

Planejamento de Redução de Custos Para Energia Elétrica Por Meio de Uma Análise Multicritério de Eficiência Energética: Um Estudo de Caso Para Um Centro Universitário

Elder Alves de Sousa Junior (UNI7) - elderasj@gmail.com

JOÃO CORDEIRO DOS SANTOS NETO (UNI7) - joaocordeirosn@outlook.com

Luan Ney de Carvalho Oliveira (UNI7) - luan.201020@hotmail.com

Lucas Beserra de Sena (UNI7) - lucasbeserradesena@gmail.com

João Paulo Mathias de Matos (UNI7) - mathiasjoapaulo@gmail.com

Gleidson nilson pereira franco (Uni7) - gleidson_nilson@yahoo.com.br

Francisco Jeandson Rodrigues da Silva (UFC) - jeandson@dee.ufc.br

Douglas Aurélio Carvalho Costa (IFCE - Campus Cedro) - douglas.aurelio84@gmail.com

Fábio Luiz Monteiro de Carvalho Filho (Instituição - a informar) - fabluz14@gmail.com

PAULO C. M. CARVALHO (UFC) - carvalho@dee.ufc.br

Resumo:

A análise da conta de energia elétrica, em muitas situações, é deixada de lado por muitos consumidores que adotam modalidades estruturais tarifárias incorretas, causando contas de energia elétrica com preço mais alto do que deveria. A análise multicritério facilita a redução de custos, ao analisar a conta de energia elétrica se obtém vários campos de trabalho relacionados à eficiência energética, resultando em valores de redução na fatura referida que em alguns casos pode ter desconto de até 100% do valor total, libertando o consumidor de lidar com contas de energia elétrica. Dentro desses critérios, está sendo verificado a validade de ter um status de presumir, em que o consumidor produz eletricidade através de um sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica da concessionária e, assim, reduz sua conta de luz, mantendo esse sistema com um retorno do investimento em cinco anos. Este estudo mostra esta metodologia de análise de eficiência energética aplicada em um Centro Universitário, mostrando que é possível reduzir em 63,72% as despesas anuais na conta de energia elétrica.

Palavras-chave: *Eficiência Energética, Conta de Energia, Análise de Multicritério*

Área temática: *Conversão Fotovoltaica*

Subárea temática: *Aspectos técnicos de sistemas fotovoltaicos instalados*

PLANEJAMENTO DE REDUÇÃO DE CUSTOS PARA ENERGIA ELÉTRICA POR MEIO DE UMA ANÁLISE MULTICRITÉRIO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA: UM ESTUDO DE CASO PARA UM CENTRO UNIVERSITÁRIO

Elder Alves de Sousa Junior – elderasj@gmail.com

João Cordeiro Santos Neto – joacordeirosn@outlook.com

Luan Ney de Carvalho Oliveira - luan.201020@hotmail.com

Lucas Beserra de Sena - lucasbeserradesena@gmail.com

João Paulo Mathias Matos - mathiasjoapaulo@gmail.com

Fábio Luiz Monteiro de Carvalho Filho - fabluz14@gmail.com

Gleidson Nilson Pereira Franco - gleidson_nilson@yahoo.com.br

Centro Universitário 7 de Setembro, Departamento de Engenharia Elétrica

Francisco Jeandson Rodrigues da Silva – jeandson@dee.ufc.br

Centro Universitário UniFanor Wyden, Departamento de Engenharia Elétrica

Douglas Aurélio Carvalho Costa – douglas.aurelio84@gmail.com

Instituto Federal de Educação, Ciências e Tecnologia do Ceará, Campus Cedro

Paulo Cesar Marques de Carvalho – carvalho@dee.ufc.br

Universidade Federal do Ceará, Departamento de Engenharia Elétrica

Resumo. A análise da conta de energia elétrica, em muitas situações, é deixada de lado por muitos consumidores que adotam modalidades estruturais tarifárias incorretas e outros fatores, causando contas de energia elétrica com valores elevados. A análise de multicritério facilita a redução de custos da conta de energia elétrica do consumidor, que a partir desta se obtém vários campos de trabalho relacionados à eficiência energética, buscando redução na fatura referida, podendo ter desconto de até 100% do valor total, libertando o consumidor de lidar com contas de energia elétrica. Os critérios abordados neste artigo são a demonstração correta para a escolha da bandeira tarifária, o uso correto de banco de capacitores para ajuste do fator de potência e a implementação de um sistema fotovoltaico “on grid”. Este estudo mostra a metodologia de análise de eficiência energética aplicada em um Centro Universitário, mostrando que é possível reduzir em 63,72% as despesas anuais na conta de energia elétrica.

Palavras-chave: Eficiência Energética, Conta de Energia, Análise de Multicritério

1. INTRODUÇÃO

Eficiência energética em uma instalação compreende a análise do consumo de energia elétrica, visando melhorar o uso das fontes de energia elétrica convencionais, atrelando-se ao seu uso racional em busca de realizar um mesmo trabalho com uma menor demanda de energia elétrica. Tem como objetivo a redução de custos com a eletricidade, pode ser aplicada em conjunto com novas tecnologias, equipamentos e com o aproveitamento dos recursos naturais.

O Brasil possui uma grande diversidade de recursos naturais renováveis para geração de energia elétrica, em que representam (80,4%) da oferta interna de eletricidade no Brasil, cujo valor é a soma resultante da fonte hídrica, com destaque para o valor de 65,2% da oferta interna, seguida pela biomassa 8,2%, eólica 6,8% e solar 0,13%. Os outros valores que englobam a oferta interna são os não renováveis que são o gás natural com 10,5%, carvão e derivados 4,1%, derivados de petróleo 2,5% e nuclear 2,5%, de acordo com a EPE (Empresa de Pesquisa Energética) (EPEa, 2018)

Com o desenvolvimento da tecnologia em um país há uma tendência de se aumentar o consumo de energia elétrica. Observa-se no levantamento realizado por (EPEb, 2018) que o Brasil no ano de 1995 possuía um consumo de energia elétrica de 243 MWh, nos anos 2000 aumentou para 307 MWh, em 2010 para 415 MWh e em 2018 chegou a 472 MWh, de 1995 até o ano de 2018 a evolução foi de 194,2% no consumo de energia elétrica. Devido a isto uma matriz de energia elétrica centralizada e não diversificada pode se tornar desvantajosa, assim como a matriz brasileira, que tem forte base na fonte hídrica, que em períodos de escassez de chuvas os reservatórios de água ficam em níveis baixos, forçando as termelétricas serem acionadas mais frequentemente, causando um aumento na tarifa de energia elétrica.

A descentralização e a diversificação da matriz de eletricidade brasileira podem ser feitas através das fontes renováveis. Em 2012, no Brasil, entrou em vigor a Resolução Normativa nº 482/2012 (REN 482/2012), que visa estabelecer as condições para a micro e minigeração distribuída acessem os sistemas de distribuição no intuito da troca de energia elétrica com a concessionária local através de um sistema de compensação de energia elétrica (ANEEL, 2012).

Em 2015 a REN 482/2012 foi revisada pela REN 687/2015 e como resultados foram obtidos pontos de melhoria, como por exemplo, o aumento da faixa de potência da minigeração que era entre 75 kW até 3 MW e passou a ser de 75 kW até 5 MW. Outras melhorias foram: as condições de compensação de energia, inclusão da geração compartilhada, facilitação na geração de créditos para a diminuição na fatura de energia dos clientes e limitação do prazo que a

distribuidora de energia elétrica possui para conexão da GD à rede da de Distribuição (ANEEL, 2012; ANEEL, 2015)

A tecnologia de geração fotovoltaica (FV) é a mais utilizada como GD em centros urbanos, sendo uma boa solução para a descentralização, pois além das usinas FV possuem baixo impacto ao meio ambiente, também possuem grandes vantagens econômicas, por isto seu crescimento na matriz de energia elétrica vem ganhando cada vez mais espaço diante do seu desenvolvimento tecnológico e na queda do preço de seus módulos fotovoltaicos que representam 38% do valor do kWp instalado (EPE¹, 2018; IDEAL, 2018, VIEIRA, SILVA, MACHADO, CORREIA, VITORIANO, OLIVEIRA, FRANKLIN, MENEZES, APOLINÁRIO, NASCIMENTO, CARVALHO, 2018).

Com a metodologia BIM (*Building Information Modeling*) a implantação do sistema FV é facilitada, pois a metodologia agrega informações necessárias ao projeto e instalação dos sistemas FV, assim, melhorando a análise de posicionamento, do sombreamento e do dimensionamento do sistema FV.

O aumento da competitividade entre empresas está diretamente relacionado com a necessidade de fornecer produtos de maior qualidade, de forma mais eficiente e com custos reduzidos. No que se refere à eficiência energética e sustentabilidade, dentro do contexto nacional de geração de energia elétrica e sua precificação ao consumidor final, sejam ele residencial, instituições públicas ou privadas, tornam-se cada vez mais importantes os esforços em análises e estudos visando a redução de gastos (VGM, 2016).

Segundo (OLIVEIRA, MARQUES, JUNIOR, LINARD, ALMEIDA, 2012), imagina-se que as medidas adotadas em busca da eficiência energética necessitam de alto investimento, porém a análise do histórico de tarifas mensais juntamente com o histórico de consumo pode ser considerada como uma medida de baixo custo que, em certos casos, pode reduzir consideravelmente os custos com energia elétrica.

A análise de multicritério tem por objetivo obter várias possibilidades na instalação de equipamentos e metodologias destinados a eficiência energética com o intuito na redução dos custos com energia elétrica, já visualizando os custos na instalação e entregando o tempo de retorno de investimento como no caso para os sistemas FV. Com todos os dados obtidos o consumidor checa quais opções são possíveis para ser realizado em suas instalações elétricas.

Dessa forma o objetivo deste trabalho é fazer um planejamento energético para um Centro Universitário, localizado na cidade de Fortaleza, Ceará, com base em uma análise multicritério feita a partir da conta de energia elétrica, com foco nas questões tarifárias, com perfil de consumidor do Grupo A, visando a melhor adequação da tarifa, instalação de um banco de capacitores (BC) para correção do fator de potência (FP) e implantação de um sistema FV utilizando a metodologia BIM, tendo em vista, uma maior eficiência da instalação. Na modelagem 3D foi utilizado o simulador SKETCHUP, para o estudo de sombreamento e posicionamento dos módulos FV, e por fim, verificou-se, a viabilidade econômica e o tempo de retorno do investimento (TRI).

Este artigo é formado por seis tópicos. No tópico II são apresentadas as tarifas, dimensionamento do banco de capacitor, dimensionamento FV e a metodologia BIM. No tópico III é discutido a metodologia proposta para a análise de multicritério. No tópico IV é apresentado o estudo de caso. Nos tópicos V e VI são mostrados, respectivamente, os resultados obtidos e a conclusão.

2. ASPECTOS TEÓRICOS APLICADOS NO ESTUDO

Para o planejamento da redução de custos de energia elétrica e a manutenção de sua eficiência energética, alguns termos e conceitos devem ser compreendidos, este tópico se divide em quatro itens. Na seção 2.1 é explicado as tarifas do Grupo A e à que tipos de consumidores ela é aplicada, já na seção 2.2 é discutido o dimensionamento de BC e o cálculo para a correção do FP, para a seção 2.3 é apresentado o dimensionamento FV e a potência gerada para a GD e na seção 2.4 é explicado a metodologia BIM e seus benefícios na implementação de um sistema FV.

2.1 Modalidade tarifaria

A compreensão de como é feita a cobrança do consumo de energia elétrica e dos valores apresentados nas faturas emitidas mensalmente pelas distribuidoras de energia elétrica, é fundamental para a tomada de decisão em relação a projetos de eficiência energética, através da análise das informações de consumo (kWh), demanda (kW), do FP e fator de Carga (FC), contida nas faturas de energia elétrica (PORTAL SOLARc, 2018).

Os consumidores com fornecimento em média tensão (MT) e alta tensão (AT), tensão acima de 2,3 kV, ou atendidos por sistemas subterrâneos são classificados no grupo A. O Grupo A é subdividido de acordo com o nível de tensão de atendimento (ANEEL, 2010), como descrito a seguir:

- Subgrupo A1 – para o nível de tensão de 230 kV ou mais;
- Subgrupo A2 – para o nível de tensão de 88 a 138 kV;
- Subgrupo A3 – para o nível de tensão de 69 kV;
- Subgrupo A3a – para o nível de tensão de 30 a 44 kV;
- Subgrupo A4 – para o nível de tensão de 2,3 a 25 kV;
- Subgrupo AS – para o nível de tensão inferior a 2,3 kV, a partir de sistema subterrâneo de distribuição.

Entende-se como estrutura tarifária como sendo o conjunto de tarifas aplicáveis aos consumos de energia elétrica e da demanda de potência ativa, de acordo com a modalidade de fornecimento. As tarifas do Grupo A são constituídas em

três modalidades de fornecimento, modalidade tarifária convencional (MTC), modalidade tarifária horária verde (MTHV) e modalidade tarifária horária azul (MTHA) [9, 15].

Para a MTC exige-se o contrato específico com a concessionária, no qual determina um único valor de demanda pretendida pelo consumidor, independentemente da hora do dia, hora ponta (HP) ou fora de ponta (HFP) ou período do ano, podendo aderir a MTC os subgrupos A3a, A4 ou A5, desde que a demanda contratada seja inferior a 300 kW (ANEEL, 2010). Para a MTHV somente é possível para as unidades consumidoras do Grupo A, subgrupos A3a, A4 e A5, esta modalidade exige um contrato específico com a concessionária, no qual se determina a demanda pretendida pelo consumidor demanda contratada, independentemente da hora do dia, HP ou HFP, a fatura de energia elétrica desses consumidores é composta das somas referentes ao consumo HP e HFP, demanda e ultrapassagem (ANEEL, 2010).

Já na MTHA se enquadra aos consumidores dos grupos A1, A2 ou A3, sendo para estes obrigatórios o uso da MTHA e para os grupos A3a, A4 e A5, pode ser utilizado a MTHA ou a MTHV (ANEEL, 2010). Nesta modalidade se pactua tanto o valor da demanda pretendida pelo consumidor no HP quanto o valor da demanda pretendida pelo consumidor no HFP, a fatura de energia elétrica desses consumidores é composta pela soma de parcelas referentes ao consumo e demanda e, caso exista, ultrapassagem.

2.2 Dimensionamento de banco de capacitor

Devido aos custos com energia elétrica é de interesse conhecer práticas múltiplas de eficiência para sua redução, a prática de correção de FP em indústrias ou grandes centros comerciais vem aumentando devido às tarifas que a distribuidora aplica a consumidores que estão com fatores de potência abaixo do que o estabelecido pela Resolução Normativa N° 569 (REN 569/2013) (MAMEDE, 2010; ANEEL, 2013).

Para o funcionamento satisfatório em máquinas elétricas é necessário que se tenha energias ativa e reativa agindo combinadamente. A energia reativa é responsável pela geração dos campos magnéticos e elétricos em bobinas de equipamentos. A energia ativa é caracterizada como aquela que executa as tarefas, produzindo torques, a ação e o efeito da máquina elétrica executar tal atividade (VIEIRA, 1989).

A energia reativa é essencial no processo de geração de energia para o pleno funcionamento das máquinas elétricas, porém sua utilização deve ser a mínima possível, pois quanto maior esta parcela de energia circulando na rede, maior será a energia aparente circulando no sistema, conseqüentemente, causando uma maior corrente nas seções dos condutores, ocasionando maiores perdas no sistema, além de ser necessária maiores seções dos condutores e uma estrutura de proteção à rede elétrica mais robusta, ocasionando custos e ineficiência do sistema elétrico.

Existem várias formas de reduzir as perdas de energia elétrica em consumidores, umas das mais praticadas e de fácil aplicação é a utilização de BC. Os bancos de capacitores são instalados com o objetivo de corrigir o FP da rede elétrica, ocasionando diminuição nas perdas de energia elétrica por distribuição, aumentando assim a vida útil dos equipamentos.

O FP é corrigido através de um componente denominado capacitor, sendo este capaz de acumular energia elétrica. É constituído por módulos condutores e isolados, que quando conectadas a uma fonte de tensão, produzem uma corrente elétrica que compensa a defasagem criada por cargas indutivas (MAMEDE, 2010).

2.3 Dimensionamento fotovoltaico

A geração FV tem ganhado destaque no mercado devido ao aumento da procura por parte das empresas pela utilização da GD por atribuição de fontes alternativas renováveis e com a diminuição do custo dos módulos FV.

Se comparado a outras fontes geradoras de energia elétrica a eficiência de conversão da energia FV é muito baixa. A potência dos terminais de saída de um módulo FV sofre influências da temperatura e da intensidade da irradiação, como estes fatores não são sempre favoráveis, então um mecanismo de controle que procure o máximo de potência que está disponível é necessário (FRANLIN, CERQUEIRA, SANTANA, 2014).

Para o correto dimensionamento FV é necessário que o cliente requisitante do serviço forneça sua conta de energia elétrica com um histórico de consumo de no mínimo 12 meses, para que seja realizada uma análise precisa a fim de determinar a quantidade de energia elétrica que deverá ser gerada (PORTAL SOLARa, 2017).

A escolha do tipo dos módulos FV influencia diretamente no dimensionamento FV, pois devido a certos fatores como a eficiência de conversão, a área total ocupada pelo módulo FV e potência nominal, determina-se a quantidade de módulos FV a serem utilizadas de acordo com o consumo de energia elétrica do cliente, podendo o sistema FV ter um custo razoável ou elevado devido ao número de módulos FV encontradas, isto é, dependendo do projeto, *layout* e dimensionamento do sistema FV (PORTAL SOLARb, 2018).

As células FV possuem diversas tecnologias, podendo-se destacar dentre estes grupos duas tecnologias: o silício cristalino e filmes finos. Os módulos FV de silício cristalino (c-Si) é a tecnologia mais consolidada no mercado e possui a melhor eficiência comercialmente disponível. Já os módulos FV de filme fino se apresentam de forma moderada no mercado, devido a dificuldades em termos de disponibilidade de materiais, vida útil e rendimento das células, porém com um ótimo potencial para o seu desenvolvimento (PORTAL SOLARb, 2018).

A irradiação solar é um dado importante, pois com este parâmetro é possível estimar quanto um módulo FV pode

gerar em kWh de acordo com o período do ano. Os dados de irradiação solar podem ser obtidos através de simuladores gratuitos como RETScreen4 ou em sites de meteorologia como o do América Solar (PORTAL SOLARc, 2018).

Um fato a ser observado para maximizar a captação de energia solar e, assim, maximizar a geração de eletricidade ao longo do ano é a orientação geográfica e inclinação dos módulos FV. A orientação ideal para os módulos FV no hemisfério sul é para o norte geográfico, enquanto os módulos FV no hemisfério norte é para o sul geográfico (RIBEIRO, 2015), deve ser levado em consideração a Tab. 1 (RIBEIRO, 2015).

Tabela 1 - Ângulo de inclinação recomendado para os módulos FV

Latitude Local	Ângulo de Inclinação Recomendado
0° a 10°	$\phi = 10^\circ$
11° a 20°	$\phi = \text{latitude}$
21° a 30°	$\phi = \text{latitude} + 5^\circ$
31° a 40°	$\phi = \text{latitude} + 10^\circ$
41° ou mais	$\phi = \text{latitude} + 15^\circ$

2.4 Metodologia BIM

A metodologia BIM é uma ferramenta de grande importância para o auxílio de uma obra e vem ganhando espaço em instalações de sistemas FV, pois nesta é possível reunir diversas informações sobre a estrutura, obra ou modelo trabalhado em modelos gráficos tridimensionais (3D) e integrar vários sistemas de diferentes áreas num formato organizado, diminuindo assim erros comuns, como interferências físicas entre materiais que aconteceria no processo de desenhos em modelos gráficos bidimensionais (2D) (BUILDIN, 2017).

Permite ainda o acompanhamento da obra correlacionando o modelo realizado com o que já foi construído, para que isto aconteça a metodologia BIM é dividida em três pilares: o primeiro pilar a ferramenta 3D, é a modelagem multi-informacional, que fundamenta-se no processo referente à construção tridimensional, realizando medidas métricas no ambiente trabalhado.

3 METODOLOGIA PROPOSTA

A metodologia utilizada consiste, inicialmente, na análise dos valores de faturamento da conta de energia elétrica do Centro Universitário, a fim de definir estratégias e parâmetros para reduzir os custos com o consumo de energia elétrica da instituição em questão.

Para a realização da análise do faturamento da conta de energia elétrica foram selecionadas as contas do período de março de 2018 a fevereiro de 2019. É dado enfoque nos seguintes aspectos: no FP, na demanda contratada e na modalidade tarifária. A atenção dada a esses critérios teve o objetivo de realizar a leitura e interpretação do gasto da universidade com energia elétrica ao longo desse período.

Em seguida, são elencados os parâmetros e estratégias, para análise do consumo da conta de energia elétrica: a verificação da modalidade tarifária, o estudo sobre a conexão de um sistema de geração solar FV baseado na média do consumo de energia elétrica e, por fim, um estudo referente ao FP, que tem a finalidade de verificar se está de acordo com a determinação (REN 569/2013) (MAMEDE, 2010; ANEEL, 2013), constatando-se que o FP da instituição está abaixo do valor regulamentado pela resolução, sua correção é feita através da utilização de um BC.

Os valores de potência ativa e do FP atual de um consumidor é obtido através da conta de energia elétrica e caso o FP estiver abaixo do recomendável, que é de 0,92 (MAMEDE, 2010; ANEEL, 2013), é necessário o dimensionamento de um BC, a fim de reduzir os gastos com energia reativa.

O dimensionamento Fotovoltaico é realizado a partir do consumo médio de energia elétrica do Centro Universitário, da área disponível para instalação dos módulos FV na cobertura da edificação e da irradiância solar do local.

Já na metodologia BIM primeiramente é observado quais as coordenadas geográficas que o consumidor está localizado. Com as coordenadas se verifica o tipo de ambiente em que se irá trabalhar e as interferências adversas que o modelo 3D possa encontrar. No *software* SKETCHUP, com a ferramenta geolocalização, é possível inserir o plano 2D ao qual vai se trabalhar.

A partir do plano em 2D a modelagem 3D é feita. As proporções de altura das estruturas são obtidas através de fatores de escala no *street view* pertencente ao GOOGLE. O modelo 3D feito através de outra ferramenta denominada sombra do SKETCHUP, é realizado o estudo de sombreamento em que permite analisar as áreas úteis dentro da estrutura estudada para a instalação dos módulos FV.

O conceito para a aplicação da metodologia proposta é para logo em seguir utilizar todo o processo detalhado no tópico III, para mudanças de tarifas, dimensionamento de BC, e logo depois o dimensionamento FV com o emprego da metodologia BIM, gerando como resultado final opções para o cliente diminuir os gastos com a conta de energia elétrica.

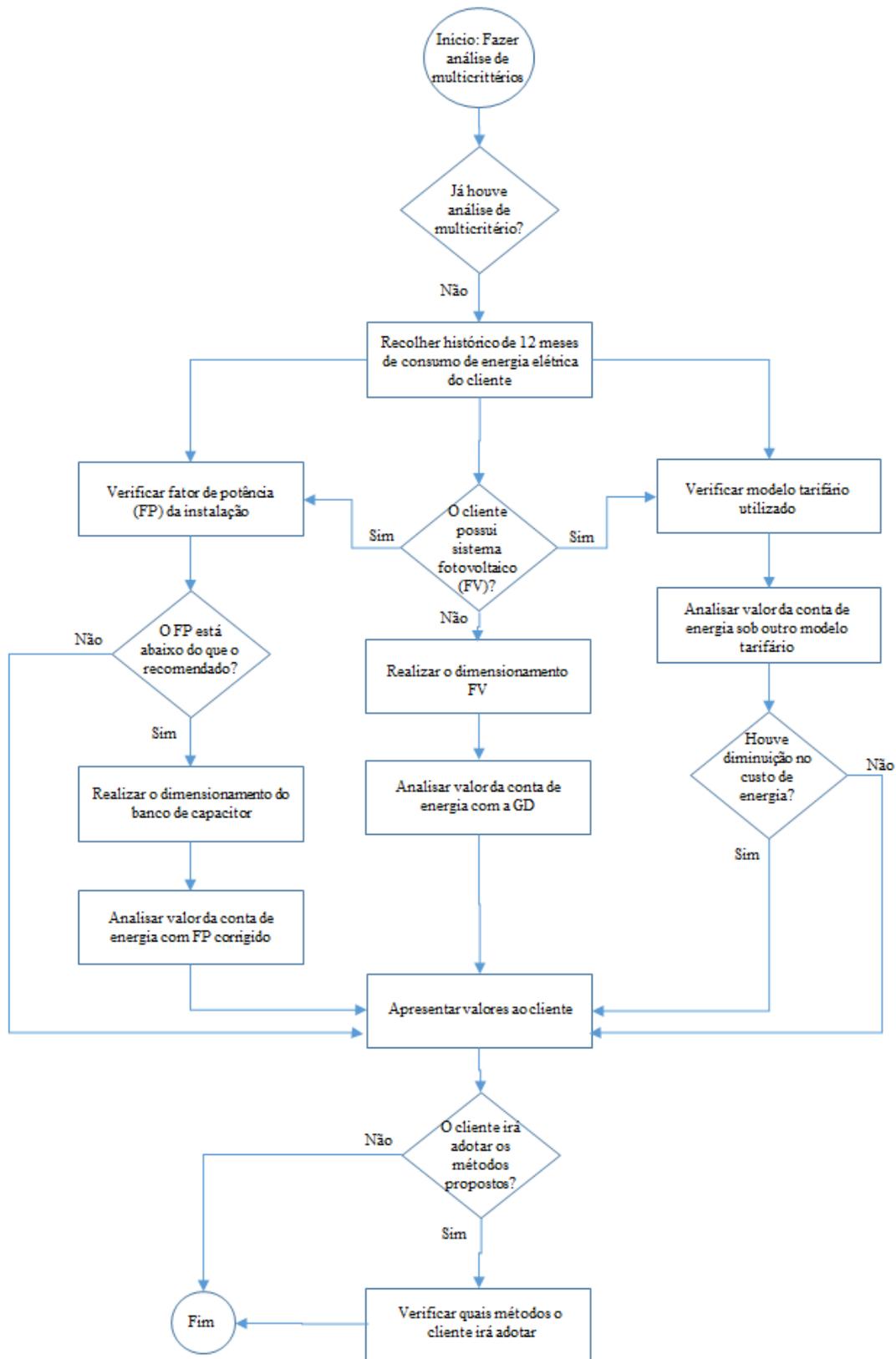


Figura 1 – Fluxograma de análise multicritério

4 ESTUDO DE CASO PARA UM CENTRO UNIVERSITÁRIO

O estudo de caso foi aplicado no Centro Universitário 7 de Setembro (UNI7), que oferta diversos cursos de graduação em bacharelado e está situada na cidade de Fortaleza, Ceará, Avenida Almirante Maximiano da Fonseca, nº 1395.

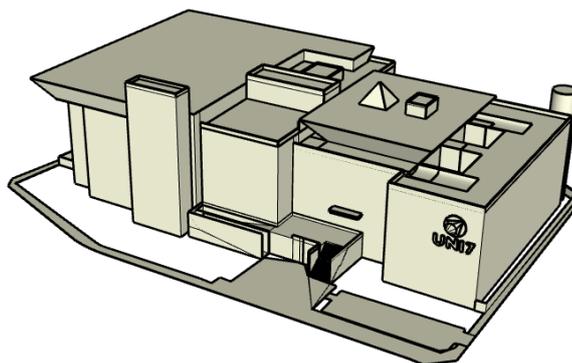


Figura 2 – Fachada do Centro Universitário

Com base no histórico de consumo e demanda de energia elétrica desta instituição, conforme mostrado na Tab. 2, em que é analisado os consumos e as demandas, contratadas e consumidas, em HP e HFP, para então aplicar um estudo de eficiência energética, observando-se as possibilidades de instalação de um BC, de um sistema FV conectado à rede de energia elétrica e de uma mudança na modalidade tarifária contratada atualmente para uma mais vantajosa e que se encaixe no perfil de consumo da instituição, cuja modalidade tarifária adotada é a MTHA.

Tabela 2 - Histórico de consumo e demanda; Simulação de Faturamento nas Condições Atuais; Simulações de Faturamento Anual nas Condições Tarifárias na Modalidade Verde no Centro Universitário Mar/2018 até Feb/2019

Período	Histórico		Histórico		Fatura de Consumo (R\$) sob a MTHA	Fatura de Demanda na Ponta (R\$) sob a MTHA	Fatura de Demanda Fora Ponta (R\$) sob a MTHA	Fatura Total (R\$) sob a MTHA	Fatura de Consumo na Ponta (R\$) sob a MTHV	Fatura de Consumo Fora Ponta (R\$) sob a MTHV	Fatura de Demanda (R\$) sob a MTHV	Fatura Total (R\$) sob a MTHV
	Consumo HP (kWh)	Consumo HFP (kWh)	Demanda HP (kW)	Demanda HFP (kW)								
Fev/19	19755	120421	609,84	591,36	60.727,32	31.079,44	12.133,95	103.940,71	34.139,21	48.374,32	12.706,12	95.219,65
Jan/19	13833	88709	537,6	498,96	44.285,21	31.079,44	12.133,95	87.498,60	23.905,22	35.635,29	12.706,12	72.246,63
Dez/18	28758	153306	631,68	591,36	79.567,22	31.079,44	12.133,95	122.780,61	49.697,56	61.584,55	12.706,12	123.988,24
Nov/18	31571	162456	594,72	579,6	85.001,86	31.079,44	12.133,95	128.215,25	54.558,79	65.260,20	12.706,12	132.525,11
Out/18	26305	143769	581,28	554,6	74.202,22	31.079,44	12.133,95	117.415,61	45.458,46	57.753,44	12.706,12	115.918,02
Set/18	28728	164088	601,44	574,56	83.879,70	31.079,44	12.133,95	127.093,09	49.645,72	65.915,79	12.706,12	128.267,63
Ago/18	21105	132672	623,28	567,84	66.492,84	31.079,44	12.133,95	109.706,23	36.472,18	53.295,67	12.706,12	102.473,97
Jul/18	15552	106578	562,8	524,16	52.538,27	31.079,44	12.133,95	95.751,66	26.875,88	42.813,45	12.706,12	82.395,45
Jun/18	32382	179767	622	608	92.462,99	31.079,44	12.133,95	135.676,38	55.960,31	72.214,20	12.706,12	140.880,63
Mai/18	30865	161805	633	612	84.298,88	31.079,44	12.133,95	127.512,27	53.338,73	64.998,69	12.706,12	131.043,54
Abr/18	25200	156008	712	675	78.427,79	40.924,48	15.685,35	135.037,62	43.548,88	62.669,97	16.731,04	122.949,89
Mar/18	28190	158416	655	648	81.264,78	31.610,30	14.087,22	126.962,30	48.715,98	63.637,29	12.923,15	125.276,43
Fatura total anual								1.417.590,32	Fatura anual total			1.373.185,19

Para o estudo de caso é considerado a MTHV como opção à MTHA que é utilizada atualmente pela instituição. Devido as informações da Tab. 2, percebe-se que o contrato de demanda é superior a 300 kW e segundo (ANEEL, 2010) a MTC para esta condição não pode se utilizar.

O objeto de estudo faz parte da MTHA, sendo pertencente ao grupo A4, com tensão contratada de 13,8 kV, possui uma demanda contratada de 644 kW para HP e 615 kW para HFP, com fator de carga fornecido pela concessionária na conta de energia elétrica de 0,50 para HP e 0,31 para HFP, tem FP medido médio de 0,90 tanto no HP e no HFP.

Para o dimensionamento do BC notou-se que o FP demonstrado na conta de energia é de 0,90. Esse FP está abaixo do recomendado pela (REN 569/2013), isto gera um custo com energia reativa de aproximadamente R\$ 906,00 por mês representando cerca de R\$ 10.872,00 no período de 12 meses.

A modelagem 3D, feita com a metodologia BIM, é mostrada na Fig. 2, sendo realizada com o *software* SKETCHUP que necessita das coordenadas geográficas para a ferramenta geolocalização, tendo o Centro Universitário 7 de Setembro latitude 3°46'15.8 para o sul e longitude 38°29'1.3 para o oeste. Com o modelo 3D posicionado nestas coordenadas se utiliza a ferramenta sombras para o estudo de sombreamento, com o objetivo de visualizar as áreas possíveis para a instalação dos painéis FV, assim como mostrado na Fig. 3 e na Fig. 4.

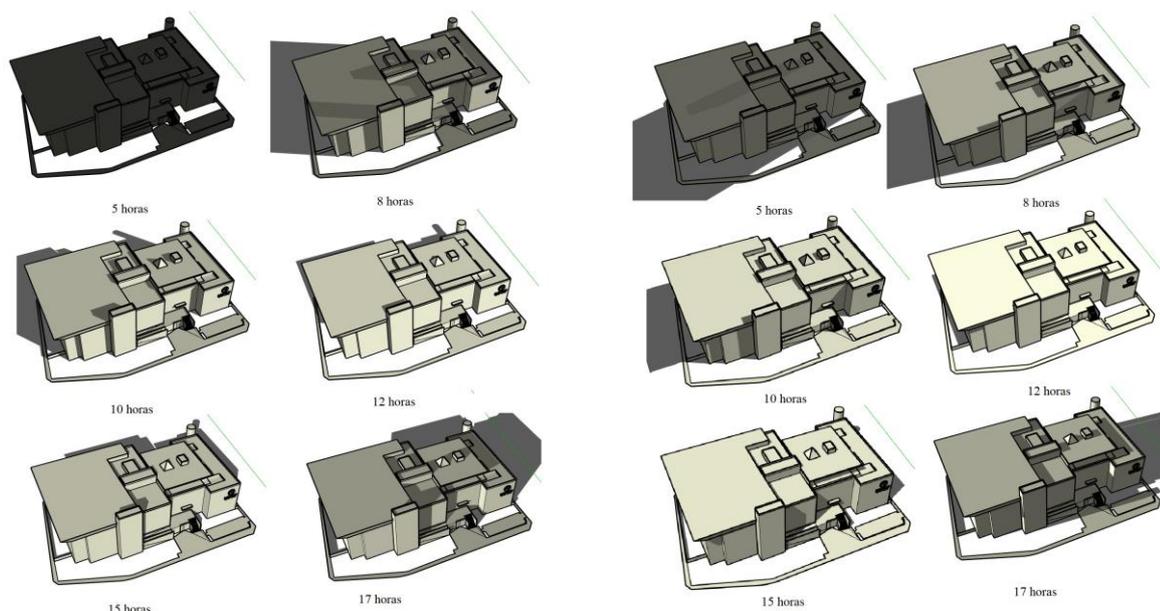


Figura 3 - Simulação do sombreamento no mês de Fevereiro Figura 4 - Simulação do sombreamento no mês de Agosto

Para a simulação e o estudo de sombreamento da edificação é feito utilizando o mês de fevereiro que representa o solstício de inverno e o mês de agosto que representa o solstício de verão nos respectivos horários de 5, 8, 10, 12, 15 e 17 horas para observar o comportamento das sombras em relação à posição do sol.

5 RESULTADOS OBTIDOS

A simulação do modelo tarifário de faturamento anual total do Centro Universitário para a MTHV é feito, a fim de se comparar com a modalidade atual, considerando-se todo o período analisado, o contrato de demanda de 644 kW, mesmo valor do contrato atual, sendo, desta forma, constatado que as simulações realizadas com a alteração da modalidade tarifária de MTHA para MTHV, com este mesmo valor de demanda, trouxe impactos significativos no valor final dos gastos com energia elétrica. Os valores projetados de faturamento para a MTHA são mostrados na Tab. 2. Na Tab. 2 é mostrado que o gasto anual da instituição com o consumo de energia elétrica durante o período de março de 2018 a fevereiro de 2019 foi de R\$ 1.417.590,32 utilizando a MTHA.

A projeção do gasto simulado, mostrados na Tab. 2, apresenta um consumo de energia elétrica durante o período de março de 2018 a fevereiro de 2019 utilizando a MTHV. O valor da despesa com o consumo de energia elétrica foi calculado em R\$ 1.373.185,19 (um milhão e trezentos e setenta e três mil e cento e oitenta e cinco reais e dezenove centavos).

Ao realizar a comparação entre os valores contidos na Tab. 2, é constatado que a fatura anual da instituição poderá apresentar uma economia anual de aproximadamente de R\$ 44.405,13 (quarenta e quatro mil e quatrocentos e cinco reais e treze centavos) com a mudança da MTHA para a MTHV. O FP é corrigido para 0,92, conforme especificado em (MAMEDE, 2010; ANEEL, 2013), e com o respectivo BC encontrado igual a 40 kVar. A Fig. 5 é representado o triângulo das potências com a finalidade de corrigir a potência reativa do sistema, mantendo a mesma demanda contratada de 644 kW. Em consequência da correção do FP ocorre a redução da potência aparente e do ângulo do FP.

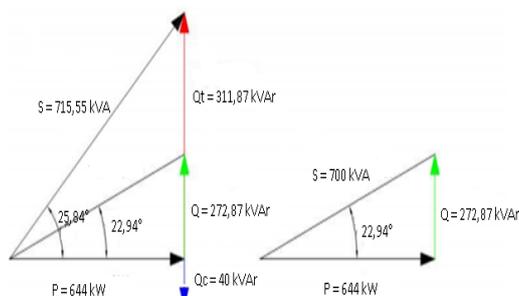


Figura 5– Triângulo das potências com a correção do reativo.

Na Tab. 3 são apresentadas as informações do FP já com a correção para 0,92 e seu respectivo BC, e seu valor financeiro, com previsão de tempo de retorno do investimento do equipamento com o objetivo de corrigir o FP. O valor do orçamento para a correção do FP é recuperável em um tempo estimado de seis meses, portanto, mostrando-se viável

a aquisição dos equipamentos para a correção do FP.

Tabela 3 -Valores do banco de capacitores e tempo estimado de retorno

FP p/ Banco Disponível no Mercado.	BC Disponível no Mercado	Valor do Banco de Capacitor Disponível no Mercado	Tempo Estimado de Retorno
0,92	40 kVAr	Startek Automação Industrial R\$ 4.000,00	5 meses
0,92	40 kVAr	WEG R\$ 2.449,41	3,5 meses

De acordo com (CRESESB, 18) a irradiação localizada próximas a mediação do Centro Universitário é de 5,62 kWh/m²/dia. Com este dado e sabendo-se que o consumo total da instituição é de 2.030.240 kWh, a potência necessária para atender 100% do consumo seria de 1.289 kWp, baseando-se na teoria de (PROCEL, 18).

A área útil disponível para instalação dos painéis FV na cobertura da edificação é calculada com ajuda do software SKETCHUP, onde é realizado um estudo de sombreamento detalhado do local. Com este estudo, obteve-se a quantidade de módulos possíveis de serem instalados no Centro Universitário, como pode ser calculado pela Equação 1.

$$Quant. de placas = \frac{\text{área útil disponível} \times Fesp}{\text{Área do módulo}} \quad (1)$$

Ao observar à modelagem 3D, a cobertura do Centro Universitário estudado observou-se algumas áreas planas que facilitam a instalação dos módulos FV, mas estas áreas estão desniveladas, assim o estudo de sombreamento faz visualizar quais são as possíveis áreas para utilização. No solstício de inverno e verão a incidência de raios solares se distribuem continuamente sem interferências, fazendo-se que o módulo FV gere energia elétrica em ótimas condições de incidência de irradiação em quase todo o dia. Nas áreas em vermelho são desconsideradas para a instalação por apresentarem sombra durante quase todo o dia e algumas possuem difícil acesso para a instalação dos módulos FV.

A área útil disponível calculada é de 7.709 m², sendo o fator de espaçamento (Fesp) utilizado foi de 0,9, pois não é utilizada 100% da área disponível, pois é necessário espaçamento para realizar futuras manutenções, limpezas e vistorias nos equipamentos alocados no telhado. A área do módulo é a área de cada módulo a ser utilizado, tendo valor de 2,209 m² (PROCEL, 18).

Logo, o número máximo de módulos FV que podem ser instaladas no telhado do Centro é de 3.140 módulos FV.

Para calcular a potência do inversor, foram seguidos os seguintes passos:

- Quantidade de módulos FV por inversor:

$$N^{\circ} de placas por inversor = \frac{Pot.do inversor}{Pot.da placa} \quad (2)$$

Os inversores utilizados foram da marca ABB com potência de 120 kW.

- Quantidade de inversores:

$$Quant. de inver. = \frac{Quant. de placas}{N^{\circ} de placas por inver.} \quad (3)$$

Foi constatado que pode ser instalados 10 inversores de 120 kW, e que cada inversor terá 314 módulos ligado ao seu circuito. Cada inversor possui 24 strings e cada uma constituirá entre 13 e 14 módulos associados em série de forma a elevar o nível de tensão de saída aos valores mínimos exigidos pelo inversor de frequência. Esse número de módulos FV é dimensionado de acordo os dados técnicos registrados pelo manual do fabricante do inversor (BARRETO, 2017; LEITE, VIEIRA, SILVA, FORTES, DIAS, 2018).

Mesmo não atendendo 100% do consumo da instituição, percebe-se através da Tab. 4 que a instituição terá uma boa economia caso opte por instalar o sistema FV, com o tempo de retorno do investimento de aproximadamente 5 anos em um período de vida útil de 25 anos do projeto.

Na Tabela 5 são observados todos os métodos propostos para a análise de multicritério, com seus valores em reais e na contribuição em porcentagem para diminuição da conta de energia anual. Sendo mostrado que a mudança da MTHVA para a MTHV ajuda na economia de R\$ 44.405,13, que equivale a 3,13% da conta de energia anual total. A instalação de BC causaria uma redução de R\$ 10.872,00, equivalendo a 0,77% da conta anual de eletricidade da instituição e, por fim, a instalação de um sistema de GD FV reduz a despesa com eletricidade anual em R\$ 847.996,76, equivalendo a 59,82% da conta anual de eletricidade. Portanto, a redução total com os critérios analisados é de R\$ 903.273,89, equivalendo a um total de 63,72% dos gastos com eletricidade.

Tabela 4 - Resultado esperado do *payback* no período de 25 anos do projeto FV

Economia Total no Período	R\$	67.420.910,47
Economia Mensal	R\$	70.666,23
Conta ENEL Atual	R\$	87.619,46
Previsão Conta Enel	R\$	16.953,23
Tempo de Retorno Aproximado		5 anos

Tabela 5 - Valores da Redução da Conta de Energia Utilizando Multicritério

Critério	Redução Anual na Conta de Energia Elétrica (R\$)	Porcentagem no Valor da Conta de Energia Anual (%)
Mudança da MTHVA para a MTHV	44.405,13	3,13
Banco de Capacitores	10.872,00	0,77
Geração Distribuída FV	847.996,76	59,82
Aplicado Todos os Critérios	903.273,89	63,72

6 CONCLUSÃO

Nos dias atuais não há uma prática comum em se analisar a conta de energia elétrica por múltiplos critérios a fim de se ter uma eficiência energética.

A análise de multicritério proposta mostra-se uma maneira eficiente de se analisar o uso adequado de energia elétrica e reduzir a conta de energia elétrica. Para o estudo de caso foram realizados três estudos para verificar qual a melhor maneira de diminuir os custos de energia elétrica, os estudos foram: mudança de taxa tarifária, implantação de BC e implantação de módulos FV aplicando a metodologia BIM.

A atual modalidade da taxa tarifária do Centro Universitário em estudo é MTHA, sendo observado que é possível fazer a mudança para MTHV e diminuindo, assim, R\$ 44.405,13, que é equivalente à 3,13%, do consumo anual da UNI7.

Além da análise da taxa tarifária, também foi feito um estudo para correção do FP. Com a correção do FP a economia observada foi de R\$ 10.872,00 (dez mil e oitocentos e setenta e dois reais) no qual equivale a 0,77% do consumo anual do Centro Universitário, tendo este sistema de BC um valor em torno de R\$ 4.000,00 e um tempo de retorno do investimento de aproximadamente 5 meses.

Já o estudo feito para o dimensionamento FV foi realizado a partir da média do consumo anual de energia elétrica e da área útil no terraço, cujo resultado possibilita a implantação de 3.140 módulos FV e uma economia na conta de energia de R\$ 847.994,76 (oitocentos e quarenta e sete mil e novecentos e noventa e quatro reais e setenta e seis centavos), equivalente à 59,82% do consumo anual do Centro Universitário.

Portanto, a redução total com a análise multicritério é de R\$ 903.273,89, equivalendo a um total de 63,72% dos gastos com eletricidade da UNI7.

Vale salientar que os valores analisados e calculados nesta pesquisa vieram de dados reais disponibilizados pelo um Centro Universitário, situado na cidade de Fortaleza no estado do Ceará-Brasil, portanto as tarifas de eletricidade, níveis de irradiância e valores de FP irão variar de acordo com o estado, cidade e país do objeto estudado, em que abre o campo de pesquisa para comparação de outros estudos em localidades com características distintas, devido a isto os profissionais que irão adotar a opção de multicritério deverão adaptar estes requisitos a análise multicritério apresentada durante seus estudos.

Agradecimentos

Ao Departamento de Engenharia Elétrica do Centro Universitário 7 de Setembro (UNI7) que viabilizou o fornecimento de informações para o desenvolvimento desse trabalho, ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia (IFCE), Campus Cedro e ao Laboratório de Energias Alternativas da Universidade Federal do Ceará (UFC) pela parceria neste trabalho.

REFERÊNCIAS

- ABB – Asea Brown Boveri Ltd. Disponível em: <<https://new.abb.com/power-converters-inverters/solar/string/three-phase/pvs-100-120-kw>>. Acesso em: 08 de maio 2019.
- ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. Resolução Normativa 414/2010. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br>>. Brasília: ANEEL, Acesso em: 05 abr. 2019.
- ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. Resolução Normativa nº 482 de 17 de Abril de 2012. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>>. Acesso em: 21 de março de 2019.
- ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. Resolução Normativa nº 569 de 23 de Julho de 2013. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2013569.pdf>>. Acesso em: 23 de março de 2019.
- ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. Resolução Normativa nº687, de 24 de Novembro de 2015.

- AU, Tecnologia: As vantagens da plataforma BIM incluem todo o ciclo de vida do edifício, desde os estudos de viabilidade até a demolição.
- BARRETO, S. D. C. Estudo de viabilidade para implementação de uma planta fotovoltaica integrada em um shopping center de Fortaleza. 2017. Projeto técnico de graduação, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2017.
- BUILDIN, Tecnologia BIM: Guia Completo. Disponível em: <<https://www.buildin.com.br/guia-completo-sobre-tecnologia-bim/>>, acessado em 05 abr. 2019.
- C.S. Oliveira, J.J.A. Marques, B.F.S. Junior, F.M.A. Linard, A.F. Almeida. “Análise Tarifária da Universidade do Piauí – Campus Petrônio Portela.” CONTECC, Fortaleza, 2015.
- CARVALHO, Paulo Cesar Marques de. Dimensionamento de planta FV conectada à rede elétrica. Fortaleza: UFC, 2016. 18 slides, color.
- CRESESB – Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio de S. Brito. Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br/>>. Acesso em: 07 de abril 2019
- EPE – Empresa de Pesquisa Energética. BEN – Balanço Energético Nacional de 2018. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-303/topico-419/BEN2018__Int.pdf>. Acessado em 05 de abril de 2019.
- EPE – Empresa de Pesquisa Energética. Consumo de Energia Elétrica por Classe Nacional. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Consumo-Anual-de-Energia-Eletrica-por-classe-nacional>>. Acessado em 05 de Abril de 2019.
- IDEAL. O mercado brasileiro de geração distribuída fotovoltaica. [s.l.], 5ª edição, 2018.
- IPEA, Viabilidade econômica de sistemas fotovoltaicos no Brasil e possíveis efeitos no setor elétrico. Disponível em: http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/8400/1/TD_2388.pdf, acessado em 26 de março de 2019.
- M.C.C. Leite, F. A. M. Vieira, V.B. Silva, M. Z. Fortes, D. H. N. Dias, “Harmonic Analysis of a Photovoltaic Systems Connected to Low Voltage Grid”, IEEE LATIN AMERICA TRANSACTIONS, VOL. 16, N. 1, JAN. 2018
- MAMEDE, J. Sistemas Elétricos Industriais, 5ª ed, ED: Rio de Janeiro, RJ, Brasil: LTC, 2010.
- O.L. Vieira, F.J.R. Silva, L.A. Machado, A.N.F. Correia, C.T. Vitoriano, A.H. Oliveira, R.P.D. Franklin, J.C.F. Menezes, M.F. Apolinário, J.W.F. Nascimento, P.C.M. Carvalho, “Comparison of Photovoltaic Plant Performance Estimation Models: A Case Study for Fortaleza, Brazil”, IEEE LATIN AMERICA TRANSACTIONS, VOL. 16, N. 7, JULY 2018.
- PORTAL SOLARa. Energia fotovoltaica. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/energia-fotovoltaica.html>>. Acessado em: 23 de maio de 2019.
- PORTAL SOLARc. Energia solar fotovoltaica: a revolução energética já começou no Brasil. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/blogsolar/energia-solar/energia-solar-fotovoltaica-a-revolucao-energetica-ja-comecou-nobrasil.html>. Acessado em: 23 de maio de 2019.
- PROCEL Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/documents/10584/1985241/Manual%20de%20Tarif%20En%20EI%20-%20Procel_EPP%20-%20Agosto-2011.pdf>, acessado em 06 de Abril de 2019.
- RIBEIRO, A. Análise da influência da localização, área e forma de sítios no potencial de geração de energia elétrica de pequena escala no Brasil: Um método para as fontes Solar e Eólica. Tese (Doutorado em engenharia elétrica). UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2015.
- T. S. Franklin, J.J. F. Cerqueira, E. S. de Santana, “Fuzzy and PI Controllers in Pumping Water System Using Photovoltaic Electric Generation”, IEEE LATIN AMERICA TRANSACTIONS, VOL. 12, N. 6, SEP. 2014.
- V.G.M. Souza, “Avaliação da Adequação Tarifária do Uso de Energia Elétrica de uma Empresa Municipal de Captação e Distribuição de Água.” Trabalho de Conclusão de Curso, São Carlos, 2016.
- VIEIRA, A. C. G. Correção de fator de potência. 2ª ed. ED: ED: Rio de Janeiro, RJ, Brasil: Manuais CNI, 1989, 155p.

COST REDUCTION PLANNING FOR ELECTRICITY THROUGH A MULTICRITERIA ANALYSIS OF ENERGY EFFICIENCY: A CASE STUDY FOR A UNIVERSITY CENTER

Abstract. *The analysis of the electric bill, in many situations, is neglected by many consumers who adopt incorrect structural tariff modalities and other factors, causing electric bills with high values. The multicriteria analysis facilitates the cost reduction of the consumer's electric bill, which results in several fields of work related to energy efficiency, seeking reduction in the referred invoice, being able to have a discount of up to 100% of the total value, freeing the consumer to deal with electricity bills. The criteria covered in this article are the correct demonstration for choosing the tariff flag, the correct use of capacitor banks to adjust the power factor and the implementation of a photovoltaic system "on grid". This study shows the energy efficiency analysis methodology applied in a University Center, showing that it is possible to reduce annual expenses on the electricity bill by 63.72%.*

Keywords—Energy Efficiency, Electric Bill, Multicriteria Analysis