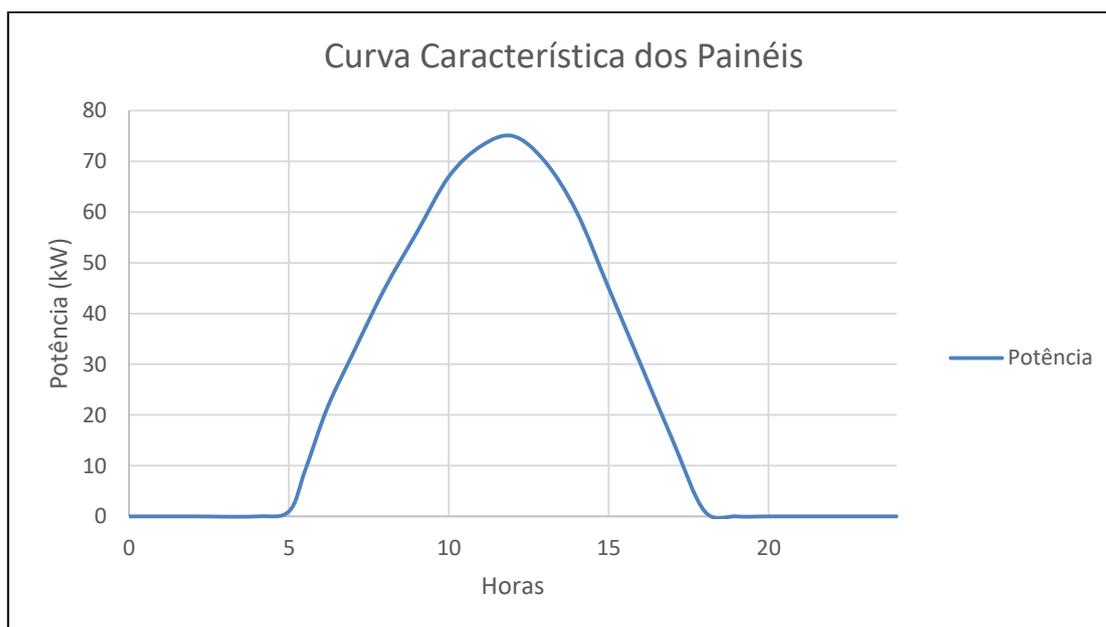
## 6.2 Análise das Contas de Energia Considerando a Inserção dos Painéis Fotovoltaicos no Subgrupo A4-Azul

Considerando a inserção dos painéis fotovoltaicos no sistema, realizou-se análise semelhante a seção anterior considerando a diminuição na demanda contratada e no consumo de energia na hora fora de ponta devido a injeção de potência na rede por meio dos painéis fotovoltaicos.

É importante citar que a curva de variação dos painéis fotovoltaicos foi obtida por meio do *DIgSILENT PowerFactory*<sup>®</sup> que considera a curva mostrada na Figura 17 como padrão de comportamento dos painéis durante um dia. Com isso, utilizou-se esse padrão de curva para replicar para os meses seguintes. Assim sendo, a potência máxima gerada pelo painel coincide com o horário de maior irradiância do sol

que foi definido como sendo meio dia. A Figura 17 ilustra a curva utilizada como base para o comportamento dos painéis fotovoltaicos durante um dia para o mês de janeiro onde a incidência de radiação solar é mais alta. Para um comportamento mais específico durante cada mês do ano, deve-se consultar o INMET (Instituto Nacional de Meteorologia).

Figura 17: Variação de potência dos painéis durante um dia para o mês de Janeiro



Fonte: Autor

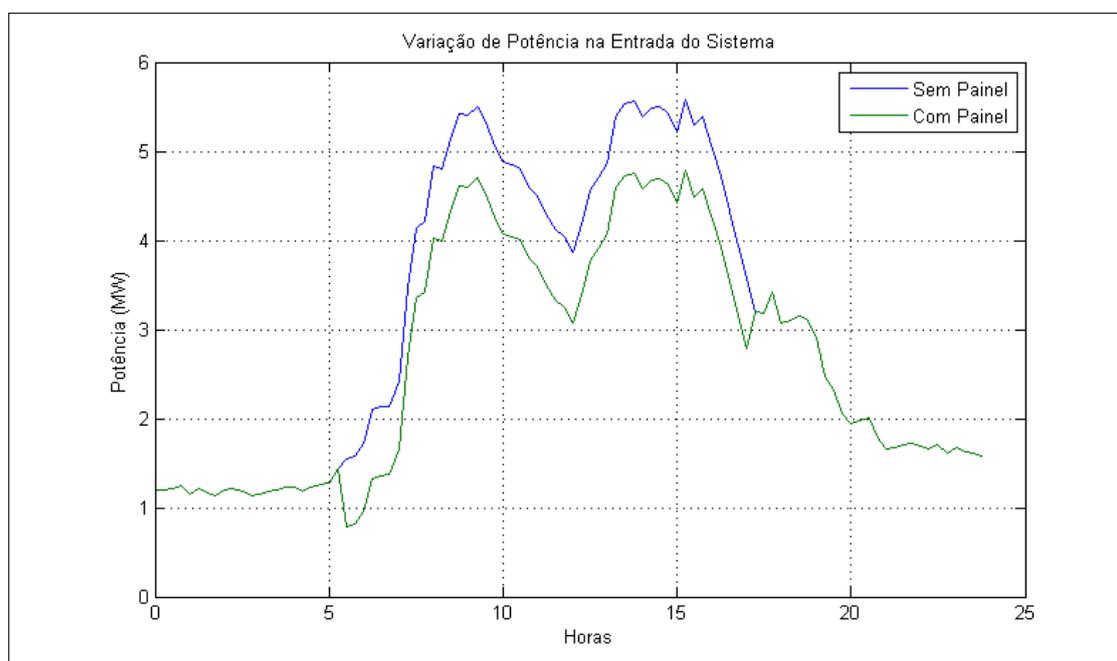
Importante notar também que apenas a demanda contratada fora de ponta foi alterada, pois na hora ponta o painel não produz energia devido a falta de luminosidade proveniente do sol. De acordo com a simulação realizada no *DIGSILENT PowerFactory*<sup>®</sup> a potência a ser contratada na hora fora de ponta considerando a inserção de dez sistemas fotovoltaicos de 75 kW de potência na rede deveria ser reduzida de 5600 kW para 4800 kW.

Por meio da análise da curva de variação de potência do sistema é possível calcular a economia no consumo mensal através do cálculo da integral da curva. Em outras palavras, realizando-se a diferença entre a integral da curva em azul (sem painel) e a curva em verde (com painel), é possível obter a área entre as curvas que representa o consumo obtido durante um dia. Multiplicando o valor obtido por 30, que representa a quantidade de dias do mês, têm-se o a economia mensal no consumo.

Dessa forma, com a ajuda do programa de simulação utilizado neste trabalho, observou-se o comportamento da potência do sistema durante as 24 horas do dia considerando intervalos de 15 em 15 minutos. Em outras palavras, por meio de um *script* foi possível calcular o fluxo de carga do sistema a cada 15 minutos durante 24 horas e observar o comportamento da potência de entrada proveniente da concessionária no sistema.

A Figura 18 ilustra os comportamentos obtidos para ambos os casos. Para o caso com sistema fotovoltaico, apenas no intervalo de 5h30m às 17h30m ocorreu a injeção de potência no sistema, pois nos outros horários não há injeção de energia dos painéis fotovoltaicos.

Figura 18: Variação de potência do sistema durante um dia



Fonte:Autor

Dessa forma, a Tabela 9 mostra a economia no consumo obtida para cada mês do ano em kWh.

Tabela 9: Redução mensal no consumo fora de ponta

Área entre as Curvas (Economia no Consumo Fora de Ponta em kWh/mês)
279.417,30 kWh

Fonte:Autor

Além disso, calculou-se a economia em reais para a hora fora de ponta do sistema, visto que, é nesse intervalo que os painéis fotovoltaicos estão injetando potência na rede elétrica e, conseqüentemente, reduzindo o consumo de energia elétrica proveniente da concessionária. Para o cálculo dessa economia, considerou-se a redução mostrada na Tabela 9 e multiplicou esse valor pela fatura do consumo fora de ponta correspondente ao Subgrupo A4-Azul para estimar de quanto seria essa economia no final de cada mês. A Tabela 10 mostra a redução em reais obtida por mês.

Tabela 10: Redução mensal no consumo fora de ponta em reais para o Subgrupo A4-Azul

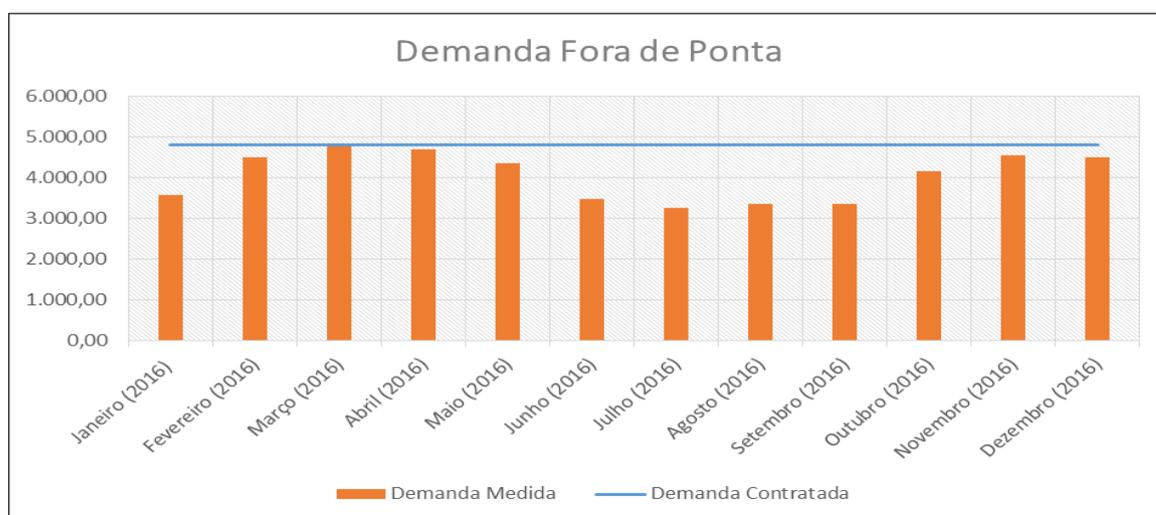
Redução em kWh	Tarifa do Consumo Fora de Ponta (A4-Azul)	Redução em Reais
279.417,30	R\$ 0,23426	R\$ 65.456,30

Fonte: Autor

Com os novos valores de potência contratada e redução no consumo, realizou-se a análise das contas novamente com o intuito de verificar a economia anual que a inserção dos módulos fotovoltaicos produziriam na conta de energia elétrica da UFPB.

A Figura 19 ilustra o novo comportamento da demanda contratada fora de ponta em relação a demanda consumida. No caso da hora de ponta, a demanda não foi alterada, sendo assim o comportamento é o mesmo da Figura 14.

Figura 19: Comportamento da Demanda Fora de Ponta Considerando a Inserção dos Painéis



Fonte: Autor

Realizou-se a mesma análise da seção anterior para os cálculos das contas de energia de cada mês e os valores são mostrados na Tabela 11.

Tabela 11: Valores das contas considerando a inserção dos painéis

Meses	Valor da Conta em Reais (Sem Impostos)
Janeiro (2016)	440.759,84
Fevereiro (2016)	527.613,15
Março (2016)	587.521,33
Abril (2016)	550.164,62
Mai (2016)	523.752,78
Junho (2016)	433.069,87
Julho (2016)	423.268,80
Agosto (2016)	433.522,18
Setembro (2016)	446.489,87
Outubro (2016)	525.954,38
Novembro (2016)	574.356,91
Dezembro (2016)	508.312,42
<b>Total</b>	<b>5.974.786,16</b>

Fonte: Autor

Portanto, a economia anual com a utilização dos módulos fotovoltaicos é obtida realizando a subtração dos valores anuais das contas de energia sem e com a utilização dos painéis fotovoltaicos. A economia para o Subgrupo A4-Azul, em reais, é ilustrada na Tabela 12.

Tabela 12: Economia anual obtida com a utilização dos painéis para o Subgrupo A4-Azul

Valor anual das contas sem painéis	Valor anual das contas com painéis	Economia Anual
R\$ 6.985.386,52	R\$ 5.974.786,16	R\$ 1.010.600,36

Fonte: Autor

A economia mostrada na Tabela 12 mostra-se bem expressiva considerando a crise no setor energético brasileiro. Com isso, a utilização de painéis fotovoltaicos na UFPB mostra-se bastante interessante no subgrupo A4 – Azul.

### 6.3 Análise das Contas de Energia da UFPB Considerando a Estrutura Tarifária A3 – Azul

Realizando-se análise semelhante a desenvolvida para o Subgrupo A4-Azul, é possível calcular o valor das contas de energia da UFPB apenas mudando os valores das tarifas do Subgrupo A4-Azul para o Subgrupo A3-Azul. Importante citar que para que um cliente se encaixe nessa modalidade tarifária, é necessário possuir uma subestação de 69 kV para que seja possível receber a energia da companhia distribuidora. Na seção 6.5, realiza-se a migração do Subgrupo A4-Azul para o A3-Azul e considera-se o custo da construção de uma subestação de 69/13,8 kV, 5/6,25 MVA necessária para tal situação

Para esta seção, considera-se a análise das contas de energia da UFPB no Subgrupo A3-Azul e, na seção 6.5 realiza-se a comparação da economia obtida com o custo da construção de uma subestação de 69 kV, 5/6,25 MVA.

Portanto, realizando-se os cálculos das contas de energia da UFPB na estrutura tarifária A3-Azul sem os painéis fotovoltaicos, obtêm-se os valores mostrados na Tabela 13.

Tabela 13: Valores das contas de energia para o Subgrupo A3-Azul

Meses	Valor da Conta (Sem Impostos)
Janeiro (2016)	363.885,69
Fevereiro (2016)	447.799,67
Março (2016)	499.940,38
Abril (2016)	447.934,50
Mai (2016)	432.771,68
Junho (2016)	356.495,09
Julho (2016)	347.047,83
Agosto (2016)	356.920,18
Setembro (2016)	369.452,42
Outubro (2016)	446.168,11
Novembro (2016)	492.910,47
Dezembro (2016)	429.152,12
<b>Total</b>	<b>4.990.478,14</b>

Fonte: Autor

Como forma de observar o impacto produzido com a inserção dos painéis fotovoltaicos no Subgrupo A3-Azul, a seção seguinte mostrará os resultados obtidos quando considerando a inserção dos painéis fotovoltaicos no sistema para a estrutura tarifária A3-azul.

#### 6.4 Análise das Contas de Energia da UFPB Considerando a Estrutura Tarifária A3 – Azul e a Inserção dos Painéis Fotovoltaicos

Considerando os mesmos valores da redução na demanda e no consumo mostrados nas seções anteriores, é possível realizar todo o processo de cálculo novamente e recalcular os valores das contas considerando a inserção dos painéis fotovoltaicos no sistema.

A Tabela 14 mostra o consumo mensal obtido quando se considera a tarifa do Subgrupo A3-Azul.

Tabela 14: Redução mensal no consumo fora de ponta em reais para o Subgrupo A3-Azul

Redução em kWh	Tarifa do Consumo Fora de Ponta (A3-Azul)	Redução em Reais
279.417,30	R\$ 0,22454	R\$ 62.740,36

Fonte: Autor

Dessa forma, a Tabela 15 mostra os novos valores das contas de energia da UFPB obtidas para o Subgrupo A3-Azul considerando a redução da demanda e do consumo.

Tabela 15: Valores das contas de energia para o Subgrupo A3-Azul considerando a inserção dos painéis fotovoltaicos

Meses	Valor da Conta (Sem Impostos)
Janeiro (2016)	288.285,72
Fevereiro (2016)	372.199,71
Março (2016)	428.531,67
Abril (2016)	382.114,14
Mai (2016)	366.951,32
Junho (2016)	280.895,12
Julho (2016)	271.447,87
Agosto (2016)	281.320,22
Setembro (2016)	293.852,46
Outubro (2016)	370.568,15
Novembro (2016)	417.310,51
Dezembro (2016)	353.552,15
<b>Total</b>	<b>4.107.029,02</b>

Fonte: Autor

Dessa forma, a economia anual obtida para o Subgrupo A3-Azul considerando a inserção dos painéis fotovoltaicos é mostrada na Tabela 15.

Tabela 16: Economia anual obtida com a utilização dos painéis para o Subgrupo A3-Azul

<b>Valor das Contas sem Painéis (R\$)</b>	<b>Valor das Contas com Painéis (R\$)</b>	<b>Economia Anual (R\$)</b>
4.990.478,14	4.107.029,02	883.449,12

Fonte: Autor

### **6.5 Migração do Subgrupo A4 – Azul para o Subgrupo A3 – Azul Considerando o Custo de uma Subestação de 69 kV/13.8 kV**

Consumidores que estão no Subgrupo A3-Azul possuem tensão de fornecimento igual a 69 kV e, por isso, necessitam de uma subestação para receber esse nível de tensão da concessionária. Dessa forma, associada a economia obtida por meio da migração para essa classe de consumo, é importante considerar o custo para a construção de uma subestação de 69 kV.

Diante do que foi exposto até o momento, pode-se realizar a comparação entre o valor anual gasto com energia elétrica na estrutura tarifária A4-Azul com a estrutura tarifária A3-Azul.

Vale salientar que nesta seção o interesse principal é realizar a comparação entre o valor anual gasto com energia elétrica no Subgrupo A4-Azul com o valor anual gasto no Subgrupo A3-Azul, ambos sem painéis fotovoltaicos. Dessa forma, pode-se calcular em quanto tempo o investimento com uma subestação produzirá retorno.

Dessa forma, a economia obtida, em reais, com relação ao Subgrupo A4-Azul é mostrada na Tabela 18.

Tabela 17: Economia anual obtida considerando a migração para A3-Azul

<b>A4-Azul</b>	<b>A3-Azul</b>	<b>A4 - Azul para A3-Azul</b>
<b>Valor anual das contas sem painéis (R\$)</b>	<b>Valor anual das contas sem painéis (R\$)</b>	<b>Economia Anual (R\$)</b>
6.985.386,52	4.990.478,14	1.994.908,38

Fonte: Autor

Torna-se extremamente notável a economia obtida com a migração para o Subgrupo A3-Azul, porém, deve-se considerar qual é o custo de construção da subestação. Para tornar a análise um pouco mais real, deve-se considerar o custo de

construção de uma subestação de 69/13,8 kV, 5/6,25 MVA orçada em 2011 para o Campus do Pici da Universidade Federal do Ceará, de acordo com [25], e analisar o tempo de retorno do investimento de acordo com a economia anual.

De acordo com o orçamento, o custo total da subestação foi de R\$ 2.207.371,23 e, dessa forma, a Tabela 19 mostra em quanto tempo o investimento retorna para a universidade em caso de construção da subestação.

Tabela 18: Tempo de retorno do investimento com a construção de uma subestação de 69 kV/13.8 kV, 5/6,25 MVA

<b>Economia Anual Obtida com a Migração</b>	R\$ 1.994.908,38
<b>Custo da Subestação</b>	R\$ 2.207.371,23
<b>Tempo de Retorno do Investimento</b>	~ 1 ano

Fonte: Autor

Pode-se perceber que em, aproximadamente, 1 ano todo o investimento com a subestação será pago devido a grande economia anual que se obtêm com a migração para o Subgrupo A3-Azul. Isso acontece devido ao fato de que as tarifas do Subgrupo A3-Azul são bem mais baratas quando comparadas as tarifas do Subgrupo A4-Azul.

A seção seguinte abordará o tempo de retorno do investimento quando se considera o custo de instalação dos painéis fotovoltaicos.

### **6.6 Estudo de Viabilidade Técnica Considerando o Custo de Implementação dos Painéis Fotovoltaicos na UFPB**

Com o intuito de tornar o trabalho mais próximo da realidade, torna-se imprescindível conhecer o preço real de um painel solar de 75 kW. Dessa forma, a EngSol, empresa paraibana situada no município de Patos – PB (mais informações na Figura 21 no Anexo 3), foi a única que se disponibilizou prontamente para realizar o orçamento de um sistema com essa capacidade. Após uma análise criteriosa por parte da EngSol, a Figura 20 mostra com detalhes todos os componentes necessários à instalação de um painel solar de, aproximadamente, 75 kW de potência. Importante citar que o valor final considerado pela empresa leva em consideração o custo do projeto e o serviço de instalação

Figura 20: Orçamento da EngSol para um painel de aproximadamente 75 kW

Número do Cliente: 092		Responsável: Luan Mota			
Número da Proposta: 10-052017					
Data da Proposta: 22/05/2017					
Validade da Proposta: 31/05/2017		ENG SOL ENERGIA SOLAR			
<b>GERADOR FOTOVOLTAICO 74,5 kw p</b>					
ITEM	COD	PROD.	QTD	VAL. UNI	TOTAL
1	C56K270P	CANADIAN SOLAR 60CELLS 270W POLY-SI	276	R\$ 685,85	R\$ 189.294,60
2	STP60TL-20	SMA SOLAR INVERTER STP60-10 - 380V	1	R\$ 49.604,63	R\$ 49.604,63
3	ABB1SL0643A00	STRING BOX ABB 6 CORDAS 2 SAIDAS	2	R\$ 4.948,98	R\$ 9.897,96
4	K201001929	K2 System_PERFIL ALUMINIO ULTRALIGHT 6,1MT	56	R\$ 133,48	R\$ 7.474,88
5	K2010019294MT	K2 System_PERFIL ALUMINIO ULTRALIGHT 4,07MT	112	R\$ 115,75	R\$ 12.964,00
6	K201004107	K2 System_JUNÇÃO PARA PERFIL ALUMINIO K2	112	R\$ 25,67	R\$ 2.875,04
7	SSTVLAJE	Suporte vertical triangular de aluminio	224	R\$ 182,69	R\$ 40.922,56
8	K21005170	K2 System_TERMINAL FINAL 39..41MM for CAN	112	R\$ 9,71	R\$ 1.087,52
9	K22001586	K2 System_TERMINAL FINAL 39..44MM for CAN/AVP	504	R\$ 9,20	R\$ 4.636,80
10	K2P1000041	K2 System_PARAFUSO CABEÇA MARTELO M10 28/15	448	R\$ 2,22	R\$ 994,56
11	K2P1000042	K2 System_PORCA M10 INOX A2	448	R\$ 2,14	R\$ 958,72
12	CABOGM26434	CABO SOLAR 6MM<100V_PRETO_NXS_PRY_BAL	350	R\$ 5,22	R\$ 1.827,00
13	CABOGM54203	CABO SOLAR 6MM<100V_VERMELHO_NXS_PRY_BAL	350	R\$ 5,22	R\$ 1.827,00
14	C1344960000	CONECTORES FEMEA/MACHO WEID_CABUR_TE_MC4	48	R\$ 19,12	R\$ 917,76
15	IM-10-INTERFACE-SM	COMUNICAÇÃO CENTRAL PARA NO MÁXIMO 42 STP 60, MODBUS SUNPEC, INTE	1	R\$ 11.305,55	R\$ 11.305,55
Projeto de Instalação: .....					R\$ 6.000,00
Serviço de Instalação: .....					R\$ 29.000,00
Seguro (opcional): .....					R\$ 1.600,00
Valor Total: R\$ 371.588,58 (sem seguro)					
Valor Total: R\$ 373.188,48 (com seguro)					

.Fonte: EngSol

Segundo a EngSol, em caso de opção de contratação do seguro, o mesmo possui cobertura para danos causados por incêndio, roubo ou furto qualificado, raio ou explosão de qualquer natureza, vendaval, granizo, danos elétricos e outras situações previstas em apólice.

Segundo a empresa, estima-se que um sistema dessa dimensão possua uma carga bruta de 7 toneladas de materiais. Dessa forma, aconselha-se sua instalação em terra firme, salvo quando houver um estudo que comprove que a estrutura na qual se deseja realizar a instalação suporte tal carga. Ainda como informação adicional, a EngSol estima que deve haver uma área livre de, aproximadamente, 500 m<sup>2</sup> para a instalação do sistema fotovoltaico.

Dessa forma, considerando o valor total do orçamento com seguro, percebe-se que o custo com apenas um sistema fotovoltaico é de R\$ 373.188,48. Com isso, o custo total de dez sistemas idênticos ao orçado será de R\$ 3.731.884,8. Pode-se, então, realizar a análise de viabilidade técnica considerando a economia obtida no Subgrupo A4 e A3 com e sem a utilização dos painéis no sistema. A Tabela 19 mostra com mais detalhes o tempo de retorno do investimento considerando ambos os casos.

Tabela 19: Economias obtidas e tempo de retorno estimado levando em consideração o custo dos painéis

Subgrupo	Economia Obtida (R\$)	Custo dos Painéis (R\$)	Tempo de Retorno
A4	1.010.600,36	3.731.884,80	~ 4 anos
A3	883.449,12		~ 4,5 anos

Fonte: Autor

Pode-se perceber que apesar do alto investimento com o sistema fotovoltaico, as reduções anuais nas contas de energia elétrica da UFPB retornam o valor investido em menos de 5 anos. Para o Subgrupo A4-Azul, todo o investimento com o sistema fotovoltaico será pago em, aproximadamente, 4 anos. Para o Subgrupo A3-Azul, o retorno acontece em, aproximadamente, 4 anos e meio devido ao fato da estrutura tarifária A3-Azul apresentar tarifas mais baratas do que o Subgrupo A4-Azul. Dessa forma, pode-se perceber que o uso do sistema fotovoltaico na universidade mostrou-se viável diante de todos seus benefícios para o sistema como redução na demanda, no consumo e bom tempo de retorno do valor investido.

### 6.7 Análise das Perdas de Distribuição com a Inserção dos Painéis Fotovoltaicos

As perdas no sistema de distribuição da UFPB foram calculadas para cada linha de acordo com o método de Newton-Raphson utilizado pelo *DIGSILENT PowerFactory*<sup>®</sup>. Apenas devido ao fato da implementação dos painéis fotovoltaicos no sistema de distribuição da universidade, já era esperado que ocorresse uma diminuição nas perdas por distribuição, visto que a eletricidade é consumida no mesmo local onde é produzida.

Por meio da simulação feita através do programa utilizado, foi possível calcular as perdas em cada linha do sistema sem a utilização dos painéis e com a utilização dos mesmos. Feito isso, realizou-se a comparação e cálculo do percentual de redução de perdas. A Tabela 21 no Anexo 1 mostra os resultados obtidos para cada linha

Comparando as perdas totais sem a utilização dos painéis com as perdas totais com a utilização dos painéis, percebe-se que ocorreu uma redução de, aproximadamente, 15% nas perdas do sistema em potência. A Tabela 20 ilustra a redução nas perdas em potência em kW.

Tabela 20: Redução nas perdas em potência e em reais

Perdas em kW sem painéis	Perdas em kW com painéis
228,2585	172,0511
Redução nas perdas em kW	Redução nas perdas em Porcentagem
56,2074	15

Fonte: Autor

Como esperado, pode-se observar uma redução nas perdas de distribuição de, aproximadamente, 15%. Isso acontece, principalmente, devido ao fato de que a energia é consumida no mesmo local onde é gerada, reduzindo o consumo de energia externa.

## 6.8 Conclusão dos Resultados

De maneira objetiva, todos os resultados mostrados apresentam economias quando comparados a estrutura tarifária atual da UFPB. Para o caso do Subgrupo A4-Azul, a inserção dos sistemas fotovoltaicos produziu uma economia anual de mais de 1 milhão de reais quando comparada a mesma estrutura tarifária sem a utilização dos sistemas fotovoltaicos. O mesmo aconteceu com a estrutura tarifária A3-Azul, onde foi obtida uma economia anual de mais de 800 mil reais quando comparada ao mesmo Subgrupo.

Devido aos valores tarifários serem bem mais baratos no Subgrupo A3-Azul, a migração do Subgrupo A4-Azul para o A3-Azul mostrou-se satisfatória devido a grande economia obtida anualmente quando comparada entre os dois Subgrupos entre si. De acordo com o que foi calculado, essa economia com a migração chega a quase 2 milhões de reais por ano.

Porém, é importante considerar alguns custos necessários para que essas reduções aconteçam. No caso da migração entre os Subgrupos A4-Azul e A3-Azul, precisa-se considerar o custo da construção de uma subestação de 69 kV para que seja possível receber a energia da concessionária. Foi observado que esse investimento retorna para o cliente em, aproximadamente, 1 ano. Levando em conta o tamanho da economia obtida com a migração, pode-se concluir que a mudança de estrutura tarifária seria viável para o sistema

Um outro custo abordado foi com relação aos sistemas fotovoltaicos de 75 kW. Segundo o orçamento realizado pela EngSol, os dez sistemas fotovoltaicos custariam mais de 3 milhões de reais. Comparando esse valor com a economia obtida com a redução da demanda e do consumo ocasionados pelo uso dos painéis fotovoltaicos, conclui-se que o investimento retornaria em, aproximadamente, 4 anos para o Subgrupo A4-Azul e em 4 anos e 6 meses, aproximadamente, para o Subgrupo A3-Azul.

## 7. CONCLUSÃO

Diante do que foi exposto até aqui, pode-se concluir que é possível obter economias consideráveis com a inserção de painéis fotovoltaicos no sistema. Porém, é importante considerar o custo da compra de todos os sistemas fotovoltaicos que serão utilizados e realizar a análise de viabilidade técnica, para que seja possível prever o tempo de retorno do investimento. Foi visto que a migração do Subgrupo A4 para o A3 produziu uma economia significativa, mostrando-se viável mesmo considerando o custo com a construção de uma subestação de 69 kV. Foi visto também que o tempo de retorno do investimento tanto para o Subgrupo A4-Azul quanto para o Subgrupo A3-Azul não ultrapassa 5 anos, tornando-se, assim, um investimento viável diante de toda a economia que o sistema fotovoltaico produzirá durante a sua operação.

Com a crescente inserção da energia solar no mercado e com o crescimento da demanda de energia elétrica, vale a pena o investimento a longo prazo como forma de reduzir os impactos ambientais e as perdas no sistema de distribuição, além do fato de fazer uso de uma fonte de energia inesgotável.

### 7.1 Perspectivas para Trabalhos Futuros

Como perspectivas para trabalhos futuros pode-se considerar:

- Estudo de alocação dos painéis fotovoltaicos;
- Controle de posição dos painéis para aumento da capacidade de geração;
- Análise de custo de fabricação e instalação para painéis com potências acima de 100 kW para implantação no sistema de distribuição da UFPB.
- Considerar as curvas de irradiações características de cada mês com o objetivo de determinar um comportamento específico para todos os meses a fim de obter resultados ainda mais aproximados.

## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] TREVISAN, A. S. **Efeitos da Geração Distribuída em Sistemas de Distribuição de Baixa Tensão**, Trabalho de Conclusão de Curso, Curitiba, 2011.
- [2] BRAUN-GRABOLLE, P. **A Integração de Sistemas Solares Fotovoltaicos em Larga Escala no Sistema Elétrico de Distribuição Urbana**, Dissertação de Mestrado, Florianópolis, 2010.
- [3] GONZÁLEZ, F. C. **Estudio de Factibilidad del Uso de Micro Generación en Base a Energias Renovables en Redes de Baja Tensión**, Trabalho de Conclusão de Curso, Santiago, 2008
- [4] FRIGO, M. M. **Impacto da Microgeração de Energia Elétrica em Sistemas de Distribuição de Baixa Tensão**, Dissertação de Mestrado, Campo Grande, 2013.
- [5] ANEEL - **Agência Nacional de Energia Elétrica**, Resolução 482, 17 de abril de 2012.
- [6] SOUZA, A. R. R. **Conexão da Geração Distribuída em Redes de Distribuição**, Dissertação de Mestrado, Curitiba, 2009.
- [7] SAMWAYS, C. A. **Estudo de Implantação de uma Central Hidrelétrica de Pequeno Porte na Área Urbana de Ponta Grossa/PR**, Trabalho de Conclusão de Curso, Curitiba, 2009.
- [8] MAGALHÃES, M. V. **Estudo de Utilização de Energia Eólica como Fonte Geradora de Energia no Brasil**, Trabalho de Conclusão de Curso, Florianópolis, 2009.
- [9] FRANCO, A. P. **Sistemas Fotovoltaicos: Contextualização e Perspectivas para sua Massificação no Brasil**, Trabalho de Conclusão de Curso, Lavras, 2013.
- [10] CARDOSO, B. M. **Uso da Biomassa como Alternativa Energética**, Trabalho de Conclusão de Curso, Rio de Janeiro, 2012.
- [11] VILLALVA, M. G. **Energia Solar Fotovoltaica: Conceito e Aplicações**, São Paulo: Érica, 2013.
- [12] BIGGI, R. R. **O uso da Luz Solar como Fonte de Energia Elétrica através de um Sistema Fotovoltaico – SF**, Trabalho de Conclusão de Curso, Lavras, 2013.
- [13] OLIVATI, C. A. **Efeito Fotovoltaico e Fotocondutividade em Dispositivos Poliméricos**, Dissertação de Mestrado, São Carlos, 2000.
- [14] RÜTHER, R. **Edifícios Solares Fotovoltaicos: O Potencial da Geração Solar Fotovoltaica Integrada a Edificações Urbanas e Interligada à Rede Elétrica Pública no Brasil**, Florianópolis: LABSOLAR, 2004.

- [15] BARIN, A. **Metodologia para a Análise Dos Efeitos da Geração Distribuída Sobre as Características Operacionais dos Sistemas de Distribuição Utilizando Técnicas Multicriteriais**, Dissertação de Mestrado, Santa Maria, 2007.
- [16] INTERSOLAR SOUTH AMERICA, 5., 2016, São Paulo. **FOTOVOLT**. São Paulo: Aranda Editora, 2016. 46 p.
- [17] JÚNIOR, O. L. **Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede: Estudo de Caso – 3 kWp Instalados no Estacionamento do IEE-USP**, Dissertação de Mestrado, São Paulo, 2005.
- [18] ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica, **Atlas de Energia Elétrica – ANEEL**, Parte I, Brasília.
- [19] ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica, **Por Dentro da Conta de Luz – Informação de Utilidade Pública**, 4<sup>a</sup> edição, Brasília, 2008, 32p.
- [20] MANUAL DE ORIENTAÇÃO AOS CONSUMIDORES, **Critérios de Contratação e Tarifas Aplicadas – Grupo A**, Criado em 10/03/04, Bandeirante.
- [21] GMBH, D. **DIgSILENT PowerFactory V-Getting Started**. Alemanha: 2011c.
- [22] GRAINGER, J. J.; STEVENSON, W. D. **Powersystem analysis**. Estados Unidos da América: McGraw-Hill, 1994.
- [23] OLIVEIRA, C. B. M. **Desenvolvimento de Modelos no Programa DIgSILENT PowerFactory para estudo de estabilidade Transitória em Sistemas elétricos de Potência com Aerogerador**, Dissertação de Mestrado, Rio Grande do Norte: 2006.
- [24] SOUZA, S, J. **Dimensionamento Ótimo de Painéis Fotovoltaicos Usando Enxame de Partículas Modificado para Reduzir as Perdas de Energia e Melhorar o Perfil de Tensão**, Dissertação de Mestrado, João Pessoa, 2016.
- [25] VALE, J. V. C. **Projeto da Subestação 69/13.8 kV da UFC-Campus do Pici**, Trabalho de Conclusão de Curso, Fortaleza, 2011.
- [26] **Portal Maciço de Baturité**, Disponível em: <[http://portalmacicodebaturite.blogspot.com.br/2015/12/propriedades-da-agua\\_23.html](http://portalmacicodebaturite.blogspot.com.br/2015/12/propriedades-da-agua_23.html)> Acesso em 6 de fevereiro de 2017.
- [27] **Portal EcoD**, Disponível em: <<http://www.ecodesenvolvimento.org/posts/2015/setembro/ge-celebra-entrada-em-operacao-do-milesimo?tag=energia>> Acesso em 6 de fevereiro de 2017.
- [28] **Prysmian Club**, Disponível em: <<http://www.prysmianclub.com.br>> Acesso em 06 de fevereiro de 2017.

[29] **Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio Brito**, Disponível em: <[http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=com\\_content&lang=pt&cid=341](http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=com_content&lang=pt&cid=341)> Acesso em 6 de fevereiro de 2017.

[30] **Painel Fotovoltaico Feluma**, Disponível em: <<http://agendapratica.net.br/feluma>> Acesso em: 6 de fevereiro de 2017.

[31] **Real Solar**, Disponível em: <<http://real-solar.com/como-funciona.php>> Acesso em: 12 de fevereiro de 2017.

[32] **ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica**, Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/bandeiras-tarifarias>> Acesso em: 10 de março de 2017.

## ANEXO 1

Tabela 21: Perdas nas linhas do sistema

<b>Linhas</b>	<b>Perdas sem Painéis (kW)</b>	<b>Perdas com Painéis (kW)</b>
101_102	0,00151	0,00155
102_103	0,00107	0,00006
102_105	0,00015	0,00121
105_104	0,0003	0,0003
105_108	0,00001	0,00007
108_109	0,0025	0,00246
108_110	0,00291	0,00092
10_11	0,00014	0,00026
10_12	0,00799	0,00788
10_9	0,00877	0,00527
10a_32	0,05299	0,0607
112_110	0,00535	0,0017
112_113	0,0004	0,00039
117_112	0,02509	0,01233
119_117	0,01456	0,00715
119_120	0,00002	0,00006
120_121	0,00004	0,00012
121_122	0,00004	0,00013
122_123	0,00002	0,00006
123_124	0,00003	0,00011
124_125	0,00002	0,00005
126_127	0,01391	0,00572
127_128	0,0077	0,00317
128_129	0,01144	0,00471
129_130	0,06626	0,04501
129_160	0,02654	0,02477
12a_13a	0,00024	0,00024

12a_14a	0,02126	0,0236
130_131	0,06857	0,04561
131_132	0,05868	0,03904
132_133	0,00032	0,00031
132_134	0,01844	0,00805
132_134a	0,01079	0,01064
134_135	0,00894	0,00391
134a_135a	0,00573	0,00565
135_119	0,02656	0,0116
135a_136a	0,0073	0,0072
136_137	0,07038	0,03363
137_138	0,06379	0,03048
138_139	0,06741	0,03221
139_140	0,06643	0,03174
140_141	0,05522	0,02639
141_142	0,05407	0,02584
142_143	0,05918	0,02828
143_144	0,05489	0,02624
144_145	0,06215	0,0297
145_146	0,05012	0,02395
146_72a	0,10716	0,05122
147_148	0,02602	0,0112
148_149	0,0258	0,0111
149_150	0,02276	0,00979
14a_15a	0,00064	0,00063
14a_16a	0,03214	0,03478
150_151	0,01102	0,00474
151_153	0,001	0,001
154_190	0,00052	0,00007
155_151	0,00006	0,00027
156_155	0,00202	0,00854
157_156	0,01648	0,01009
158_157	0,01909	0,01169

159_158	0,02492	0,01526
15_16	0,02603	0,01594
15_19	0,02987	0,02788
160_159	0,00825	0,00814
161_55a	0,00086	0,00085
162_161	0,02987	0,02788
163_162	0,18608	0,15483
164_163	0,18608	0,15483
165_164	0,4133	0,34389
165_166	0,35367	0,29428
165_167	0,402	0,33449
168_165	0,36088	0,30028
169_168	0,00007	0,00007
169_170	0,00054	0,00053
16_17	0,2957	0,24118
16a_18a	0,2957	0,24119
171_169	0,00078	0,00077
172_171	0,17893	0,17649
173_44a	0,91506	0,73595
174_173	0,32625	0,26188
175_174	0,19002	0,15114
176_175	0,02525	0,02305
177_176	0,67924	0,62014
178_177	0,68012	0,62102
179_178	0,37848	0,33607
179_8a	0,37911	0,3367
17_18	0,37975	0,33734
180_179	0,3804	0,33799
181_180	0,23276	0,22987
182_181	0,04482	0,0442
183_182	0,0183	0,01056
183_4	0,01843	0,01069
184_185	0,01856	0,01082

185_186	0,0187	0,01096
186_187	0,0491	0,03237
187_188	0,61801	0,34181
188_189	0,61867	0,34246
18a_19a	0,61933	0,34312
18a_20a	0,46734	0,2328
190_191	0,08917	0,08823
191_192	0,0247	0,0244
192_193	1,23742	1,02451
193_194	0,00203	0,00253
194_195	0,00205	0,00255
195_196	0,00208	0,00257
196_197	0,00211	0,00261
197_198	0,00215	0,00265
198_125	0,0022	0,0027
199_125	0,00226	0,00276
1_3	0,00233	0,00282
200_199	0,0024	0,0029
201_200	0,0011	0,01112
202_201	0,04474	0,04415
203_202	0,00102	0,01104
204_203	0,00096	0,01097
205_204	0,00089	0,01091
206_205	0,00084	0,01086
207_206	0,0008	0,00164
208_207	0,00076	0,0016
209_208	0,00073	0,00157
209_210	0,00071	0,00155
20a_21a	0,001	0,001
210_211	0,00069	0,00153
211_212	0,00034	0,00076
212_188	0,15423	0,11067
212_213	1,23623	1,02332

213_214	0,15376	0,1102
214_215	0,1533	0,10973
215_216	0,14986	0,03835
216_217	0,15284	0,10928
217_218	0,15239	0,10883
218_219	0,15195	0,10839
21a_22a	0,15152	0,10796
21a_23a	0,15109	0,10753
23a_24a	0,15067	0,10711
24a_27a	0,15026	0,03875
25a_24a	0,00827	0,00817
26a_25a	0,05969	0,0513
27a_28a	0,06287	0,05404
28a_29a	0,00021	0,00013
29_32	0,08909	0,07879
29a_45a	0,05025	0,04444
30a_29a	0,00023	0,00014
30a_31a	0,00023	0,00014
31a_32a	0,59605	0,44926
32_33	0,00002	0,00002
32a_33a	0,00015	0,00009
33_33A	0,00021	0,00017
33_34	0,00269	0,00214
33a_34	0,02222	0,01674
34_35	0,0381	0,03368
34a_35a	0,00127	0,00125
35_36	0,16379	0,06803
35a_172	0,10166	0,08985
36_37	0,16341	0,06765
36_40	0,10135	0,08954
36a_35a	0,25761	0,13103
37_38	6,66853	5,30449
37_39	0,50642	0,318

37a_36a	0,04194	0,04148
39_41	0,18614	0,14586
39a_37a	0,01594	0,01578
3_5	0,70029	0,47424
40a_39a	0,05384	0,04219
41_42	1,09334	0,80427
41_45	0,28922	0,25877
41a_40a	0,001	0,00003
42_43	0,17949	0,16059
42a_41a	1,02154	1,0121
43a_42a	4,22086	3,61691
44a_26a	0,17128	0,15325
44a_43a	1,02277	1,01334
45_46	0,1677	0,15004
45_48	0,26668	0,2386
45a_46a	0,06998	0,06189
47_49	0,13232	0,11839
48a_50a	0,02436	0,02415
48a_95	4,8825	4,22842
4_3	0,00001	0,00001
4a_6a	0,001	0,001
50_49	0,16168	0,14091
51_50	112,7465	84,36861
51_52	0,68568	0,54824
51a_48a	0,04937	0,03265
52a_51a	0,00399	0,00394
52a_53a	4,08395	3,30559
53_183	0,29873	0,29661
53a_54a	0,06328	0,06283
54_53	33,70695	23,84189
54a_55a	1,25739	0,88942
55_54	1,27133	0,9333
55a_56	0,00708	0,0055

56_57a	1,11431	0,81803
56a_28	0,00696	0,00538
56a_57	1,06902	0,78479
57_55	0,00686	0,00528
57a_136	5,24056	3,18569
57a_58a	0,15935	0,09688
57a_59a	0,0446	0,04403
58_24	0,00018	0,00014
58_56a	0,00676	0,00518
59_58	0,07054	0,0337
59_60	0,00072	0,00071
59a_60a	0,02859	0,02185
59a_61a	0,01125	0,01111
5_6	0,08554	0,07886
60_61	0,15815	0,14847
61_62	0,1577	0,14802
61a_62a	0,01098	0,01085
61a_73a	0,55582	0,40854
62_63	0,00265	0,00885
62a_63a	0,15725	0,14758
63_64	0,15682	0,14714
63a_64a	0,05764	0,01895
64_65	0,25648	0,25324
64a_126	0,15639	0,14671
65_66	0,0023	0,00076
65a_64a	0,15597	0,14629
66_67	0,01845	0,0013
66a_65a	0,0062	0,00581
67_68	0,32474	0,13348
67a_66a	0,15554	0,14586
68_69	0,188	0,10938
68a_67a	0,15513	0,14546
69_70	0,00792	0,00461

69a_68a	0,15473	0,14506
6_7	0,00738	0,00429
70_71	0,15434	0,14467
70a_69a	0,00764	0,00444
71_72	0,15396	0,14429
71a_70a	0,00753	0,00438
72_73	0,00266	0,00887
72a_147	0,15358	0,14391
72a_71a	0,00753	0,00437
73_74	0,15321	0,14354
73a_74a	0,00732	0,00425
74_75	0,15285	0,14318
74a_75a	0,72427	0,31143
75_76	0,00758	0,00441
75_85a	0,1525	0,0584
75a_76a	0,25704	0,25381
75a_77a	0,15215	0,05805
76_77	0,25761	0,25438
76_84a	0,35658	0,19988
77_78	0,04342	0,04295
77a_78a	0,00078	0,00077
77a_80a	0,23081	0,22792
78_79	0,64671	0,42662
78a_79a	0,04331	0,04288
79_80	0,64588	0,42579
79_85	0,0482	0,0476
7_29	0,06852	0,06766
7a_6a	0,64506	0,42497
80_184	0,00393	0,00388
80a_81a	1,19676	0,98346
80a_82a	0,08533	0,11619
84_184	0,44387	0,31946
84_50	0,07378	0,07286

85_49	1,19558	0,98229
86_84	0,02471	0,0244
87_86	0,01112	0,01098
87_89	3,52657	2,48003
8a_7a	6,90498	5,86562
93_89	0,08571	0,11657
93_94	0,74481	0,58606
94_95	0,85642	0,67388
98_209	0,73465	0,57806
98_99	0,00237	0,00234
99_100	2,21835	1,76465
99_101	1,07487	0,85942
<b>Total</b>	<b>228,2585</b>	<b>172,0511</b>

Fonte: Autor

## ANEXO 2

Código usado para plotagem e verificação da variação de potência de entrada do sistema de distribuição da UFPB.

```
int numerodetransformadores;
int i,iaux;
int j;
int sweep;
int i_err;
int cont;
int tempo;
int Balanced, inotopo;
int year, leap_year;
int originalStudyTime, studyTime;

double max_hours;
double stop_hoy;
double TotLossLast;
double TotGenLast;
double TotInTermLast;
double TotLoadLast;

string sStudyTime;
string sUnit;

object com;
object tset;
object SumGrid;
object oTr2;
object oLne;
object oSym;
object oLod;
```

```
object oTypTr2;
```

```
set sTr2;
```

```
set sLne;
```

```
set sSym;
```

```
set sTypTr2;
```

```
set sLod;
```

```
ClearOutput(); !Limpa a Saída
```

SumGrid = SummaryGrid();!Retorna o resumo da rede, no estudo de casoativo no momento.

```
if (SumGrid=NULL){printf('No Summary Grid found.');
```

com = GetCaseObject('ComLdf'); !Retorna o primeiro objeto encontrado da classe " ClassName " a partir do estudo de caso ativo no momento.

```
if (com=NULL) { printf('No loadflow command available'); exit(); }
```

```
sTr2=AllRelevant('*.ElmTr2');
```

```
sTr2.SortToVar(0,'loc_name');
```

```
numerodetransformadores=sTr2.Count();
```

```
sSym=AllRelevant('*.ElmSym');
```

```
sSym.SortToVar(0,'loc_name');
```

```
sLne=AllRelevant('*.ElmLne');
```

```
sLne.SortToVar(0,'loc_name');
```

```
sLod=AllRelevant('*.ElmLod');
```

```
sLod.SortToVar(0,'loc_name');
```

```
oLod=sLod.First();
```

```
sTypTr2=AllRelevant('*.TypTr2');
```

```
sTypTr2.SortToVar(0,'loc_name');
```

```
oTypTr2=sTypTr2.First();
```

```
oTr2=sTr2.First();
```

```
oLne=sLne.First();
```

```
inotopo = com:iopt_notopo;
```

```
if (com:iopt_net=0)
```

```
{
```

```
    Balanced = 1;
```

```
}
```

```
else
```

```
{
```

```
    Balanced = 0;
```

```
}
```

```
! Pega o Tempo do Estudo de caso
```

```
tset = GetCaseObject('SetTime');
```

```
if (tset=NULL){Error('No time settings available');exit();}
```

```
Iaux.Init(1);
```

```
! Save original values of Study Time:
```

```
originalStudyTime = tset:datetime;      ! time given as seconds since
```

```
01.01.1970 00:00:00
```

```
!Object for the routin "CreatePlotRes"
```

```
CreatePlotRes:ResObj = Results;
```

```
CreatePlotRes:XvarObj = this;
```

```
CreatePlotRes:Xvar = 'b:time';
```

```
if (start >= stop)
```

```
{
```

```
    Warn('Start time is later than stop time! Execution of time sweep not  
possible!');
```

```

    exit();
}

year = tset:year;          ! get year of study time (SetTime)
leap_year = tset:isleapyear;
if (leap_year) {max_hours = 8784; } ! leap year => 8784 hours
else { max_hours = 8760;      } ! no leap year => 8784 hours

hour_of_year = start;     ! "hour_of_year" is taken to change SetTime
stop_hoy = stop;
time = start;             ! "time" is taken for result diagrams, "time" can
continue over the end of a year
tset:min = 0.0;
tset:sec = 0.0;
i = 1;
sweep = 1;
for(oTr2=sTr2.First(); oTr2; oTr2=sTr2.Next()) {
oTr2:nntap=0;
printf("Trafo %s , tap = %.2f",oTr2:loc_name,oTr2:nntap);
}

while (sweep)
{
Iaux.Set(1,i);
if (time > stop) { sweep = 0;} !time = stop; !hour_of_year = stop_hoy;

! Check if end of the year is reached:
while (hour_of_year >= max_hours)
{
tset:year = year + 1;          ! increase year of study case by 1
hour_of_year = hour_of_year - (max_hours); ! subtract hours of a year
stop_hoy = stop_hoy - (max_hours);      ! subtract hours of a year
tset.SetTime(hour_of_year);          ! set hour of year to start of year
}
}

```

```

    leap_year = tset:isleapyear;           ! Is current year a leap year?
    if (leap_year)
    {
        ! Set max. hours of current year
        max_hours = 8784;
    }
    else
    {
        max_hours = 8760;
    }
}

tset.SetTime(hour_of_year);

if (i=0)
{
    com:iopt_notopo = 0;
    studyTime = tset:datetime;
    sStudyTime = FormatDateLT('%Y-%m-%d, %H:%M:%S',
studyTime);
    printf('Start Time Sweep at %s...', sStudyTime);
}
else {com:iopt_notopo = 1;}

i_err = com.Execute();!Executa Cálculo do Fluxo
com:iopt_notopo = inotopo;
if (i_err)
{Error('Loadflow execution not successful');exit();}
printf('i = %d time = %f hour_of_year = %f',i,time,hour_of_year);

TotGen = SumGrid:c:GenP;
TotLoad = SumGrid:c:LoadP + SumGrid:c:MotP;

```

```

TotInTerm = SumGrid:c:NetP;
TotLoss = SumGrid:c:LossP;
if (i>0 .and. sweep=1)
{
! numerical Integration
TotEnLoss += step/2*(TotLossLast + TotLoss);
TotEnGen += step/2*(TotGenLast + TotGen);
TotEnInTerm += step/2*(TotInTermLast + TotInTerm);
TotEnLoad += step/2*(TotLoadLast + TotLoad);
}

TotLossLast = TotLoss;
TotGenLast = TotGen;
TotInTermLast = TotInTerm;
TotLoadLast = TotLoad;

Results.WriteDraw();

i += 1;! set new time
time = start + i*step;! increase time based on start
hour_of_year = hour_of_year + step; ! increase based on last hour
of the year

}
sUnit = SumGrid.unm('c:GenP');
sUnit = sprintf('%sh',sUnit);

studyTime = tset:datetime;
sStudyTime = FormatDateLT('%Y-%m-%d, %H:%M:%S', studyTime);
printf('Stop Time Sweep at %s.', sStudyTime);

printf("");
printf('Summary:');

```

```
printf('Total External InTerm = %9.3f %s', TotEnInTerm,sUnit);  
printf('Total Generation    = %9.3f %s', TotEnGen,sUnit);  
printf('Total Load          = %9.3f %s', TotEnLoad,sUnit);  
printf('Total Losses        = %9.3f %s', TotEnLoss,sUnit);
```

tset.SetTimeUTC(originalStudyTime);! Set Study Time to original values:

```
EchoOn();
```

```
)
```

## ANEXO 3

Figura 21: Informações gerais da EngSol



**ENG SOL**  
ENERGIA SOLAR

---

CNPJ: 26.993.383/0001-30  
Rua Horácio Nóbrega, 842 (Andar Térreo)  
Belo Horizonte, Patos- PB  
(83)4141-1395  
contato@engsolenergiasolar.com.br

---

**Ciente**  
Rodolfo Patrício Alves Vieira

**Contato:**  
Rodolfo Patrício Alves Vieira

Telefone: 83 9 8863-9194  
e-mail: rodolfo.vieira@cear.ufpb.br

---

**Orçamento**  
Gerador Fotovoltaico 74,5 kWp



Fonte: EngSol