

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

RODRIGO MANOEL AGUIAR FERREIRA

**EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES PÚBLICAS:
Elaboração de Diagnóstico Energético no Sistema de Iluminação Externa em
uma Instituição de Ensino Superior na Cidade de Porto Alegre/RS.**

Porto Alegre

2021

RODRIGO MANOEL AGUIAR FERREIRA

**EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES PÚBLICAS:
Elaboração de Diagnóstico Energético no Sistema de Iluminação Externa em
uma Instituição de Ensino Superior na Cidade de Porto Alegre/RS.**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado como requisito parcial para
obtenção do título de Bacharel em
Engenharia, pelo Curso de Engenharia
Elétrica da Universidade Federal do Rio
Grande do Sul – UFRGS

Área de Concentração: Eficiência Energética

Orientador: Prof. Dr. Maicon J. S. Ramos

Porto Alegre

2021

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

RODRIGO MANOEL AGUIAR FERREIRA

**EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES PÚBLICAS:
Elaboração de Diagnóstico Energético no Sistema de Iluminação Externa em
uma Instituição de Ensino Superior na Cidade de Porto Alegre/RS.**

Este trabalho foi julgado e aprovado para
fazer jus aos créditos da Disciplina de
“Projeto de Diplomação II”, do Curso de
Engenharia Elétrica da Universidade Federal
do Rio Grande do Sul – UFRGS

Orientador: _____

Prof. Dr. Maicon Jaderson Silveira Ramos, UFRGS

Doutor pela Universidade Federal de Santa Maria, UFSM

Banca Examinadora:

Prof. Sérgio Luiz Cardoso da Silva, UFRGS

Eng. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UFRGS

Me. Eng. Bruno Nervis, SINFRAEE/ UFRGS

Mestre pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UFRGS

Porto Alegre

2021

RESUMO

O presente trabalho apresenta um diagnóstico energético no sistema de iluminação artificial da área externa de um estabelecimento de ensino da cidade de Porto Alegre/RS. Foi proposto um estudo de viabilidade técnica e financeira com a substituição das luminárias com lâmpadas vapor de sódio, até então utilizadas como referência em eficiência energética em iluminação artificial para ambientes externos, por luminárias de tecnologia LED em conformidade com o Programa Brasileiro de Etiquetagem – PBE e validadas através de simulação com apoio do *software* DIALux evo. A metodologia adotada para o desenvolvimento foi regida de acordo com os Procedimentos do Programa de Eficiência Energética – PROPEE da Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL e teve como propósito a redução de custos com energia elétrica na instituição de ensino. Consta também a implantação de fontes incentivadas de geração de energia elétrica, no caso uma usina solar com potência de 157,4 kWp que auxiliará na redução dos custos de energia elétrica. Os resultados foram significativos, com economias no consumo de energia estimada em 4,1% e uma redução de demanda na ponta em torno de 3,9%. Desta forma, com a viabilidade desta proposta, é possível submetê-la junto a concessionária local através da Chamada Pública de Projeto – CPP do Programa de Eficiência Energética – PEE. Devido a sua classe de consumo, de tipologia de poder público, a instituição poderá ser beneficiada com os recursos financeiros para a implantação desta proposta sem a necessidade de contrapartida ou contrato de desempenho.

Palavras-chave: Diagnóstico Energético; Eficiência Energética; Poder Público; LED.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Rateio dos custos com serviços de energia elétrica em 2019.	11
Figura 2 – Benefícios conjuntos dos projetos de Eficiência Energética e GD.	12
Figura 3 – Mapa Campus do Vale da UFRGS.	13
Figura 4 – Mapa Campus do Vale da UFRGS – Setor Anel Viário.	14
Figura 5 – Principais marcos regulatórios energéticos no Brasil.	19
Figura 6 – Diferenças de temperatura de cor.	23
Figura 7 – Categorias de LED.	25
Figura 8 – Módulo de LED.	26
Figura 9 – Modelo luminária de LED para poste.	26
Figura 10 – Célula, módulo e painel fotovoltaico.	32
Figura 11 – Classificação e forma de utilização SFV.	33
Figura 12 – Consumo mensal de energia elétrica (MWh) no HP e FP.	46
Figura 13 – Demanda (kW) mensal de energia elétrica no HP e FP – 2019 e 2020.	47
Figura 14 – Mapa com a localização dos pontos de iluminação artificial externa.	48
Figura 15 – Modelo da luminária LED de 30W.	51
Figura 16 – Modelo da luminária LED de 70W, 150W e 186W.	52
Figura 17 – Simulação iluminação externa Campus do Vale.	55
Figura 18 – Área 1 – Espaço convivência Instituto de Letras.	56
Figura 19 – Área 2 – Corredores de pedestre entre blocos.	56
Figura 20 – Área 3 – Simulação via de veículo no acesso ao pórtico principal.	57
Figura 21 – Área 4 – Via de veículos separada por canteiro central.	58
Figura 22 – Área 4 – Simulação via de dupla com canteiro central.	58
Figura 23 – Área 5 – Cruzamento de entrada e saída do Campus.	59
Figura 24 – Área 6 – Via de veículos duas faixas de rodagem.	60
Figura 25 – Área 6 – Simulação via de veículo pista dupla de rodagem.	60
Figura 26 – Área 7 – Estacionamento interno.	61
Figura 27 – Detalhe da área de solo disponível no Campus do Vale.	62
Figura 28 – Módulo 430W – JKM430M-STL4.	63
Figura 29 – Estimativa de demanda e consumo de energia.	74

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Critérios de classificação de vias de veículos quanto à iluminação.	28
Quadro 2 – Enquadramento das vias por classe de iluminação.	29
Quadro 3 – Requisitos por categoria de via para circulação de veículos.	29
Quadro 4 – Requisitos por categoria de via de circulação de pedestres.	30
Quadro 5 – Enquadramento das vias de pedestres por classe de iluminação.	30
Quadro 6 – Tipologias e características de projetos do PEE.	35
Quadro 7 – Consumo mensal de energia elétrica da UC avaliada neste projeto.	46
Quadro 8 – Demanda registrada na UC.	47
Quadro 9 – Dados do sistema de iluminação atual – Total.	50
Quadro 10 – Comparativo eficiência equipamentos atuais e propostos.	51
Quadro 11 – Especificações técnicas das luminárias propostas.	52
Quadro 12 – Dados do sistema de iluminação proposta – Total.	53
Quadro 13 – Resultados esperados com a AEE.	54
Quadro 14 – Concepção do Sistema Fotovoltaico – SFV.	62
Quadro 15 – Características adotadas como referência na concepção do SFV.	63
Quadro 16 – Dados do sistema solar fotovoltaico proposto.	65
Quadro 17 – Resultados esperados com a implantação do SFV.	65
Quadro 18 – Valores limites para os recursos do PEE.	72
Quadro 19 – Custos unitários de mão de obra.	73

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Levantamento de dados do sistema de iluminação.....	37
Tabela 2 – Agrupamento sistema de iluminação artificial.....	37
Tabela 3 – Energia e demanda média do sistema de iluminação atual.....	38
Tabela 4 – Energia e demanda média do sistema de iluminação proposto.....	39
Tabela 5 – Resultados esperados do sistema de iluminação.....	39
Tabela 6 – Sistema de Iluminação Externo Campus do Vale – Setor Anel Viário.....	49
Tabela 7 – Dados do sistema de iluminação atual – Por conjunto.....	50
Tabela 8 – Dados do sistema de iluminação proposta – Por conjunto.....	53
Tabela 9 – Dados de irradiação solar média para a área do projeto.....	64
Tabela 10 – Cálculo final do RCB do projeto – Recursos PEE.....	66
Tabela 11 – Amostragem para M&V.....	68
Tabela 12 – Metas e Benefícios para o PEE.....	71
Tabela 13 – Previsão de custos por categoria contábil.....	72
Tabela 14 – Custos unitários do sistema de iluminação por fornecedor.....	73

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
CED	Custo da Demanda Evitada
CEE	Custo da Energia Evitada
CEEE-D	Companhia Estadual de Distribuição de Energia Elétrica
CPP	Chamada Pública de Projetos
EE	Economia de Energia
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
ESCO	Empresas de Serviços de Conservação de Energia Elétrica
FCP	Fator de Coincidência da Ponta
FP	Horário Fora de Ponta
GD	Geração Distribuída
HP	Horário de Ponta
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial
IP	Iluminação Pública
M&V	Medição e Verificação
NBR	Normas Brasileiras de Regulação
PBE	Programa Brasileiro de Etiquetagem
PEE	Programa de Eficiência Energética
PIMVP	Protocolo Internacional de Medição e Verificação de Performance
PROCEL	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
PROPEE	Procedimentos do Programa de Eficiência Energética
RCB	Relação Custo-Benefício
RDP	Redução de Demanda na Ponta
SFCR	Sistemas Conectados à Rede
SFI	Sistemas Isolados
SFV	Sistema Fotovoltaico
UC	Unidade Consumidora
UFRGS	Universidade Federal do Rio Grande do Sul
VS	Vapor de Sódio

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	8
1.1 Contextualização e motivação do trabalho	8
1.2 Problema e justificativa	10
1.3 Delimitações.....	13
1.4 Objetivos	15
1.4.1 Objetivo geral.....	15
1.4.2 Objetivos específicos	15
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	17
2.1 Eficiência energética.....	17
2.1.1 A eficiência energética no contexto brasileiro	18
2.2 Diagnóstico energético	19
2.3 Medição e Verificação – M&V	20
2.4 Conceitos luminotécnicos	22
2.5 Sistemas de iluminação artificial	23
2.5.1 Luminárias de LED	24
2.5.2 Iluminação Pública – IP	27
2.6 Energia solar fotovoltaica	31
2.6.1 Sistema Fotovoltaico – SFV.....	32
3 METODOLOGIA.....	34
3.1 Tipologias de projeto	35
3.2 Análise prévia do consumo	36
3.3 Identificação dos sistemas e uso da edificação.....	36
3.4 Sistema proposto equivalente.....	38
3.5 Metas do projeto	39
3.6 Cálculo de viabilidade econômica	40
3.7 Projetos com fontes incentivadas	42
3.8 M&V.....	42
3.9 Benefícios e outras ações integrantes de projeto	43
3.10 Simulações computacionais	43
4 ESTUDO DE CASO	44
4.1 Análise prévia de consumo	45
4.2 Detalhamento das instalações	48

4.3 AEE para o sistema de iluminação	49
4.4 Estudos luminotécnicos	54
4.5 Proposta SFV	61
4.6 Viabilidade econômica	65
4.7 Medição e Verificação – M&V	66
4.7.1 Variáveis independentes	67
4.7.2 Fronteira de medição	67
4.7.3 Duração das medições	67
4.7.5 Opção do PIMVP	67
4.7.6 Amostragem	68
4.7.8 Procedimentos de verificação dos resultados	69
4.8 Metas e Benefícios por uso final	70
4.9 Outros benefícios	71
4.10 Custos por categoria contábil e origem dos recursos	71
4.11 Custos dos materiais e equipamentos	73
4.12 Custos de mão de obra	73
4.13 Treinamento e capacitação	73
4.14 previsão de consumo de energia e demanda na ponta	74
5 CONCLUSÃO	75
REFERÊNCIAS	77
APÊNDICE A – MEMÓRIA DE CÁLCULO RCB	81
APÊNDICE B – SIMULAÇÕES DIALUX	82

1 INTRODUÇÃO

Os investimentos em equipamentos mais modernos e eficientes, através de uma Ação de Eficiência Energética – AEE, são considerados uma segunda fonte de energia para atender ao aumento da demanda de energia elétrica projetada para o ano de 2030 pela Empresa de Pesquisa Energética – EPE. É uma ferramenta que auxilia as concessionárias na redução de investimentos, através das economias de consumo, que possibilitam evitar os investimentos na geração, transmissão e distribuição de energia elétrica (ANEEL, 2016b).

Para as distribuidoras de energia o benefício está relacionado diretamente à redução da demanda no horário de ponta do sistema, já que a AEE contribui para garantir o suprimento de energia no horário de ponta do sistema, e assim garante a estabilidade do fluxo energético com um aumento da confiabilidade no fornecimento de energia (ANEEL, 2016b).

Já para o consumidor, o principal benefício na adoção de medidas de eficiência energética através da Chamada Pública de Projetos – CPP, em concordância com o Procedimento do Programa de Eficiência Energética – PROPEE aprovado pela Resolução Normativa n.º 556 da Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL, é a redução no consumo e do custo na conta de energia elétrica. Esta redução pode ocorrer através da Economia de Energia – EE em kWh, e da Redução da Demanda na Ponta – RDP em kW. Outro benefício está relacionado à possibilidade de inclusão de fonte de geração alternativa, como fotovoltaica ou eólica, desde que associada a uma AEE (ANEEL, 2016b).

Enfim, com o investimento em projetos de eficiência energética o consumidor pode economizar recursos e amenizar a pressão sobre o aumento da oferta de energia, pois postergar parte do investimento no aumento da oferta de energia permite que distribuidoras e consumidores liberem recursos para outras prioridades, sem perda de qualidade, segurança no abastecimento e com ganhos sociais e ambientais (CNI, 2009).

1.1 Contextualização e motivação do trabalho

O consumo de energia nas edificações brasileiras representou 15,3% do total de energia e 52% do consumo de eletricidade em 2019 (EPE, 2020), sendo que, deste

montante o setor público foi responsável por 9%. A busca por eficiência energética e sustentabilidade nos prédios públicos tem, assim, um papel fundamental como política pública, tanto como efeito demonstrativo quanto como indutor do mercado (MME, 2020).

Observa-se que os prédios públicos possuem grande potencial de redução do consumo de energia com a implantação de uma AEE, e conforme Jannuzzi (2010) este setor tem potencial estimado de 40% de economia de energia elétrica para se beneficiar com a eficiência energética e, além disso, pode atuar como exemplo para os demais setores da sociedade.

Obter eficiência energética significa utilizar processos e equipamentos que sejam mais eficientes, reduzindo o desperdício no consumo de energia elétrica, tanto na produção de bens como na prestação de serviços, sem que isso prejudique a sua qualidade (Eletrobras, 2009). Visando a eliminação dos desperdícios de energia com a efficientização dos sistemas energéticos, a ANEEL estabeleceu critérios para a aplicação de recursos das concessionárias em projetos do PEE, com objetivo da promoção do uso eficiente e racional de energia elétrica em todos os setores da economia por meio de projetos que demonstrem importância e viabilidade econômica em ações de combate ao desperdício e de melhoria da eficiência energética de equipamentos, processos e usos finais de modo a proporcionar a transformação do mercado, estimulando o desenvolvimento de novas tecnologias e a criação de hábitos e práticas racionais de uso da energia elétrica (ANEEL, 2013).

Os recursos para o PEE foram regulamentados através da Lei n.º 9.991, de 24 de julho de 2000, onde as empresas concessionárias ou permissionárias de distribuição de energia elétrica, doravante denominadas distribuidoras, são obrigadas a aplicar o valor equivalente a 0,5% de sua receita operacional líquida anual no desenvolvimento do PEE (Brasil, 2000).

Para a realização dos projetos, as distribuidoras realizam CPP anualmente e os projetos podem ser apresentados por Empresas de Serviços de Conservação de Energia Elétrica – ESCO, fabricantes, comerciantes ou pelos próprios consumidores. Esses projetos são selecionados por um sistema de qualidade e preço, considerando o disposto no documento denominado Critérios para Elaboração de Chamada Pública de Projetos, elaborado e publicado pela ANEEL (Vasconcelos, 2016).

E para se obter uma avaliação detalhada das oportunidades de eficiência energética de uma instalação, se faz necessário a elaboração do diagnóstico

energético, que é uma das primeiras etapas do projeto, sendo de fundamental importância sua validação antes da execução da AEE proposta. Segundo definição do PROPEE, o diagnóstico energético é um relatório contendo a descrição detalhada de cada AEE e sua implantação, o valor do investimento, economia de energia e/ou redução de demanda na ponta relacionada (ANEEL, 2013).

Na busca por oportunidades de redução do consumo de energia elétrica e demanda, diante do atual cenário energético do setor público, e com a intenção de aumentar a eficiência do uso de energia numa instituição de ensino pública, e das oportunidades de investimento oferecidas pelo PEE para o setor público com incentivo financeiro para instalação de projetos dessa tipologia, será proposto neste trabalho um diagnóstico energético visando a melhoria da instalação. Assim a realização deste trabalho representa uma oportunidade para a modernização das instalações de energia elétrica da instituição de ensino, proporcionando maior conforto aos servidores e aos usuários. Considera-se também que, de modo geral, boa parte dos prédios públicos são construções antigas, realizadas com recursos limitados e sem foco específico em eficiência energética. E com a modernização do sistema eficientizado, poderá adequar as instalações e equipamentos às normas técnicas, proporcionando o nível de luminosidade adequada e consumo eficiente de energia (MMA, 2017).

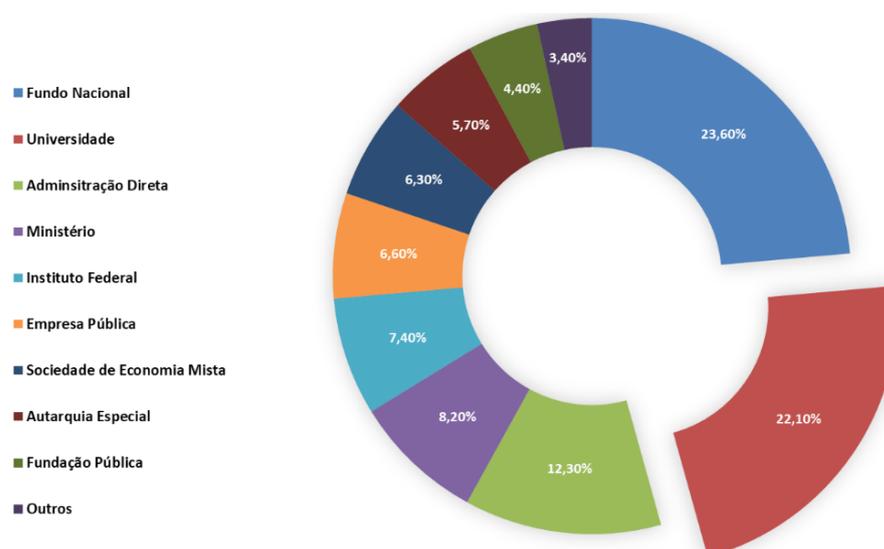
1.2 Problema e justificativa

De acordo com a Secretaria de Ensino Superior do Ministério da Educação, o montante gasto no ano de 2015 apenas pelas universidades federais foi de cerca de R\$ 430.000.000 (quatrocentos e trinta milhões de reais) com serviços de energia elétrica, que neste período representou cerca de 9% do custeio para estas instituições (ANEEL, 2016). Desde então, as instituições públicas de ensino superior vêm enfrentando fortes desafios no contexto de austeridade fiscal, com cortes no orçamento e adaptação a implantação do teto de gastos pelo governo federal, e vem buscando soluções administrativas e de esforços tecnológicos de modo a reduzir os custos com energia elétrica, que no caso da instituição objeto de estudo, superam em mais de 10% de todo o orçamento de custeio (UFRGS, 2018).

Conforme informações do Painel de Custeio Administrativo (ME, 2020), o custo com serviços de energia elétrica dos prédios públicos do Governo Federal, ano base

de 2019, obteve um montante de R\$ 2.564.308.546 (dois bilhões e quinhentos e sessenta e quatro milhões e trezentos e oito mil e quinhentos e quarenta e seis reais) conforme detalhe da Figura 1 com a distribuição da despesa por classificação da unidade orçamentária. Neste escopo de prédios públicos, encontram-se os que possuem fins educacionais, como as universidades, que em sua maioria possuem edificações com elevado consumo de energia ao custo de R\$ 566.715.188 (quinhentos e sessenta e seis milhões e setecentos e quinze mil e cento e oitenta e oito reais) que representa no período 22,1% e um aumento próximo de 25% em relação ao ano base de 2015. Este resultado está relacionado ao reajuste anual do custo de energia elétrica e um provável aumento de consumo de energia e demanda.

Figura 1 – Rateio dos custos com serviços de energia elétrica em 2019.



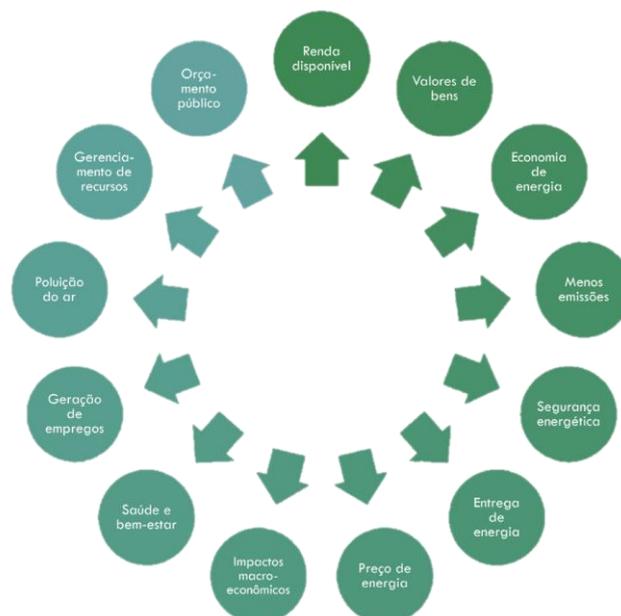
Fonte: Adaptado Brasil, 2020.

Sabe-se, porém, que uma parte considerável desses gastos nas universidades federais se deve a utilização de equipamentos ineficientes e a práticas inadequadas de instalação e manutenção dos aparelhos, entre outros inconvenientes da falta de uma cultura de uso eficiente e racional de energia no país (ANEEL, 2016a). Desta forma, a identificação de oportunidades de redução do consumo de energia elétrica de uma edificação pública, deve ser fruto de análises e estudos específicos de cada local, através de diagnósticos energéticos que considerem a viabilidade técnica e financeira das propostas alcançadas (Magalhães, 2001).

Diante do exposto, como justificativa para implementação deste trabalho constata-se que as instalações e equipamentos que serão beneficiados com a AEE extrapolaram suas vidas úteis e são ineficientes, além disso a instituição é um consumidor sem fim lucrativo, de tipologia poder público e que poderá se beneficiar com a implantação do projeto sem a necessidade da elaboração de contrato de desempenho e de retorno do investimento ao PEE, ou seja, um projeto financiado a fundo perdido. Tal fato já seria suficiente para justificar esforços no sentido de se implantar soluções capazes de aumentar a eficiência energética na instituição de ensino público, no qual cabe ressaltar que o principal benefício com a implantação da proposta visa a redução do custo com energia elétrica e a possibilidade de ajuste orçamentário nas finanças da instituição com foco no seu *core business*.

Pensando ainda em outras oportunidades, atualmente há um grande potencial de atuação em conjunto da área de Eficiência Energética e Geração Distribuída – GD no setor público, através de *retrofits* ou construção de edifícios energeticamente eficientes, que contribuem para a redução do consumo de energia de edificações públicas, e, em consequência, para a redução de despesas e gastos públicos, além de mitigar as emissões dos gases do efeito estufa. Destaca-se que ambos os projetos de eficiência energética e energia solar fotovoltaica trazem inúmeros benefícios que vão além dos ganhos energéticos conforme apresentados pela Figura 2 (MME,2020).

Figura 2 – Benefícios conjuntos dos projetos de Eficiência Energética e GD.



Fonte: Adaptado MME, 2020.

1.3 Delimitações

A UFRGS, com sede na cidade de Porto Alegre, é uma das instituições de ensino superior com maior tradição no Brasil. Sua história se iniciou ainda no século XIX com a criação das Escolas de Engenharia, Medicina, Química e Farmácia. Em 1934 estas instituições até então autônomas foram mescladas a outras Faculdades existentes em Porto Alegre, como Agronomia, Direito, Odontologia, Artes, Veterinária e Ciências Humanas, formando a Universidade de Porto Alegre. Em 1947 se tornou uma instituição estadual, passando a se chamar Universidade do Rio Grande do Sul e em 1950 foi federalizada, tornando-se Universidade Federal do Rio Grande do Sul, tal como é conhecida até os tempos atuais.

No ano de 1977 foi instalado no bairro Agronomia com uma área de cerca de 650 ha, o Campus do Vale que atualmente abriga o Colégio de Aplicação, as faculdades de Agronomia e de Veterinária, os institutos de Letras, Geociências, de Matemática, de Química, de Física, de Informática, de Filosofia e Ciências Humanas, de Ciências e Tecnologia de Alimentos, de Pesquisas Hidráulicas, de Biociências e ainda parte da Escola de Engenharia. A Figura 3 detalha o mapa do Campus do Vale, com destaque a seus principais setores, onde também pode-se observar sua dimensão territorial, estando compreendido entre as Avenidas Protásio Alves e Bento Gonçalves, importantes vias da cidade de Porto Alegre.

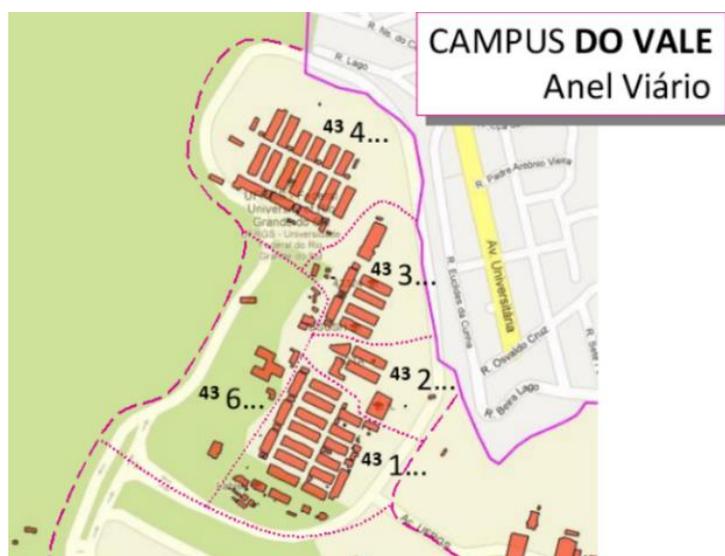
Figura 3 – Mapa Campus do Vale da UFRGS.



Fonte: Localização Prédios da UFRGS, 2013.

Devido à dimensão territorial do Campus do Vale, este trabalho estará limitado ao Setor Anel Viário destacado na Figura 4, que contempla as seguintes edificações: Instituto de Matemática, Instituto de Geociências, Prefeitura Campus do Vale, Instituto de Química, Instituto de Física, Instituto de Filosofia e Ciências Humanas, Instituto de Ciências e Tecnologia de Alimentos, Instituto de Letras, Instituto de Biociências, Salas de Aula, Núcleo de Apoio – Segurança/Ambulatório, Escola de Engenharia, Centro de Biotecnologia, Restaurante Universitário e o Colégio de Aplicação. Estas edificações são caracterizadas por atividades administrativas, salas de aula, auditórios, gabinetes de professores, bibliotecas, laboratórios experimentais, museu, entre outros.

Figura 4 – Mapa Campus do Vale da UFRGS – Setor Anel Viário.



Fonte: Localização Prédios da UFRGS, 2013.

Na busca pelos principais sistemas ineficientes e que poderiam causar impacto no consumo de energia elétrica no Campus, além de contemplar o uso destes sistemas energéticos nos postos horários de fora de ponta e na ponta, primeiramente foram analisados os sistemas de iluminação artificial, que devido a ascensão recente da tecnologia LED e redução contínua do custo de aquisição e instalação deste equipamento, proporcionam ótimos ganhos numa AEE, e assim foram avaliadas as edificações e/ou áreas que apresentassem maior número de lâmpadas com tecnologias obsoletas, sendo encontrado na área externa uma considerável quantidade de lâmpadas Vapor de Sódio – VS. E considerando o tamanho da área deste setor, se observa que o sistema de iluminação artificial do ambiente externo é

de fundamental importância para este setor e tem uma significativa representação no consumo de energia elétrica do Campus em especial no Horário de Ponta – HP, e desta forma apenas esta categoria de consumo será objeto deste estudo.

Assim, considerando a hipótese que o sistema de iluminação artificial externo atual, de um estabelecimento de ensino superior público, é ultrapassado e ineficiente, este trabalho visa uma análise da viabilidade técnica econômico-financeira, com base na metodologia do PROPEE, na implementação de um novo sistema com vistas a torná-lo energeticamente eficiente.

A outra oportunidade de estudo, proporcionada pelo PROPEE, e incluso neste trabalho diz respeito às fontes incentivadas, e pela disponibilidade de área no Campus do Vale será proposto a implantação de um Sistema Fotovoltaico – SFV no solo, que auxiliará na redução do custo de energia elétrica e possibilitará o acesso à pesquisa desta tecnologia na UFRGS.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo geral

O presente trabalho terá como objetivo geral a análise do modelo disponível do PEE, através do PROPEE, de modo a quantificar os potenciais ganhos de EE e RDP no sistema de iluminação artificial da instituição de ensino. Assim, pretende-se no presente trabalho avaliar um sistema de iluminação artificial para o ambiente externo mais eficiente tecnicamente e mais viável financeiramente em substituição das atuais lâmpadas VS por luminárias de tecnologia LED.

1.4.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos do trabalho são descritos abaixo:

- a) Revisar a metodologia do PEE na tipologia poder público visando a melhoria da instalação;
- b) Analisar as faturas de energia elétrica da Unidade Consumidora – UC objeto de estudo;

- c) Buscar equipamentos e materiais que possam maximizar ganhos em EE e RDP no sistema de iluminação artificial;
- d) Realizar simulação computacional de modo a obter os requisitos mínimos de iluminação conforme norma regulamentadora;
- e) Disponibilizar os resultados do diagnóstico para oportunizar a implantação em outras instalações da Universidade;
- f) Pontuar tecnologias que porventura possam agregar na economia de energia elétrica e demanda do Campus do Vale gerada pelo estudo;
- g) Propor e quantificar a contribuição energética de um SFV.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Considerado como uma pesquisa exploratória, neste tópico será apresentado uma breve discussão do referencial bibliográfico adotado para este trabalho, com destaque para os conceitos de iluminação, eficiência energética, diagnóstico energético e por fim um relato sobre a energia solar fotovoltaica.

2.1 Eficiência energética

A eficiência energética é definida como a relação entre a quantidade de energia final utilizada e a quantidade de um bem-produzido ou serviço realizado. Esta quantidade de energia utilizada é relacionada à quantidade de energia mínima necessária para realizar a mesma tarefa, sendo esta, o potencial de eficiência energética e assim, quanto mais próximo do mínimo for o consumo, mais eficiente terá sido a tarefa do ponto de vista da eficiência energética (EPE, 2020).

Considerando o aspecto físico, a eficiência energética é definida como a capacidade de realizar trabalho com o melhor rendimento possível, com o mínimo de dispêndios, considerando que a energia é definida como a capacidade de um corpo, uma substância ou um sistema de realizar trabalho (Gaspar, 2005).

Para Martins (2018) entende-se como eficiência a execução de uma atividade, de forma similar ou em maior escala com menos recursos e a mesma qualidade. No que diz respeito à energia, o conceito de eficiência energética representa, pelo lado da oferta o fornecimento da mesma quantidade de energia com menos recursos naturais ou pelo lado da demanda consumir o mesmo bem com menos energia a custos acessíveis.

No contexto brasileiro, e reconhecendo a relevância das edificações brasileiras no consumo de energia, uma das iniciativas de eficiência energética neste segmento refere-se à Lei n.º 10.295/2001, que, em seu artigo 4º aponta as edificações como área para atenção do poder Executivo quanto à promoção de mecanismos de eficiência energética, incluindo as edificações entre os produtos que necessitam avaliação energética e regulamentação.

2.1.1 A eficiência energética no contexto brasileiro

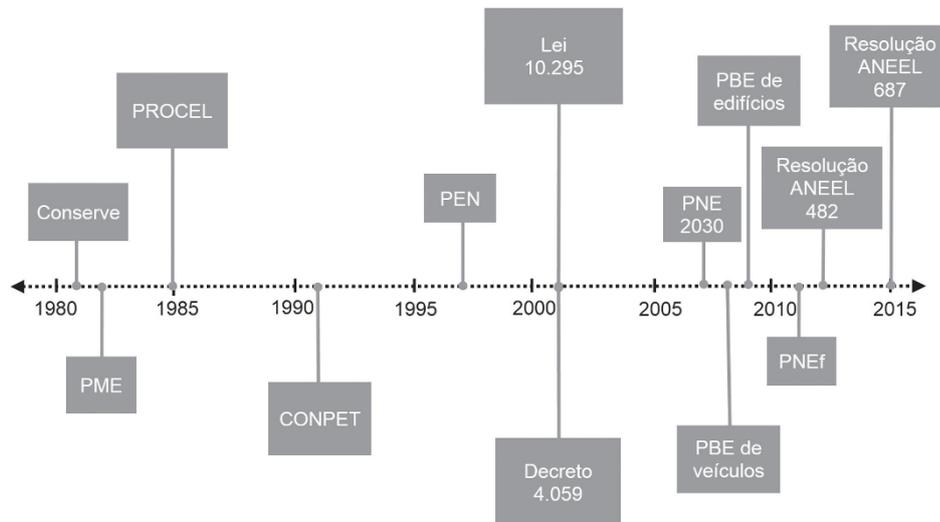
Desde a década de 80, o governo brasileiro vem realizando ações no sentido de promover a eficiência energética, seguindo a tendência mundial de preocupação com o tema que surgiu após a crise do petróleo. No segmento de energia elétrica, as ações de conservação de energia levaram à criação do PROCEL em 1985 (Caldeira, 2017).

Entre os anos de 1995 e 2000 o Brasil passou por uma grande reestruturação no setor elétrico, quando seu crescimento de 4% a.a. não foi devidamente avaliado e, também, o déficit de geração, que já era perceptível na década de 80 (Brasil, 2002), proporcionou em 2001, uma crise de abastecimento de energia elétrica que trouxe como consequência uma maior conscientização com relação ao consumo de energia elétrica, surgindo uma busca pela eficiência energética que foi possível através de políticas públicas que visavam as mudanças de hábitos de consumo energético (Rocha, 2005).

O PEE foi criado com a Lei n.º 9.991/2000 com o objetivo de promover o uso eficiente de energia elétrica nos setores de economia investindo em projetos que possuam relevância e viabilidade econômica em intervenções de combate ao desperdício de energia. O PEE busca a transformação do mercado de energia, com o incentivo a novas tecnologias e estímulo à criação e propagação de hábitos mais eficientes, com a adoção de ações de treinamento e capacitação, projetos educacionais, projetos de gestão energética e especiais, avaliações constantes dos resultados obtidos e divulgação do PEE (ANEEL, 2013).

A Figura 5 apresenta a linha do tempo com os principais marcos regulatórios de efficientização e conservação de energia elétrica no Brasil, onde se destaca a primeira iniciativa do poder público para incentivar o uso de medidas de eficiência energética ao nível nacional em 1981, com a criação do Programa Conserve, o Programa Brasileiro de Etiquetagem – PBE, coordenado pelo Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial – INMETRO, o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica – PROCEL, e em 2012 a Resolução Normativa n.º 482 da ANEEL (Altoé, 2017).

Figura 5 – Principais marcos regulatórios energéticos no Brasil.



Fonte: Altoé, 2017.

O PROPEE foi criado em 18 de julho de 2013 pela ANEEL, por meio da Resolução Normativa n.º 556, e define as instruções que deverão ser seguidas pelas distribuidoras de energia elétrica na execução do PEE. Atualmente sua versão válida é regida pela Resolução Normativa n.º 920/2021.

2.2 Diagnóstico energético

A substituição da energia que estava sendo utilizada num determinado sistema por inteligência pode ser entendida como adequar os processos e sistemas às boas práticas da engenharia, economia e administração. No entanto, dada a complexidade e diversidade desses sistemas, convém definir os métodos e técnicas para facilitar o cumprimento de objetivos de melhoria de desempenho dos sistemas energéticos (Marques, 2007). Ainda segundo este autor o primeiro passo na busca desta inteligência é desenvolver o diagnóstico energético que visa identificar o montante de energia que está sendo consumido, quem está consumindo e como está sendo consumida, com qual eficiência.

Para Nogueira (2006), diagnóstico energético é o método para a avaliação do consumo de insumos energéticos por meio de levantamentos de dados em campo, que após processados, permitem identificar qualitativamente os pontos considerados como críticos e assim indicar necessidades de atuação em equipamentos específicos.

Já o PROPEE define o diagnóstico energético como sendo uma avaliação detalhada das oportunidades de eficiência energética na instalação do consumidor de energia, resultando em um relatório contendo a descrição detalhada de cada AEE e sua implantação, o valor do investimento, economia de energia e/ou redução de demanda na ponta, análise de viabilidade e estratégia de medição e verificação a ser adotada (ANEEL, 2013).

2.3 Medição e Verificação – M&V

A etapa de M&V pretende quantificar os ganhos ou perdas do processo de eficiência energética dos sistemas eficientizados que devem seguir padrões internacionais, mas sem afetar a efetividade econômica das medidas de racionalização do uso da energia. Para serem úteis, as medições precisam ser apropriadas, representativas e com precisão aceitável (Payne, 1984).

A *Efficiency Valuation Organization* – EVO é uma instituição dedicada à criação de ferramentas de M&V através do Protocolo Internacional de Medição e Verificação de Performance – PIMVP, no qual a M&V é definida como o processo de utilização de medições para determinar corretamente a economia real dentro de uma instalação individual por um programa de gerenciamento de energia. A economia não pode ser medida diretamente, dado que representa a ausência do consumo de energia. Em vez disso, a economia é determinada comparando o consumo medido antes e depois da implementação de um projeto, efetuando-se os ajustes adequados para as alterações nas condições de uso da energia (EVO, 2012).

O módulo 8 do PROPEE – Medição e Verificação de Resultados (ANEEL, 2013) estabelece os requisitos mínimos para observar e orientar as atividades de M&V nas avaliações dos projetos do PEE, observado no PIMVP. E define as fases da M&V, que durante o projeto, deverão ser realizadas em duas avaliações:

- Avaliação *ex ante*, com valores estimados, na fase de definição, quando se estimam os resultados esperados, em procedimento baseado em análises de campo, dados típicos, experiências anteriores e cálculos de engenharia.
- Avaliação *ex post*, com valores mensurados, consideradas a EE e a RDP avaliadas por ações de M&V, a partir de medições feitas nas fases de

Execução (período da linha de base) e Verificação (período de determinação da economia) e análise para determinação da eficiência energética.

Como estratégia de M&V, e já conhecendo o uso da energia e sua relação com a rotina da instalação, o PROPEE (ANEEL, 2013) sugere que devem ser definidas as bases para as atividades de M&V através de:

- Variável independente: verificar que variáveis (clima, produção, ocupação etc.) explicam a variação da energia e como poderão ser medidas (local, equipamentos, períodos de medição – linha de base e de determinação da economia);
- Fronteira de medição: determina o limite na instalação, onde serão observados os efeitos da ação de eficiência energética, isolado por medidores, e eventuais efeitos interativos com o resto da instalação.
- Opção do PIMVP: opção A (medição de alguns parâmetros chaves da AEE), B (medição de todos os parâmetros da AEE), C (medição de toda a instalação) ou D (simulações de performance) que será usada para medir a economia de energia;
- Modelo do consumo da linha de base: em geral, uma análise de regressão entre a energia e as variáveis independentes;
- Cálculo das economias: definir como será calculada a economia de energia e a redução de demanda na ponta.

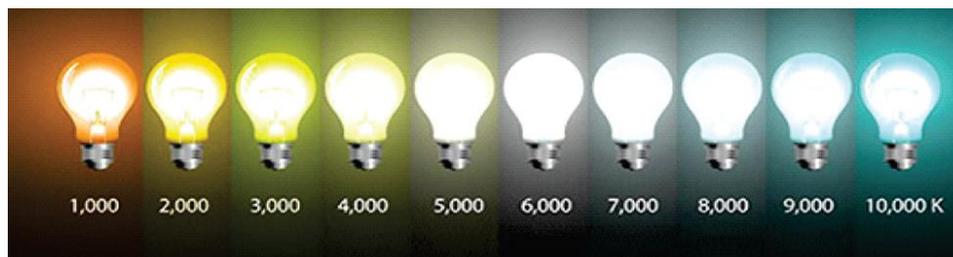
Porém, as economias oriundas de eficiência energética nem sempre são tão facilmente comprovadas. Embora existam metodologias consagradas internacionalmente que possam ser utilizadas, o mercado percebe um risco de grau elevado ao investir em eficiência energética, por desconfiança na apuração dessas economias (Garcia, 2008). Assim, segundo Neto (2011), ao investir em eficiência energética deseja-se naturalmente saber o quanto economizar e o tempo que as economias irão durar. Desta forma para a determinação das economias é necessário um processo de medição precisa e metodologia reprodutível, com uma consistente metodologia de M&V junto a um sistema de monitoramento confiável.

2.4 Conceitos luminotécnicos

Os sistemas de iluminação artificial apresentam formas de efficientização de energia de fácil aplicação. Além do aspecto de eficiência energética, uma boa qualidade de iluminação no ambiente é um fator importante no desempenho da atividade neste local. A seguir serão apresentadas definições de algumas grandezas do estudo de luminotécnica conforme Niskier (2013).

- Fluxo luminoso (ϕ): É a potência de radiação total emitida por uma fonte de luz que pode produzir uma sensação de luminosidade através do estímulo da retina ocular. Em outras palavras, é a irradiação total da fonte luminosa, entre os limites de comprimento de onda visíveis pelo homem. O fluxo luminoso é expresso em lúmen (lm).
- Eficiência Luminosa: Trata-se do quociente entre o fluxo luminoso emitido em lúmens, pela potência consumida em watts da lâmpada. Em resumo é a quantidade de luz que uma fonte luminosa pode produzir a partir da potência elétrica. Sua unidade é lm.W^{-1} .
- Intensidade Luminosa (I): É a potência de radiação luminosa numa dada direção. Assim é dada pelo fluxo luminoso emitido por uma fonte de luz em uma dada direção por unidade de ângulo sólido e sua unidade é medida em candelas (cd).
- Iluminância (E): Vem a ser relação do fluxo luminoso de uma fonte de luz que incide sobre uma superfície situada a uma certa distância desta fonte. A iluminância é expressa em lm/m^2 ou lux (lx).
- Luminância (L): É a intensidade luminosa emitida, transmitida ou refletida por unidade de superfície e é expressa em candela por metro quadrado (cd/m^2). Na comparação deste conceito, segundo Barbosa (2004), conclui-se que iluminância é a quantidade de luz que incide sobre uma superfície, enquanto luminância é a quantidade de luz que chega até o olho humano após ser refletida por essa superfície.
- Temperatura de Cor: Grandeza que expressa a aparência de cor da luz, quanto maior o valor da temperatura de cor, mais uniforme o espectro luminoso e mais branca será a luz conforme detalha a Figura 6. A unidade de medida de temperatura da cor é Kelvin (K).

Figura 6 – Diferenças de temperatura de cor.



Fonte: Abilux, 2017.

- Índice de Reprodução de Cor (IRC): É a correspondência entre a cor real de um objeto e sua aparência diante de uma determinada fonte de luz. Indica a capacidade de uma lâmpada reproduzir corretamente as cores de um objeto ou superfície. O IRC é expresso em uma escala de 0 a 100 em que o valor maior corresponde à máxima restituição possível.
- Ofuscamento: Corresponde ao efeito de uma luz forte no campo de visão do olho humano, o qual pode provocar sensação de desconforto e prejudicar o desempenho da atividade neste local.
- Luminária: Equipamento que permite controlar, distribuir e filtrar o fluxo luminoso gerado pelas lâmpadas. Podem utilizar-se defletores (para desviar o fluxo noutras direções), difusores (para reduzir a quantidade de luz para diminuir o ofuscamento).

2.5 Sistemas de iluminação artificial

Alguns autores referem-se a conceitos de iluminação, não somente a aspectos técnicos e funcionais, mas também, quando usado de forma correta e harmoniosa, valorizando ambientes. Isso pelo fato de já ser comprovado cientificamente que a qualidade da luz artificial e luz natural interferem na saúde de diferentes formas nos seres humanos e conseqüentemente influenciando no comportamento e percepção das pessoas ao redor (Pezatti, 2015).

Desta forma, a qualidade da luz é primordial, tanto no desempenho das atividades como na influência no estado emocional e no bem-estar das pessoas. Vários trabalhos realizados no Brasil apontam alguns problemas frequentes nos sistemas de iluminação, os quais geralmente estão fora dos padrões técnicos adequados. Os problemas mais recorrentes são: iluminação em excesso, falta de

aproveitamento da iluminação natural, uso de equipamentos com baixa eficiência luminosa, falta de comandos (interruptores) nas luminárias, ausência de manutenção e hábitos de uso inadequados (Rodrigues, 2002).

Para Cervelin (2002) todos os ambientes precisam estar adequadamente iluminados, de modo que permita as execuções das tarefas para a qual o ambiente é destinado e desta forma o objetivo de um sistema de iluminação artificial é justamente proporcionar a iluminação adequada e evitar desperdícios.

Tratando de eficiência energética, as possibilidades de AEE nos sistemas de iluminação artificial, podem ocorrer através da substituição de equipamentos como lâmpadas, reatores e luminárias e na instalação de dispositivos de controle como interruptores, sensores de presença, *dimmers*, etc. Também pode-se considerar a possibilidade de maior aproveitamento da iluminação natural com redução da carga da iluminação artificial (Copel, 2016).

A maioria das lâmpadas destinadas à iluminação residencial era do tipo incandescente, que consumia muita energia e durava um curto período, até o início de sua restrição comercial em 2010. Desde então, gradativamente, esses produtos foram substituídos pelas fluorescentes compactas, ou lâmpadas eletrônicas, quatro vezes mais eficientes e seis vezes mais duráveis que as incandescentes, porém com maior impacto ambiental. Mais recentemente, percebeu-se o início da popularização das lâmpadas LED (INMETRO, 2016).

Conforme Santos (2007), a contribuição do consumo energético do sistema de iluminação artificial em uma instalação elétrica é de cerca de 23% no setor residencial, 44% no setor comercial e serviços públicos e 1% no setor industrial. No estudo realizado por Maggi (2013) as luminárias do tipo LED atingiram níveis de iluminação similares aos das luminárias com lâmpadas VS, referências em eficiência energética até então no sistema de iluminação artificial em ambientes externos, com praticamente 50% da potência elétrica.

2.5.1 Luminárias de LED

Segundo Teixeira (2016), o LED (*Light Emitting Diode*) é feito de uma variedade de materiais semicondutores e demais elementos. A combinação desses materiais é o que torna possível a geração da luz e que determina a cor da luz emitida, quando há a passagem da corrente elétrica pelo LED. Para Santos (2011) os LEDs são

semicondutores que convertem eletricidade em luz por meio das interações dos elétrons. Trabalham em tensão reduzida, não possuem filamentos, que é o grande responsável por converter a maior parte da energia elétrica em energia térmica que significa desperdício, e nem descarga elétrica.

O componente mais importante do LED é o *chip* semiconductor, pois é responsável pela geração de luz, e normalmente o componente final é chamado apenas de LED ou componente LED. Existem duas categorias de encapsulamento de LED: SMD (*surface mount*) e o tipo lâmpada (*through-hole* ou *T-hole*). Há, ainda, uma tendência de se usar a tecnologia COB (*chip on board*) para encapsulamento LED, possibilitando maior densidade de *chips* LED (38 vezes mais que a *T-hole* ou 8,5 vezes mais que a SMD) em um único componente. Além da redução do tamanho do LED, outras vantagens do uso do COB seriam maior durabilidade, estabilidade, confiabilidade, uniformidade da luz emitida e intensidade luminosa (Teixeira, 2016).

A Figura 7 detalha as categorias de LED e os componentes de LED que são definidos por ser um conjunto montado (encapsulado) de uma ou mais pastilhas (*chips* ou *die*) de LED, com terminais elétricos, podendo conter ou não lente primária. Dentre os diversos tipos estão o HP-LED (*High Power*), MP-LED (*Mid Power*), LP-LED (*Low Power*) e COB (*Chip-on-board*). Este último é utilizado em algumas configurações. O componente de LED apresenta-se pronto para ser montado em placas de circuito impresso ou em conectores (Abilux, 2019).

Figura 7 – Categorias de LED.



Fonte: Abilux, 2017.

Já um módulo de LED conforme detalhe na Figura 8, é um dispositivo composto por diodos emissores de luz (LED) próprios para montagem em superfície (SMD), podendo conter conector, diodo e resistor montados em placa de circuito impresso com ou sem lente e dissipador de calor. Não contém o *driver* (Abilux, 2019).

Figura 8 – Módulo de LED.



Fonte: Abilux, 2019.

Os LEDs emitem luz de forma direcional, e em geral para luminárias deste tipo são utilizadas lentes ao invés de refletores que beneficia a distribuição da luminosidade (Maggi, 2013). Considerando todo o conjunto com driver, módulo, lente e carcaça assim formando uma luminária de LED, conforme detalha a Figura 9 com um exemplo de uma luminária para o sistema de iluminação pública, que possui um tamanho reduzido se comparados com luminárias com lâmpadas VS de alta pressão convencionais.

Figura 9 – Modelo luminária de LED para poste.



Fonte: Abilux, 2019.

As vantagens do LED são inúmeras quando comparado às demais tecnologias de iluminação, maior eficiência luminosa, é possível de fazer ajustes dinâmicos (dimerização), oferecem visibilidade superior nos ambientes deixando-o mais seguro, possuem maior tempo de vida útil, um menor tempo de resposta no acionamento ao ligar e desligar e, por fim, maior proteção ao meio ambiente, já que não emite radiação ultravioleta e não dispõe de metais pesados em sua fabricação (Teixeira, 2016).

2.5.2 Iluminação Pública – IP

Todo e qualquer sistema de Iluminação artificial, seja ele de interiores, exteriores, túneis e vias, possui recomendações mínimas regidas por normas regulamentadoras. No caso da Iluminação Pública – IP, deve ser projetada, para atender aos requisitos estabelecidos nas normas NBR 5101:2018 – Iluminação Pública – Procedimentos, que visa a adequação da iluminação artificial às necessidades das vias, sendo ela para tráfego de veículos e/ou pessoas.

Considerando ainda o conjunto do sistema de iluminação artificial, tem-se a NBR 15.129:2012 – Luminárias para Iluminação Pública – Requisitos Particulares, que determina os requisitos para as luminárias IP e outras categorias de aplicação para ambientes externos com equipamentos integrados ou não.

Os principais critérios de avaliação da qualidade de iluminação consideram como parâmetros, sob avaliação e respectivas exigências de vias de circulação de veículos e pedestres, os seguintes indicadores (ABNT, 2018):

- Iluminância média (E_{med}) – Refere-se ao valor médio de cada uma das medições locais de iluminância realizadas. Em resumo, diz respeito à quantidade de luminosidade observada no ambiente.
- O fator de uniformidade (U) – É calculado pela razão entre a iluminância mínima (E_{min}) ao longo das medições realizadas e a iluminância média (E_{med}). Este índice reflete o quão uniformemente iluminado o ambiente inspecionado está, onde se deseja que a iluminação ambiente seja a mais uniforme possível, minimizando pontos de sombreamento, e quanto mais próximo o U estiver de 1 ou 100% mais uniforme será a iluminação da via.

- A luminância média (L_{MED}) – É o valor médio da luminância na área delimitada pela malha de ponto considerada, ao nível da via. Sua unidade de medida é em candelas por metro quadrado (cd/m^2).
- Uniformidade Global da Luminância (U_0) – Semelhantemente ao U , calcula-se este indicador a partir do quociente entre a luminância mínima e a luminância média. Além disso, pode-se concluir que o objetivo para determinação de U e U_0 são os mesmos, sendo estes para iluminância e luminância, respectivamente.

Cabe destacar que a iluminância média e o fator de uniformidade são os principais fatores para avaliação da qualidade de iluminação de um ambiente, onde são estabelecidos valores médios mínimos, de acordo com a classificação da via, segundo sua importância, tipo e volume de tráfego. Esses fatores são complementares, de forma que o atendimento a apenas um dos critérios não é suficiente para garantir a qualidade de iluminação do ambiente analisado.

As recomendações de iluminação estão em classes, de V1 a V5 para veículos e de P1 a P4 para pedestres, e são selecionadas de acordo com a função da via e volume de tráfego. Os critérios de classificação de vias de circulação de veículos quanto a classe de iluminação é descrita no Quadro 1.

Quadro 1 – Critérios de classificação de vias de veículos quanto à iluminação.

Vias de veículos	Critério de classificação das vias	Classe de Iluminação considerada
Vias Arteriais	Vias arteriais que sejam avenidas com mais de 2 faixas de rodagem	V1
	Vias arteriais que sejam ruas e avenidas com até 2 faixas de rodagem	V2
Vias Coletoras	Vias coletoras que sejam avenidas com mais de 2 faixas de rodagem	V2
	Avenidas coletoras com até 2 faixas de rodagem e as vias coletoras que não sejam avenidas com mais de 2 faixas de rodagem	V3
	Vias coletoras que não sejam avenidas com até 2 faixas de rodagem	V4
Vias Locais	Vias locais com mais de 2 faixas de rodagem	V4
	Vias locais com até 2 faixas de rodagem	V5

Fonte: Adaptado ABNT NBR 5101, 2018.

O enquadramento de vias com relação ao volume de tráfego de veículos, características da via e suas respectivas classes de iluminação ocorre conforme o Quadro 2.

Quadro 2 – Enquadramento das vias por classe de iluminação.

Descrição da via	Classe de Iluminação
Vias de trânsito rápido; vias de alta velocidade de tráfego (máxima de 80 km/h) com separação de pistas, sem cruzamentos em nível e com controle de acesso; vias de trânsito rápido em geral; Autoestradas Volume de tráfego intenso Volume de tráfego médio	V1 V2
Vias arteriais; vias de alta velocidade de tráfego (máxima de 60 km/h) com separação de pistas; vias de mão dupla, com cruzamentos e travessias de pedestres eventuais em pontos bem definidos; vias rurais de mão dupla com separação por canteiro ou obstáculo. Volume de tráfego intenso Volume de tráfego médio	V1 V2
Vias coletoras; vias de tráfego importante; velocidade máxima de 40 km/h; vias radiais e urbanas de interligação entre bairros, com tráfego de pedestres elevado Volume de tráfego intenso Volume de tráfego médio Volume de tráfego leve	V2 V3 V4
Vias locais; velocidade máxima de 30 km/h; vias de conexão menos importante; vias de acesso residencial. Volume de tráfego médio Volume de tráfego leve	V4 V5

Fonte: Adaptado ABNT NBR 5101, 2018.

Os requisitos mínimos de avaliação da qualidade da iluminação de vias de veículos com relação a classe de iluminação seguem conforme o Quadro 3.

Quadro 3 – Requisitos por categoria de via para circulação de veículos.

Classe de Iluminação	Iluminância média mínima $E_{MED,MIN}$ [lux]	Fator de Uniformidade mínimo U_{MIN}	Luminância média mínima $L_{MED,MIN}$ [cd/m ²]	Uniformidade global da luminância média mínima $U_o U_{MIN}$
V1	30	0,4	2,00	0,4
V2	20	0,3	1,50	0,4
V3	15	0,2	1,00	0,4
V4	10	0,2	0,75	0,4
V5	5	0,2	0,50	0,4

Fonte: Adaptado ABNT NBR 5101, 2018.

Considerando as vias e os locais de circulação de pedestres, os requisitos mínimos de iluminação de cada classe de iluminação para circulação de pedestres são expressos no Quadro 4 e o enquadramento das vias de acordo com a intensidade de tráfego de pedestres no Quadro 5.

Quadro 4 – Requisitos por categoria de via de circulação de pedestres.

Classe de Iluminação	Iluminância global média mínima E_{MED}, E_{MIN} [lux]	Fator de Uniformidade mínimo U_{MIN}
P1	20	0,30
P2	10	0,25
P3	5	0,20
P4	3	0,20

Fonte: Adaptado ABNT NBR 5101, 2018.

Quadro 5 – Enquadramento das vias de pedestres por classe de iluminação.

Descrição da via	Classe de iluminação
Vias de uso noturno intenso por pedestres (por exemplo, calçadas, passeios de zonas comerciais).	P1
Vias de grande tráfego noturno de pedestres (por exemplo, passeios de avenidas, praças e áreas de lazer).	P2
Vias de uso noturno moderado por pedestres (por exemplo, passeios, acostamentos).	P3
Vias de pouco uso por pedestres (por exemplo, passeios de bairros residenciais).	P4

Fonte: Adaptado ABNT NBR 5101, 2018.

Considerando agora a iluminação para espaços públicos com predominância de pedestres, no caso de uma forma geral as praças, parques, calçadas e equivalentes, deve permitir no mínimo a orientação, o reconhecimento mútuo entre as pessoas, a segurança para tráfegos destas pessoas e o reconhecimento de obstáculos, além de proporcionar, a uma distância segura, informação visual suficiente a respeito do movimento das pessoas. Considera-se uma distância mínima segura de 4 metros com um nível de iluminância médio mínimo de 3 lux e máximo de 40 lux, não podendo ter níveis inferiores a 1 lux. O fator de uniformidade deve ser maior que 0,025 (ABNT, 2018).

2.6 Energia solar fotovoltaica

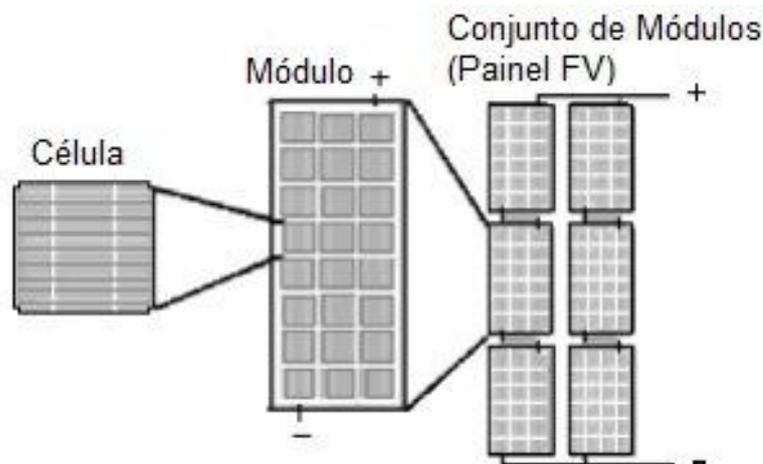
O Sol é a principal fonte de energia para a Terra e sua radiação constitui-se numa inesgotável fonte energética, havendo um enorme potencial de sua utilização através de sistemas de captação e conversão em outra forma de energia como, por exemplo, a térmica e a elétrica (Pinho, 2014). Ainda segundo este autor, a energia solar fotovoltaica é obtida através da conversão direta da luz solar em eletricidade através do efeito fotovoltaico, sendo a célula fotovoltaica, um dispositivo eletrônico fabricado com material semicondutor, a unidade fundamental desse processo de conversão. Este processo ocorre de modo silencioso, sem emissão de gases, sendo desnecessária a assistência de operador para o sistema e onde necessita somente da componente luminosa da energia solar (fótons).

As células fotovoltaicas responsáveis pela conversão, utilizam principalmente duas tecnologias: uma baseada no silício cristalino na forma de finas fatias de silício (Si), e outra baseada em filmes finos, que consiste na deposição de películas de diferentes materiais sobre uma base ou substrato (Rüther, 2004).

Um conjunto de células solares fotovoltaicas devidamente interligadas e acondicionadas, forma o módulo fotovoltaico. A quantidade de células conectadas em série determina a tensão de operação do módulo e a quantidade de células conectadas em paralelo, influencia na capacidade de corrente do módulo (Lamberts, 2010). Cerca de 90% dos módulos fotovoltaicos produzidos no mundo são compostos por células de silício monocristalino ou policristalino, sendo as de silício monocristalino mais eficientes, porém possuem maiores custos de produção (EPE, 2012).

Uma das vantagens deste sistema é a sua modularidade e autonomia na operação, sendo aplicados como fonte de energia em sistemas de bombeamento de água, fornecimento de energia em locais remotos, comunicações, satélites e veículos espaciais, geração em edifícios comerciais e residenciais no ambiente urbano e até mesmo para usinas em escala de mega a gigawatts (Parida, 2011). A Figura 10 contextualiza a descrição de célula, módulo e conjunto de módulos.

Figura 10 – Célula, módulo e painel fotovoltaico.



Fonte: Leva, 2004.

A tensão e a corrente desejadas para o sistema definem a categoria de associação dos módulos, que podem ser conectados em ligações em série e/ou em paralelo, sendo necessário para a escolha as informações de como será a instalação e quais componentes serão utilizados no sistema, pois a tensão e corrente resultante do arranjo deve ter total compatibilidade com os componentes (Pinho, 2014).

2.6.1 Sistema Fotovoltaico – SFV

Um Sistema Fotovoltaico – SFV é a denominação que recebe o conjunto de elementos necessários para realizar a conversão direta da energia solar em energia elétrica, com características adequadas para alimentar aparelhos elétricos e eletrônicos, tais como lâmpadas, televisores, geladeiras e outros. O SFV tem o painel fotovoltaico como principal componente e pode incluir, dependendo da aplicação, dispositivos para controle, supervisão, armazenamento e condicionamento de energia elétrica. Fazem parte também de um SFV o cabeamento, a estrutura de suporte e a fundação, quando necessária (Lamberts, 2010).

O SFV pode ser classificado em sistemas isolados – SFI e sistemas conectados à rede – SFCR. Assim os SFI, são normalmente instalados em locais sem acesso à rede elétrica, e em sua maioria utilizam um elemento armazenador de energia, que neste caso são baterias e os SFCR são vistos como uma forma de GD ao longo dos alimentadores da rede elétrica de distribuição, em baixa ou média tensão, e

contribuem para disponibilizar energia próximo ao ponto de consumo (Urbanetz, 2010). A Figura 11 destaca a classificação e formas de utilização do SFV.

Figura 11 – Classificação e forma de utilização SFV.



Fonte: Urbanetz, 2010.

No Brasil, a Resolução Normativa n.º 482 de 17 de abril de 2012 da ANEEL estabeleceu condições gerais para o acesso de minigeração e microgeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica (ANEEL, 2012). Sua versão mais recente, a Resolução Normativa n.º 687 de 24 de novembro de 2015, define os conceitos de micro e a minigeração distribuída, que consistem na produção de energia elétrica a partir de pequenas centrais geradoras que utilizam fontes renováveis de energia elétrica ou cogeração qualificada, conectadas à rede de distribuição através de instalações de unidades consumidoras (ANEEL, 2016c).

3 METODOLOGIA

O presente trabalho será classificado, de acordo com Silva (2005), do ponto de vista da sua natureza como pesquisa aplicada, pois objetiva gerar conhecimentos para solucionar problemas específicos, e neste caso a implantação da AEE como solução do problema relacionado ao consumo de energia elétrica da instituição de ensino.

Ainda segundo esta autora, considerando a forma de abordagem do problema a pesquisa será classificada como quantitativa e qualitativa, já que será necessário a análise dos dados do consumo de energia elétrica e de demanda dos equipamentos objetos da AEE que serão tratadas com auxílio de técnicas estatísticas e análise qualitativa da forma de uso dos equipamentos e nos benefícios não mensuráveis com a implementação do projeto.

Do ponto de vista de seus objetivos, para Gil (1991) a pesquisa será exploratória, por meio do levantamento de dados, análise documental e identificação através de visitas, entrevistas e inspeção visual de todas as características referentes ao sistema beneficiado com a AEE que trará o embasamento prático do estudo de caso, e da necessidade de análise do referencial teórico já realizado no capítulo anterior.

Os procedimentos técnicos, no caso a pesquisa exploratória deste trabalho, serão baseados no PROPEE, que determina os procedimentos dirigidos às distribuidoras e as proponentes para elaboração e execução de projetos de eficiência energética regulados pela ANEEL. Neste documento define-se a estrutura e a forma de apresentação dos projetos, os critérios de avaliação e de fiscalização e as categorias de projetos que podem ser realizados com recursos do PEE. O PROPEE é composto por 10 módulos, sendo que para elaboração deste trabalho serão necessários apenas a utilização dos módulos 4, 6, 7 e 8 deste material.

Desta forma propõem-se uma pesquisa das tipologias de projetos aceitas pelo PEE, uma análise das possíveis AEE disponíveis, caracterização do consumo energético e avaliação das perdas de energia, a disponibilidade de implantação de um SFV, um estudo da viabilidade técnico e financeira da proposta, a elaboração de um plano de M&V e, por fim, uma simulação computacional dos níveis de iluminação do sistema proposto.

3.1 Tipologias de projeto

Na análise do Módulo 4 – Tipologias de Projeto, constata-se que o PEE inclui projetos de eficiência energética em todos os setores da economia, classes de consumo e usos finais. Sendo que alguns projetos se revestem de características especiais quanto à importância para o desenvolvimento da eficiência energética ou forma de contratação, onde o PEE indica a forma prioritária de prospecção de projetos.

O Quadro 6 apresenta a AEE para cada tipologia de projeto possíveis de serem atendidos por CPP e os detalhes das definições de cada AEE que podem ser encontradas neste mesmo módulo do PROPEE.

Quadro 6 – Tipologias e características de projetos do PEE.

Tipologia	Ação de Eficiência Energética – AEE					
	Melhoria de Instalação	Educacional	Bônus Eletro eficiente	Gestão Energética	Geração Fontes Incentivadas	Aquecimento Solar
Industrial	X			X	X	X
Comércio e Serviços	X			X	X	X
Poder Público	X			X	X	X
Serviços Públicos	X			X	X	X
Rural	X			X	X	X
Residencial	X		X	X	X	X
Iluminação Pública	X					

Fonte: Adaptado Módulo 4 – Tipologias de Projeto - PROPEE.

Sabendo que a prospecção dos projetos será por meio da CPP, os parâmetros adotados neste projeto também terão como base o último edital de eficiência energética válido da concessionária local de distribuição de energia elétrica, no caso a CPP CEEE-D 001/2020, para fins de checagem das regras e do montante de recursos disponíveis para a tipologia de projeto.

As ações de eficiência energética disponíveis para a tipologia Poder Público envolvem a melhoria das instalações de uso final de energia, gestão energética e fontes incentivadas. No caso de melhoria de instalação podem ocorrer nos sistemas de iluminação artificial, condicionamento ambiental e sistemas motrizes com

implantação opcional através de contrato de desempenho sem obrigatoriedade de retorno do investimento.

Neste sentido esta proposta abrangerá a AEE de melhoria de instalação, que conforme definição do PROPEE (Módulo 1 – Glossário), são ações de eficiência energética realizadas em instalação de uso final da energia elétrica envolvendo a troca ou melhoramento do desempenho energético de equipamentos e sistemas de uso da energia. Portanto, inclui a substituição de equipamentos, automação, ações gerenciais e de mudança de comportamento em relação ao uso da energia, ações estas possíveis de serem aplicadas na instituição de ensino. Quanto a AEE com fontes incentivadas será abordada no item 3.7.

3.2 Análise prévia do consumo

Uma série histórica das faturas de energia elétrica permite identificar as relações entre os hábitos e o consumo, úteis para o planejamento de rotinas de combate ao desperdício, além de configurar base para a avaliação econômica. Desta forma pretende-se realizar uma análise nas faturas de um ciclo normal de utilização da UC de no mínimo 12 meses, na tentativa de caracterizar o uso de energia, traçar o perfil da carga e a identificação da concessionária, as fontes de energia utilizadas, os custos efetivos mensais de tarifa e demanda contratada, e a tensão de fornecimento, dados que serão utilizados nos preços de energia e no cálculo da Relação de Custo-Benefício – RCB.

Outra análise diz respeito à busca por variáveis de consumo e de demanda de energia elétrica, já que em uma instituição de ensino algumas variáveis dependentes podem ser de caráter fixo, como o tamanho da instituição, a estrutura do prédio, o tipo dos equipamentos, ou de caráter variável independente, como da quantidade de pessoas que frequentam o edifício, do tipo, período do ano e hábito de consumo dos usuários.

3.3 Identificação dos sistemas e uso da edificação

Nesta etapa ocorrerá a obtenção dos dados para o estudo. É uma avaliação, onde pretende-se realizar o reconhecimento da instalação e do uso geral da edificação/equipamentos, obter informações relevantes, como horário de

funcionamento, estimaco de uso de horas ao dia e por semana, se há sistemas de medio individuais para os equipamentos, os perodos de recesso e ausências em que o nvel de consumo reduz, o nmero de pessoas que ocupam e circulam no ambiente.

Outra informao julgada importante será o perodo de utilizao dos sistemas de energia em Horário de Ponta – HP e Fora de Ponta – FP para obteno do Fator de Coincidência da Ponta – FCP. No caso, para o sistema de iluminao artificial a busca de informao/quantificao destes equipamentos ocorrerá com base na Tabela 1.

Tabela 1 – Levantamento de dados do sistema de iluminao.

Sistema de Iluminao Artificial				Perfil de Uso	
Ambiente	Tipo	Potência (W)	Quantidade	Horas/Dia	Dia/ Semana
1				FCP:	
2				FCP:	
n				FCP:	

Fonte: Autor.

Ainda na análise em campo será avaliado se  necessário a substituio, eliminao ou adio de equipamentos considerando se os atuais equipamentos atendem a atual demanda ou se estão super ou subdimensionados.

Para fins quantitativos, serão realizados agrupamentos dos equipamentos considerando suas caractersticas fsicas e de utilizao aps o levantamento quantitativo e suas respectivas especificaoes para avaliao das hipteses de eficintizao dos sistemas de iluminao artificial da instituio. A Tabela 2 detalha a proposta de agrupamento dos dados do sistema de iluminao artificial atual.

Tabela 2 – Agrupamento sistema de iluminao artificial.

Descrio Atual	Unidade	Sistema			Total
		1	2	n	
Tipo de Lâmpada					
Potência (Total)	W				
Quantidade					
Potência Instalada	kW				

Fonte: Autor.

Com a necessidade de obter o perfil de uso ou estimativa de energia consumida e demanda utilizada no ano, serão consideradas as horas de uso mensuradas ou

informadas pelo consumidor. A estimativa do consumo de energia do sistema de iluminação artificial atual será associada por posto horário (ponta e fora de ponta), através da potência unitária, por tipo de luminária identificado, a partir de dados nominais (catálogos de fabricantes) e identificação do regime de funcionamento. A estimativa da participação do sistema de iluminação artificial atual em relação ao consumo total e demanda média será conforme a Tabela 3.

Tabela 3 – Energia e demanda média do sistema de iluminação atual.

Descrição Atual	Sistema			Total
	1	2	n	
Tipo de Lâmpada				
Potência (W) (Lâmpada + Reator)	pa_1			
Quantidade	qa_1			
Potência Instalada (kW)	Pa_1	$(pa_1 \times qa_1)/1000$		
Funcionamento (h/ano)	ha_1			
FCP	$FCPa_1$	Da_1/Ea_1		
Energia Consumida (MWh/ano)	Ea_1	$(Pa_1 \times ha_1)/1000$		E_a
Demanda média na ponta (kW)	Da_1	$Pa_1 \times FCPa_1$		D_a

Fonte: Adaptado PROPEE.

Importante destacar que a expressão sistema de iluminação artificial neste trabalho refere-se a todo um conjunto de equipamentos para fornecimento da iluminação artificial. Dentre os quais destacam-se os que consomem energia elétrica: as lâmpadas e reatores. Sendo as lâmpadas, responsáveis pelo fornecimento da energia luminosa e os reatores que são os componentes auxiliares para a operação adequada das lâmpadas de descarga e tem como função limitar a corrente, proporcionando as condições necessárias para a partida. No caso em especial da lâmpada LED, é utilizado um *drive* eletrônico incorporado na luminária.

3.4 Sistema proposto equivalente

Após a identificação e análise dos potenciais sistemas a serem eficientizados, serão definidos os parâmetros para os novos materiais e equipamentos, a vida útil e perdas. A escolha dos materiais e equipamentos considerará que os equipamentos instalados adquiridos com recurso do PEE devem ser energeticamente eficientes, onde se pondera equipamento eficiente aquele detentor do Selo PROCEL ou equivalente. A tecnologia proposta terá caráter comercial, ou seja, deverá estar disponível no mercado brasileiro por mais de um fornecedor.

Nesta etapa se faz necessário pesquisas baseadas em catálogos de diversos fabricantes e ensaios luminotécnicos para obtenção de informações técnicas, visando atingir níveis satisfatórios de economia e qualidade na iluminação artificial. Também quanto à utilização será considerado o mesmo perfil de uso dos equipamentos, para que as comparações tenham as mesmas condições de igualdade. A Tabela 4 propõe a estimativa de energia consumida e demanda da participação do sistema de iluminação artificial proposto.

Tabela 4 – Energia e demanda média do sistema de iluminação proposto.

Descrição Proposto	Sistema			Total
	1	2	n	
Tipo de Lâmpada				
Potência (W) (Lâmpada + Reator)	pp_1			
Quantidade	qp_1			
Potência Instalada (kW)	Pp_1		$(pp_1 \times qp_1)/1000$	
Funcionamento (h/ano)	hp_1			
FCP	$FCPp_1$		Dp_1/Ep_1	
Energia Consumida (MWh/ano)	P		$(Pp_1 \times hp_1)/1000$	E_p
Demanda média na ponta (kW)	Dp_1		$Pp_1 \times FCPp_1$	D_p

Fonte: Adaptado PROPEE.

As possíveis economias, após a identificação dos sistemas a serem eficientizados, terão como comprovação da redução de consumo proporcionada pela AEE, a análise da comparação entre os resultados de consumo de energia anterior e posterior com a mensuração da implementação da ação.

3.5 Metas do projeto

As metas de EE e da RDP, serão expressas em MWh/ano e kW, respectivamente, com base nos valores verificados no diagnóstico realizado conforme Tabela 5.

Tabela 5 – Resultados esperados do sistema de iluminação.

Descrição	Sistema			Total
	1	2	n	
Redução de Demanda na Ponta (kW)	RDP_1		$D_{a1} - D_{p1}$	
Redução de Demanda na Ponta (%)	$RDP_1 \%$		RDP_1 / D_{a1}	
Energia Economizada (MWh/ano)	EE_1		$E_{a1} - E_{p1}$	
Energia Economizada (%)	$EE_1 \%$		EE_1 / E_{a1}	

Fonte: Adaptado PROPEE.

3.6 Cálculo de viabilidade econômica

O Módulo 7 – Cálculo da Viabilidade do PROPEE dispõe dos critérios de viabilidade econômica do projeto, e é baseado na aplicação de custos evitados em decorrência da economia anual obtida nos custos dos sistemas a montante do segmento considerado pela postergação dos investimentos, neste caso o Custo da Demanda Evitada – CED e/ou redução de despesas operacionais, com o Custo de Energia Evitado – CEE. Assim, às duas variáveis apresentadas como metas do projeto serão primordiais para viabilização do projeto, a EE medida em MWh e a RDP medida em kW.

Os benefícios anualizados representam a quantificação dos custos totais evitados, multiplicando-se a quantidade da demanda e da energia evitadas (RDP e EE), pelos respectivos custos unitários evitados de energia e demanda (CEE e CDE). A memória de cálculo para se obter o benefício anualizado total segue conforme a Equação 1.

$$BA_T = (EE \cdot CEE) + (RDP \cdot CED) \quad (1)$$

Nesta fase da pesquisa se faz necessário a avaliação de custos de aquisição dos equipamentos, aplicação com uma taxa de juros de 8% a.a., de modo a obter os custos anualizados de todos os equipamentos e dos custos diretos e indiretos, considerando a vida útil de cada equipamento. O cálculo do Custo Anualizado Total – CA_T é realizado pela Equação 2.

$$CA_T = \sum_n CA_n \quad (2)$$

Considerando que CA_n é o custo anualizado de cada equipamento, incluindo mão de obra, encargos e impostos, despesas indiretas calculado pela Equação 3.

$$CA_n = CE_n \cdot \frac{CT}{CE_T} \cdot FRC \quad (3)$$

Onde:

$CE_n =$ Custo de cada equipamento;

$CE_T =$ Custo total em equipamentos;

$CT =$ Custo total do projeto;

$FRC =$ Fator de recuperação do capital;

O cálculo do Custo Total em equipamentos – CE_T é calculado pela Equação 4, onde se considera CE_n como o custo de cada equipamento.

$$CE_T = \sum_n CE_n \quad (4)$$

Enfim, o cálculo do Fator de Recuperação de Capital – FRC é feito pela Equação 5.

$$FRC = \frac{i \cdot (1 + i)^u}{(1 + i)^u - 1} \quad (5)$$

Onde u é a vida útil do equipamento que pode ser definida conforme dados técnicos do fabricante ou definição pelo edital da CPP e sendo i a taxa de desconto (juros) considerada para o projeto, conforme a taxa especificada no Plano Nacional de Energia (PNE), publicado pela EPE, vigente na data de submissão do projeto no PEE, e neste caso como já mencionado a taxa para o período recomendada é de 8% ao ano. A avaliação econômica do projeto será feita por meio do cálculo da RCB, obedecendo à Equação 6.

$$RCB = \frac{CA_T}{BA_T} \quad (6)$$

O cálculo da viabilidade é crucial para que o projeto seja viável do ponto de vista do PEE, ou seja, pela ótica do sistema elétrico, e assim a RCB para a tipologia setor público deverá ser menor ou igual a 0,8. No caso de projetos com contrato de desempenho, admite-se um valor para a RCB menor ou igual a 0,9.

3.7 Projetos com fontes incentivadas

O módulo 6 do PROPEE, trata de projetos de eficiência energética que incluem a geração de energia elétrica a partir de fonte incentivada de energia para suprimento de uma UC. A implantação de geração de energia elétrica no projeto, através de fontes incentivadas com recursos do PEE, só poderá ocorrer se as ações de eficiência energética economicamente viáveis forem ou já tiverem sido realizadas na instalação do consumidor. Se atendido este critério, no projeto poderá constar uma descrição qualitativa das ações, como: a EE, a RDP e o aproveitamento da fonte que será utilizada disponível. Além da justificativa para escolha da fonte incentivada e os dados do projeto, bem como a relação e custos dos materiais que serão utilizados e a capacidade de geração.

Assim pretende-se buscar neste projeto o dimensionamento do SFV de modo a se obter uma mensuração da energia elétrica gerada, que será utilizada no cálculo de viabilidade do projeto. Especificações de projeto e homologação não serão objeto neste trabalho. Será feita uma análise de viabilidade econômica específica, considerando os benefícios energéticos do consumidor, valorados pelo preço pago pelo consumidor. Os projetos de fontes incentivadas devem apresentar os cálculos de RCB, e se o mesmo for menor ou igual a 0,8 não serão submetidos à avaliação inicial pela ANEEL, se for maior que 0,8 e menor que 1,0 poderá ser enviado para ANEEL para avaliação inicial simplificada, se for maior que 1,0 inviabiliza o projeto.

O cálculo da RCB será feito com os benefícios sendo computados separadamente, segundo sua origem. Sendo a razão entre o custo anualizado total do projeto e os benefícios da central geradora e os benefícios das ações de eficiência energética.

3.8 M&V

O Módulo 8 do PROPEE define os procedimentos de M&V da AEE. Ressalta-se que a finalidade desta proposta de trabalho é a elaboração de um diagnóstico energético, de caráter preliminar, etapa *ex ante* de um projeto de eficiência energética, sendo que para execução desta etapa não há obrigatoriedade da realização de medição de equipamentos segundo o PROPEE. Sendo assim o processo de M&V,

que ocorrerá na etapa de *ex post* será detalhado e apresentado em forma de procedimentos de acordo com a AEE.

3.9 Benefícios e outras ações integrantes de projeto

Outros benefícios, sejam mensuráveis ou não, serão pontuados como informações complementares, mas não serão considerados como variáveis ou benefícios-chave para financiamento através do PEE conforme descrito no edital da CPP 01/2020 da CEEE-D.

Outras ações integrantes de um projeto de eficiência energética segundo o PROPEE que visa estabelecer as diretrizes para ações que devem integrar todos os projetos do PEE são: Treinamento, Capacitação e Descarte de Equipamentos. Estas ações são obrigatórias e devem estar incluídas nas propostas de projeto.

Desta forma serão consideradas e incluídas no projeto atividades de Treinamento e Capacitação que buscam estimular e consolidar as práticas de eficiência energética na UC beneficiada com AEE desenvolvida pelo PEE, bem como difundir o seu conceito propagando a cultura de conservação do uso de energia em comunidades ou grupos de consumidores beneficiados com os projetos.

Já o descarte de equipamentos será proposto de modo a garantir que os equipamentos substituídos sejam descartados da forma correta. Todos os materiais e equipamentos destinados ao descarte deverão ser destinados e dispostos de maneira ambientalmente adequada, obedecendo à Lei n.º 12.305 de 2 de agosto de 2010 que estabelece a Política Nacional de Resíduos Sólidos.

3.10 Simulações computacionais

Com a possibilidade de utilizar recursos computacionais que facilitam a elaboração dos projetos luminotécnicos, e na tentativa de obter os requisitos mínimos da NBR 5101:2018, será adotado o *software* DIALux evo em sua versão 9.2, uma ferramenta gratuita e de amplo uso por profissionais da área de luminotécnica, na projeção e estudo dos índices de iluminância para o ambiente analisado por meio do arquivo técnico da luminária, que auxiliará na validação e/ou na necessidade de adequação dos ambientes que serão beneficiados com a AEE no sistema de iluminação externa.

4 ESTUDO DE CASO

Com a elaboração do diagnóstico energético objetiva-se apresentar as oportunidades de uso eficiente de energia elétrica no Campus do Vale – Setor Anel Viário da UFRGS e introduzir na UC o contexto de geração de energia elétrica a partir de fontes incentivadas.

O fornecimento de energia do Campus do Vale é de responsabilidade da Companhia Estadual de Distribuição de Energia Elétrica – CEEE/D, com modalidade tarifária horária azul, fornecimento em 69 kV e subgrupo A3, com uma demanda contratada de 5,1 MW no FP e 2,3 MW no HP, sendo a classe de consumidor enquadrada como Poder Público Federal. O Campus do Vale tem uma demanda média permanente de 1,5 MW, com cargas ininterruptas do sistema de refrigeração de alguns laboratórios, de condicionamento ambiental e iluminação externa.

Este trabalho buscou identificar oportunidades com melhor detalhamento técnico dos equipamentos e possíveis ineficiências dos sistemas energéticos, de modo a maximizar o retorno dos investimentos e das ações propostas, trazendo maior retorno para a UC. E, naturalmente, com a consolidação da tecnologia LED e redução contínua do custo de aquisição e instalação, primeiramente foram avaliadas as edificações e áreas que apresentassem maior número de lâmpadas com tecnologias obsoletas, encontrando nas áreas externas luminárias com lâmpadas VS, além do fato destes equipamentos terem FCP igual a 1, o que representa, um resultado significativo de utilização no HP.

Desta forma, definiu-se esta área como sendo alvo de uma parte do projeto. A outra oportunidade de estudo desta proposta de projeto diz respeito às fontes incentivadas, onde será proposto a implantação de um SFV no solo que auxiliará na redução do custo de energia elétrica.

Os estudos foram realizados baseando-se na utilização de materiais energeticamente eficientes disponíveis no mercado, com vistas à redução dos custos com energia elétrica após instalados, não afetando o desempenho das condições atuais nos ambientes. Em resumo o projeto propõe-se a aplicação das seguintes tecnologias:

- Substituição de 15 pontos em poste metálico com lâmpada VS 250W e seus respectivos reatores, por luminárias do tipo LED de 150W;

- Substituição de 46 pontos em poste de distribuição com braço tipo iluminação pública com lâmpada VS 250W e seus respectivos reatores, por luminárias do tipo LED de 150W;
- Substituição de 31 pontos com luminárias do tipo pétala de 4x400W com lâmpada VS e reatores, por luminárias do tipo LED de 4x186W;
- Substituição de 5 pontos com luminárias do tipo pétala de 1x250W com lâmpada VS e reatores, por luminárias do tipo LED de 1x150W;
- Substituição de 20 pontos com luminárias do tipo pétala de 2x250W com lâmpada VS e reatores, por luminárias do tipo LED de 2x150W;
- Substituição de 30 pontos com luminárias do tipo pétala de 4x250W com lâmpada VS e reatores, por luminárias do tipo LED de 4x150W;
- Substituição de 266 pontos em poste decorativo com braço refletor e lâmpada VS de 70W e reatores, por luminárias LED de 30W;
- Substituição de 168 pontos em poste reto/curvo com lâmpada VS de 150W e seus respectivos reatores, por luminárias LED de 70W;
- Implantação de um SFV com potência instalada de 157,4 kWp.

O diagnóstico energético foi elaborado com base no PROPEE e os estudos realizados e os resultados apresentados neste diagnóstico energético têm como base os dados obtidos junto à Superintendência de Infraestrutura – SUINFRA da Universidade através de informações técnicas, faturas de energia, memoriais descritivos e análise dos projetos, além do levantamento em campo.

4.1 Análise prévia de consumo

Os dados de consumo de energia elétrica e demanda foram apurados através das faturas de energia elétrica fornecidas pela CEEE-D. Para análise do perfil carga, consolidou-se os dados do ano de 2019 que representa uma situação normal de utilização da UC e o período do ano de 2020, que em virtude da pandemia de COVID-19, apresenta uma redução no consumo e na demanda registrada, uma vez que a universidade durante este período esteve com as suas atividades suspensas.

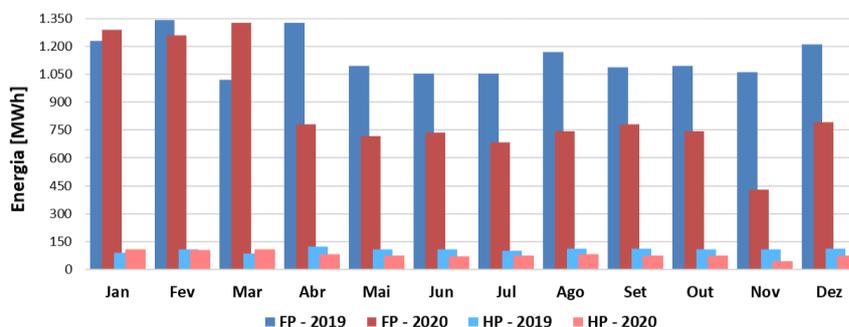
O Quadro 7, resume o consumo da UC nos períodos de 2019 a 2020 e a Figura 12 ilustra o consumo mensal de energia elétrica no HP e FP para a UC neste mesmo período.

Quadro 7 – Consumo mensal de energia elétrica da UC avaliada neste projeto.

Mês/Ano	Consumo [kWh]	Mês/Ano	Consumo [kWh]
Jan/19	1.317.627	Jan/20	1.395.492
Fev/19	1.449.990	Fev/20	1.365.231
Mar/19	1.107.392	Mar/20	1.434.650
Abr/19	1.448.825	Abr/20	863.758
Mai/19	1.203.832	Mai/20	792.519
Jun/19	1.163.575	Jun/20	808.010
Jul/19	1.155.511	Jul/20	760.949
Ago/19	1.281.854	Ago/20	825.342
Set/19	1.199.450	Set/20	857.416
Out/19	1.201.151	Out/20	818.510
Nov/19	1.171.534	Nov/20	474.936
Dez/19	1.321.453	Dez/20	866.873

Fonte: Adaptado Faturas Energia Elétrica CEEE-D.

Figura 12 – Consumo mensal de energia elétrica (MWh) no HP e FP.



Fonte: Autor.

No comparativo do consumo de energia elétrica dos anos de 2019 e 2020, este último com reflexo da redução do consumo de energia elétrica devido à pandemia, ocorreu uma redução no consumo em torno de 35% no FP. Observa-se também a existência de consumo no HP para todos os meses de registro, e que a demanda no HP não sofre significativas alterações, no qual se constata que a iluminação externa neste período tem uma contribuição significativa, já que é utilizada como ferramenta para a segurança no Campus e possui seu funcionamento ininterrupto nesse período. Com o objetivo de verificar o comportamento da demanda máxima registrada mensalmente e sua significância no HP e FP foram apurados os valores para o mesmo período do consumo de energia da UC e materializados no Quadro 8.

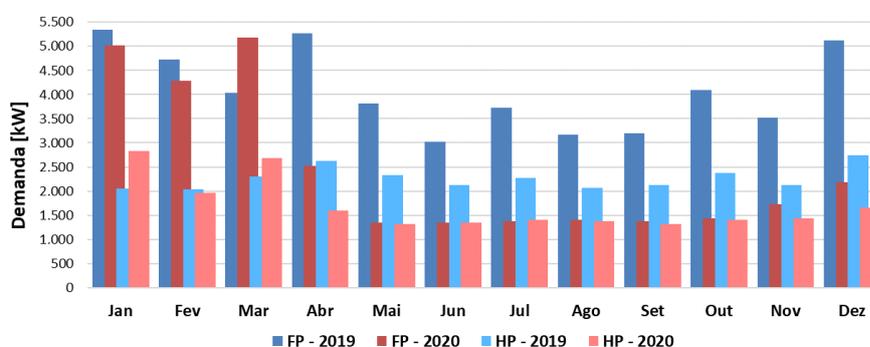
Quadro 8 – Demanda registrada na UC.

Mês/Ano	Demanda (KW)		Mês/Ano	Demanda (kW)	
	P	FP		P	FP
Jan/19	2.051	5.337	Jan/20	2.828	5.012
Fev/19	2.043	4.719	Fev/20	1.960	4.284
Mar/19	2.296	4.032	Mar/20	2.688	5.180
Abr/19	2.632	5.264	Abr/20	1.596	2.520
Mai/19	2.324	3.808	Mai/20	1.316	1.344
Jun/19	2.128	3.024	Jun/20	1.344	1.344
Jul/19	2.268	3.724	Jul/20	1.400	1.372
Ago/19	2.072	3.164	Ago/20	1.372	1.400
Set/19	2.128	3.192	Set/20	1.316	1.372
Out/19	2.380	4.088	Out/20	1.400	1.428
Nov/19	2.128	3.528	Nov/20	1.428	1.736
Dez/19	2.744	5.124	Dez/20	1.652	2.184

Fonte: Adaptado Faturas Energia Elétrica CEEE-D.

Com relação ao ano de 2020 verificou-se que a demanda média registrada no HP foi de 1.692 kW, que representa 73,56% da demanda contratada (2.300 kW), evidenciando que mesmo em um período em que a UFRGS diminuiu a intensidade de utilização de energia, há uma demanda significativa de potência. A Figura 13 ilustra a demanda máxima mensal registrada para os períodos de 2019 e 2020 onde constata-se que o Campus dispõe de uma demanda permanente abaixo de 2 MW e que no HP o sistema de iluminação externa contribui para este resultado.

Figura 13 – Demanda (kW) mensal de energia elétrica no HP e FP – 2019 e 2020.



Fonte: Autor.

Com a AEE e a implantação de fontes incentivadas, que serão descritas nos próximos tópicos, será possível obter uma EE, com relação ao período de 2019,

estimada de aproximadamente 4,1% sobre o total consumido na UC e uma RDP de cerca de 3,9% conforme Equação 7 e 8 respectivamente.

$$EE[\%] = \frac{\text{Redução de EE estimada}}{\sum \text{Consumos mensais últimos 12 meses}} \quad (7)$$

$$RDP[\%] = \frac{\text{Redução de demanda estimada}}{\text{Demanda média das UC – Ponta}} \quad (8)$$

4.2 Detalhamento das instalações

Foram analisadas todas as luminárias instaladas em passeios, vias e áreas externas que não fossem de tecnologia LED. Estes pontos estão em sua maioria próximos de prédios, em áreas de estacionamento, na via de circulação de veículos e dispõem de lâmpadas do tipo VS de 70W, 150W, 250W e 400W de fabricantes diversificados, onde se estima uma vida útil entre 24.000 e 32.000 horas. A Figura 14 destaca o mapa com a localização aproximada dos pontos de iluminação artificial que foram alvo deste estudo.

Figura 14 – Mapa com a localização dos pontos de iluminação artificial externa.



Fonte: Autor.

Após o levantamento, da pesquisa exploratória, as informações obtidas sobre o sistema de iluminação artificial externo do Campus foram resumidas na Tabela 6.

Tabela 6 – Sistema de Iluminação Externo Campus do Vale – Setor Anel Viário.

Tipo de equipamento / Tecnologia	Quantidade		Potência (W)		
	Qtde	Lâmpada	Lâmpada	Reator	Instalada
1 - Luminária em poste reto metálico – 8 m	15	15	250	24	4.110
2 - Luminária em braço tipo poste de distribuição	46	46	250	24	12.604
3 - Luminária Tipo Pétala – 4x400W – 15 m	31	124	400	32	53.568
4 - Luminária Tipo Pétala – 1x250W – 12 m	5	5	250	24	1.370
5 - Luminária Tipo Pétala – 2x250W – 12 m	20	40	250	24	10.960
6 - Luminária Tipo Pétala – 4x250W – 12 m	30	120	250	24	32.880
8 - Poste metálico com braço refletor – 4 m	266	266	70	12	21.812
9 - Luminária em poste metálico reto/curvo – 6 m	168	168	150	18	28.224

Fonte: Autor.

Identifica-se que há uma potência instalada total para o sistema de iluminação artificial externo próximo de 165,5 kW no Campus do Vale – Setor Anel Viário que representa 7,19% da demanda contratada no HP. Para estimar o consumo de energia elétrica anual deste sistema foi considerado a utilização de 12 horas por dia, com 3 horas de utilização no horário de ponta durante os 365 dias.

4.3 AEE para o sistema de iluminação

Com o objetivo de consolidar as informações levantadas e conforme estabelecido nos PROPEE em seu Módulo 4 – Tipologias de Projeto, os dados do sistema atual de iluminação artificial externo foram organizados com seus respectivos totais no Quadro 9. Desta forma como já mencionado que o sistema de iluminação artificial externa do Campus dispõe de lâmpadas VS de 70W, 150W, 250W e 400W e possuem as mesmas características de uso, estas foram agrupadas em função da potência da lâmpada em 4 conjuntos conforme apresentado na Tabela 7.

Quadro 9 – Dados do sistema de iluminação atual – Total.

				TOTAL
1	Tipo de equipamento / tecnologia			
	Quantidade de pontos de iluminação			581
2	Lâmpadas	Potência	W	p_{lai}
3		Quantidade		q_{lai}
				784
2	Reatores	Potência	W	p_{rai}
3		Quantidade		q_{rai}
				784
4	Potência instalada		kW	P_{ai}
				165,53
5	Tempo de utilização do sistema, em um dia		h/dia	
	Dias de utilização do sistema, em um ano		dia/ano	
	Funcionamento		h/ano	h_{ai}
6	Horas de utilização em horário de ponta, em um dia		h/dia	n_{upai}
	Dias úteis de utilização em horário de ponta, em um mês		dia/mês	$ndai$
	Meses de utilização em horário de ponta, em um ano		mês/ano	nm_{ai}
	Potência média na ponta		kW	d_{ai}
	Fator de coincidência na ponta			FCP_{ai}
				165,53
7	Energia consumida		MWh/ano	E_{ai}
				725,01
8	Demanda média na ponta		kW	D_{ai}
				165,53

Fonte: Adaptado PROPEE.

Tabela 7 – Dados do sistema de iluminação atual – Por conjunto.

	Ilum. 1	Ilum. 2	Ilum. 3	Ilum. 4
	VS 70	VS 150	VS 250	VS 400
1	266	168	116	31
2	70	150	250	400
3	266	168	226	124
2	12	18	24	32
3	266	168	226	124
4	21,81	28,22	61,92	53,57
	12:00	12:00	12:00	12:00
5	365,00	365,00	365,00	365,00
	4.380	4.380	4.380	4.380
	3:00	3:00	3:00	3:00
	22,00	22,00	22,00	22,00
6	12,00	12,00	12,00	12,00
	21,81	28,22	61,92	53,57
	1,00	1,00	1,00	1,00
7	95,54	123,62	271,23	234,63
8	21,81	28,22	61,92	53,57

Fonte: Adaptado PROPEE.

O novo sistema de iluminação proposto compreende a utilização de tecnologia LED nas luminárias, mais eficiente do ponto de vista econômico e que proporciona uma melhora nos níveis de iluminação com relação ao conforto e bem-estar, na substituição das luminárias existentes já que estas podem ser consideradas obsoletas. Serão mantidos os elementos de fixação, neste caso os postes e as mesmas quantidades conforme detalhe no Quadro 10.

Quadro 10 – Comparativo eficiência equipamentos atuais e propostos.

Equipamento Existente	Novo Equipamento	Quantidade
Luminária VS 70W ~ 90 lm/W	Luminária LED 30W ~ 138 lm/W	266
Luminária VS 150W ~ 120 lm/W	Luminária LED 70W ~ 149 lm/W	168
Luminária VS 250W ~ 128 lm/W	Luminária LED 150W ~ 143 lm/W	226
Luminária VS 400W ~ 125 lm/W	Luminária LED 186W ~ 150 lm/W	124

Fonte: Autor.

Nas Figuras 15 e 16 são apresentados os modelos das luminárias adotadas como referência para AEE no sistema de iluminação artificial. Foram utilizadas luminárias que apresentaram a melhor eficiência, dispunham de características técnicas semelhantes e de certificação do INMETRO, além de comercialização em território nacional. Também foi considerada a disponibilidade de acionamento por telegestão do equipamento para uma futura implementação desta tecnologia no sistema de iluminação externa da UC.

Figura 15 – Modelo da luminária LED de 30W.



Fonte: Adaptado catálogo técnico TECNOWATT, 2020.

Figura 16 – Modelo da luminária LED de 70W, 150W e 186W.



Fonte: Adaptado catálogo técnico LEDSTAR, 2020.

O Quadro 11 detalha as especificações técnicas dos modelos fornecidos pelos fabricantes TECNOWATT e LEDSTAR adotados como base para este projeto.

Quadro 11 – Especificações técnicas das luminárias propostas.

Modelo Características Elétricas	TAU-30 TECNOWATT	SLDURA-70 LEDSTAR	SLDURA-150 LEDSTAR	SLDURA-186 LEDSTAR
Potência Nominal de Rede (W)	30	70	150	186
Faixa de Tensão Nominal (V)	90 a 305			
Frequência Nominal (Hz)	50-60			
Fator de Potência	>0,96	>0,92	>0,92	>0,92
Distorção Harmônica (THD) (%)	<10			
Fluxo Luminoso da Luminária (lm)	4.140	10.481	21.549	28.028
Eficácia da Luminária (lm/W)	138	149,73	143,65	150,69
Índice de Reprodução de Cor (IRC)	>70			
Temperatura de Cor (TCC) (K)	5.000			
Expectativa de Vida da Luminária (h)	>100.000	>90.000	>90.000	>90.000
Grau de Proteção	66			

Fonte: Adaptado catálogo técnico TECNOWATT/LEDSTAR, 2020.

Com a proposta de instalação destes equipamentos tem-se, conforme o Quadro 12, o total de energia consumida e demanda média na ponta para esta tecnologia. A Tabela 8 detalha o uso individual de cada equipamento proposto considerando o agrupamento das luminárias em quatro conjuntos de 30W, 70W, 150W e 186W.

Quadro 12 – Dados do sistema de iluminação proposta – Total.

				TOTAL
11	Tipo de equipamento / tecnologia			
	Quantidade de pontos de iluminação			581
12	Lâmpadas	Potência	W	p_{lai}
13		Quantidade		q_{lai}
12	Reatores	Potência	W	p_{rai}
13		Quantidade		q_{rai}
14	Potência instalada			76,70
	Tempo de utilização do sistema, em um dia			h/dia
15	Dias de utilização do sistema, em um ano			dia/ano
	Funcionamento			h/ano
	Horas de utilização em horário de ponta, em um dia			h/dia
	Dias úteis de utilização em horário de ponta, em um mês			dia/mês
16	Meses de utilização em horário de ponta, em um ano			mês/ano
	Potência média na ponta			kW
	Fator de coincidência na ponta			FCP_{ai}
17	Energia consumida			MWh/ano
18	Demanda média na ponta			kW
				335,96
				76,70

Fonte: Adaptado PROPEE.

Tabela 8 – Dados do sistema de iluminação proposta – Por conjunto.

	Ilum. 1	Ilum. 2	Ilum. 3	Ilum. 4
	LED 30	LED 70	LED 150	LED 186
11	266	168	116	31
12	30	70	150	186
13	266	168	226	124
12	0	0	0	0
13	0	0	0	0
14	7,98	11,76	33,90	23,06
	12:00	12:00	12:00	12:00
15	365,00	365,00	365,00	365,00
	4.380	4.380	4.380	4.380
	3:00	3:00	3:00	3:00
	22,00	22,00	22,00	22,00
16	12,00	12,00	12,00	12,00
	7,98	11,76	33,90	23,06
	1,00	1,00	1,00	1,00
17	34,95	51,51	148,48	101,02
18	7,98	11,76	33,90	23,06

Fonte: Adaptado PROPEE.

O benefício monetário anual previsto com a implantação da AEE obtido com a EE e RDP do sistema de iluminação externa foi de R\$ 161.348,14, considerando o CEE de R\$ 347,77 e o CED de R\$ 293,26 conforme edital da CPP CEEE-D 01/2020 para UC atendida com o nível de tensão de 69 kV.

Quadro 13 – Resultados esperados com a AEE.

			TOTAL	
Redução de demanda na ponta		kW	RDP_i	88,82
Custo evitado de demanda (CED)	293,26	%	$RDP_i\%$	53,66%
Energia economizada		MWh/ano	EE_i	389,05
Custo da energia evitada (CEE)	347,77	%	$EE_i\%$	53,66%
Benefício anualizado Iluminação		R\$	B_{ilum}	161.348,14

Fonte: Adaptado PROPEE.

A partir dos indicadores calculados (EE e RDP) pode-se verificar que há uma estimativa de redução de consumo de energia e de demanda média da ponta de 53,66% com relação ao sistema atual de iluminação externa. O resultado obtido com os benefícios monetários anuais será utilizado no cálculo de viabilidade da proposta.

4.4 Estudos luminotécnicos

Na tentativa de validar a AEE proposta neste diagnóstico energético foram realizadas algumas simulações computacionais adotando o novo sistema de iluminação artificial externo com base nos requisitos mínimos de referência definidos pela NBR 5101:2018. A ferramenta de simulação utilizada foi o *software* DIALux evo e a avaliação foi baseada na premissa de que todas as luminárias com lâmpadas VS fossem substituídas por luminárias LED mantendo-se a posição e característica do elemento de fixação (poste) existente.

As vias do Campus possuem os seguintes usos: tráfego de pedestre, vias de circulação e estacionamento de veículos. Devido a sua dimensão territorial e da complexidade da simulação, foi proposto uma análise simplificada, com base em amostragem de algumas áreas de referência que possuem características construtivas em comum com as demais e dispõe de mesma tecnologia de iluminação artificial. Desta forma foram considerados 7 áreas, conforme Figura 17, para simulação do sistema de iluminação externo proposto para a UC.

Figura 17 – Simulação iluminação externa Campus do Vale.



Fonte: Autor.

As vias de pedestre estão concentradas na área interna ao Campus, próximos às edificações, aos blocos de sala de aula, e no caso, quando de uso noturno, foi considerado um moderado fluxo de pessoas (alunos, professores, servidores e pessoas em geral), sendo esta modalidade de via abordada nas duas primeiras áreas.

A área 1 com cerca de 3.500 m², é caracterizada por calçadas e espaços de drenagem com vegetação, e definida segundo a NBR 5101:2018 como uma área de grande movimento de pessoas. Os equipamentos de iluminação neste espaço constam com 2 postes de 15 metros do tipo pétala 4x400 W e com 15 postes decorativos de 4 metros com braços de luminárias refletivas de 70W. Para esta categoria de ambiente, com luminárias não espaçadas por igual, foi utilizado o módulo do *software* DIALux evo específico para planejamento de áreas externas.

Para o cálculo foi considerado uma malha de medição com pontos de medição a cada 4 metros conforme demonstra a Figura 18. Com a adoção da tecnologia LED com lâmpadas de 186W e 30W, e considerando o solo como superfície de medição, foi possível obter uma E_{med} de 41,3 lux e um U de 0,095 atendendo os requisitos mínimos da norma, sendo o mínimo exigido de 3 lux de iluminância média e um U de 1:40 (0,025). Também é observado na malha de medição simulada que todos os pontos apresentam resultados acima de 1 lux exigidos pela norma.

Figura 18 – Área 1 – Espaço convivência Instituto de Letras

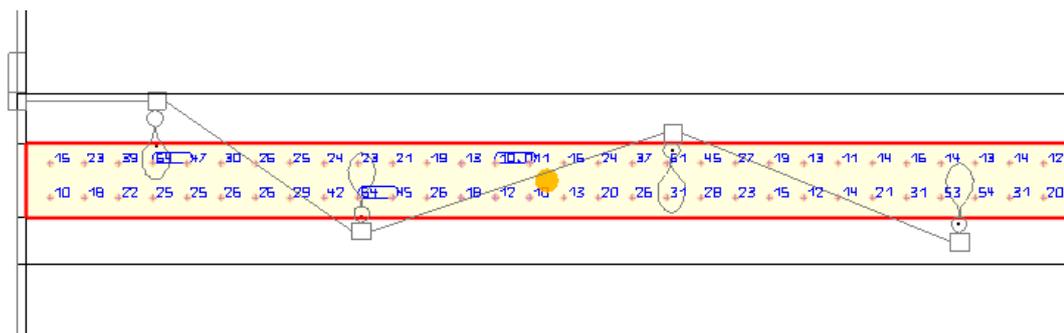


Fonte: Autor.

Na área 2, um ambiente de acesso entre e que separa os blocos de sala de aula, comum no Campus, caracterizada por uma via de pedestre com largura variando entre 2 a 4 metros e envoltos por vegetação, com no mínimo 4 pontos de iluminação espaçados em postes metálicos de 4 metros e luminária de decoração refletiva com lâmpada VS de 70W.

Considerando a substituição das luminárias por tecnologia LED de 30 W, para esta simulação foi adotado como parâmetro a classe de iluminação P1 com E_{med} mínimo de 10 lux e um U mínimo de 0,3. A malha de medição detalhada na Figura 19 para este ambiente, considerando a superfície de solo com pontos a cada 2 metros sobre o passeio, obteve um E_{med} de 25,2 lux e um U de 0,4.

Figura 19 – Área 2 – Corredores de pedestre entre blocos



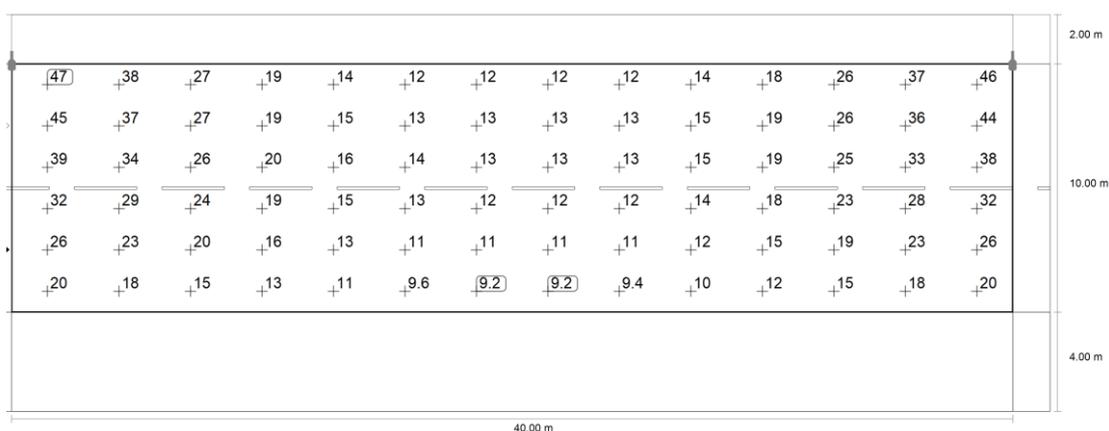
Fonte: Autor.

Para as áreas de circulação de veículos, que na sua maioria formam o anel viário ao entorno do Campus, com cerca de 5,6 km de ruas asfaltadas caracterizadas por vias simples com faixas duplas de rodagem, e vias duplas divididas por canteiro central também com duas faixas de rodagem. Segundo a NBR 5101:2018 a característica da classe de iluminação desta categoria de via de veículos para o Campus corresponde a uma via de tráfego importante com mais de uma faixa de rodagem e volume de tráfego médio com velocidade máxima de 40 km/h que corresponde a classe V3.

Desta forma a primeira área de veículos a ser analisada no Campus, será a de acesso pelo pórtico principal, definido pela área 3, que consta com luminárias em poste reto metálico e luminária sem braço a uma altura de montagem de 8 metros com lâmpadas de 250W de VS. Estes postes possuem um espaçamento unilateral médio de 40 metros e a via asfaltada apresenta uma largura de 10 metros com calçamento de 2 metros. Para esta categoria de ambiente, com a possibilidade de espaçamento por igual e unilateral será adotado o módulo do DIALux evo de iluminação de rua.

Com a simulação, adoção de luminárias LED de 150W, conforme Figura 20 que detalha os pontos da malha de medição, com o sistema de iluminação proposto foi possível obter uma E_{med} de 20,2 lux e um U de 0,46. A L_{med} obtida foi de 1,35 e uma U_0 de 0,4. Para o passeio foi obtido uma E_{med} de 21,3 lux e um U de 0,39.

Figura 20 – Área 3 – Simulação via de veículo no acesso ao pórtico principal.



Fonte: Autor.

Outra via característica no anel viário do Campus é uma via dupla dividida com canteiro central conforme detalha a Figura 21 e definida como área 4. Esta via é

caracterizada por luminária em poste metálico de 12 metros, espaçamento médio de 44 metros, com luminárias duplas de 250 W do tipo pétala. Esta via não dispõe de calçamento para pedestres.

Figura 21 – Área 4 – Via de veículos separada por canteiro central.



Fonte: Autor.

A Figura 22 detalha os resultados da malha de medição para as vias de rodagem da área 4. Em ambas as faixas foi possível obter L_{med} acima de 1,39. A menor U_0 alcançada foi de 0,47 na pista de 9 metros de largura. A E_{med} foi superior a 20,1 lux nos dois sentidos bem como a obtenção de um U acima de 48%.

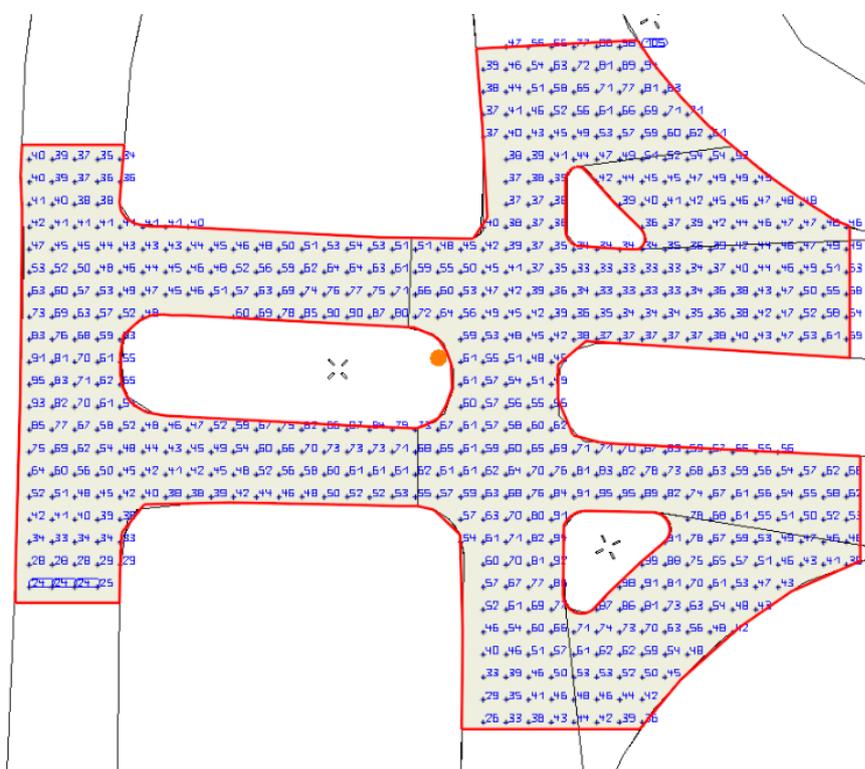
Figura 22 – Área 4 – Simulação via de dupla com canteiro central.

+20	+19	+17	+15	+13	+11	+10	<u>9,7</u>	+10	+11	+13	+15	+17	+19	+20	9.00 m
+24	+22	+19	+16	+14	+12	+11	+10	+11	+12	+14	+17	+19	+22	+24	
+28	+25	+22	+18	+15	+13	+12	+12	+12	+13	+15	+18	+22	+26	+28	
+32	+29	+25	+20	+16	+15	+14	+14	+14	+15	+17	+20	+25	+29	+32	
+37	+33	+28	+23	+19	+17	+16	+16	+16	+17	+19	+23	+28	+33	+37	
<u>39</u>	+35	+30	+25	+21	+18	+17	+16	+17	+18	+21	+25	+30	+35	<u>39</u>	2.00 m
<u>39</u>	+35	+30	+25	+21	+18	+17	+16	+17	+18	+21	+25	+30	+35	<u>39</u>	8.00 m
+37	+33	+28	+23	+20	+17	+16	+16	+16	+17	+20	+23	+28	+33	+37	
+33	+30	+25	+21	+17	+15	+14	+14	+15	+15	+17	+21	+25	+30	+33	
+30	+27	+23	+19	+16	+14	+12	+12	+12	+14	+15	+19	+23	+27	+29	
+26	+24	+21	+17	+15	+13	+11	+11	+11	+12	+14	+17	+20	+24	+26	
+22	+21	+18	+16	+14	+12	+11	<u>10</u>	+11	+12	+13	+16	+18	+21	+22	44.00 m

Fonte: Autor.

A área 5, no cruzamento de veículos próximo ao pórtico principal, é um local de grande fluxo de veículos devido ser uma rota de entrada e saída do Campus. Esta área foi delineada, conforme Figura 23, com pontos de medição espaçados a cada 2 metros para obtenção da malha. Na simulação proposta para a área do cruzamento principal de acesso e saída do Campus foi obtida uma iluminância horizontal média de 54,3 Lux e um fator de uniformidade de 0,44. Com relação a estes valores foi possível haver no mínimo a soma das iluminâncias dos trechos que compõem o cruzamento, no caso o somatório de E_{med} da área 3 e da área 4, e mantêm a luminância maior.

Figura 23 – Área 5 – Cruzamento de entrada e saída do Campus.



Fonte: Autor.

A sexta área analisada refere-se a via de veículos em apenas um sentido com duas pistas de rolagem, com postes em concreto do tipo distribuição com luminárias em braço metálico com lâmpadas VS de 250W e altura de montagem de 8 metros, com espaçamento unilateral médio de 30 metros, e vias com largura de 9 metros e calçamento em ambos os lados com largura de 1,5 metros. A Figura 24 demonstra a via e seu contexto de análise.

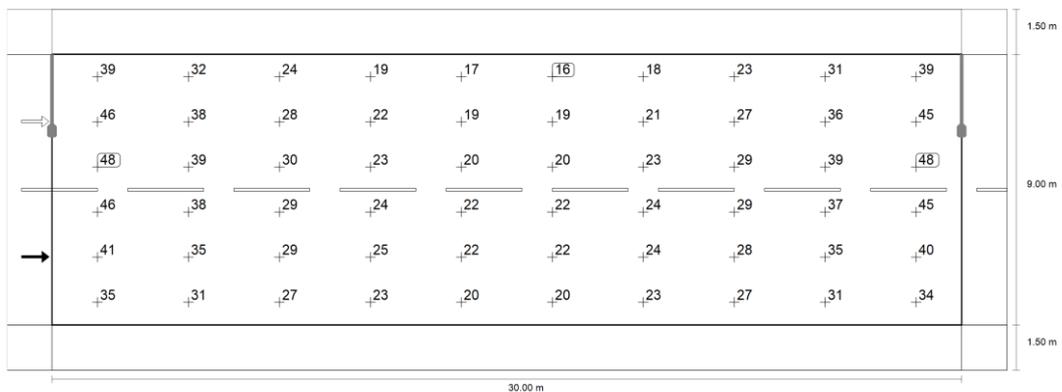
Figura 24 – Área 6 – Via de veículos duas faixas de rodagem.



Fonte: Autor.

Com a adoção de luminárias LED de 150W, a Figura 25 detalha os pontos da malha de medição simulada. Foi possível nesta área obter para a pista de rodagem um E_{med} de 29,5 lux e U de 0,56, os níveis de L_{med} de 3,03 e um U_0 de 0,70. Para as áreas de passeio a E_{med} foi acima de 18 lux e um U de 0,4 para ambos os espaços.

Figura 25 – Área 6 – Simulação via de veículo pista dupla de rodagem.



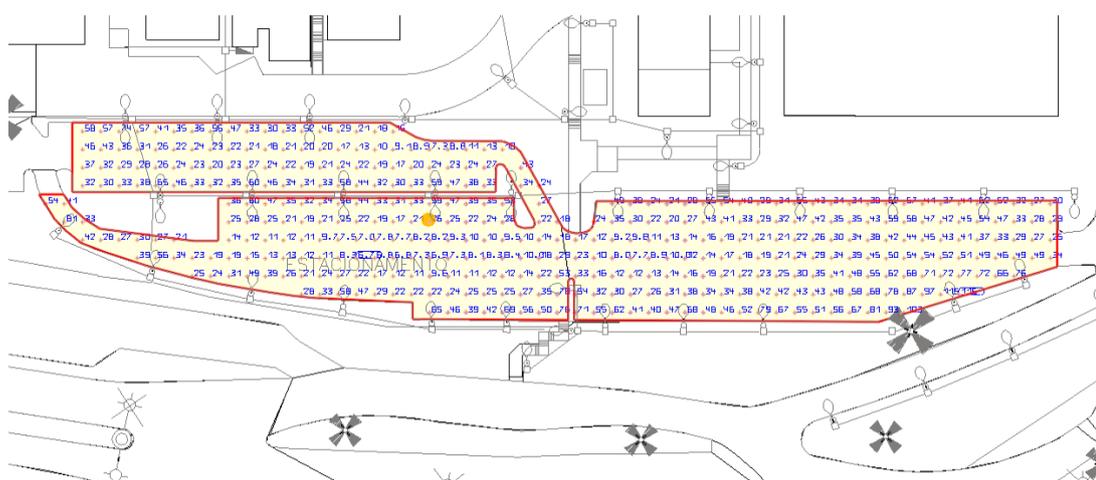
Fonte: Autor.

Com a ocorrência de acesso de veículos no espaço interno ao Campus foi proposto uma análise de uma área interna de estacionamento. Esta área na sua maioria é composta por luminária do tipo braço refletiva com 4 metros de altura, com um espaçamento médio de 12 metros, e é beneficiada com iluminação artificial fornecida por uma luminária do tipo pétala de 4x400W em poste de concreto com 15 metros de altura, característicos nas áreas internas ao Campus. Este é o equipamento

que apresentou maior potência elétrica individual com relação aos outros equipamentos do sistema de iluminação artificial existente.

Nesta área foi considerada uma classe de iluminação V5 caracterizada como uma via local, uma área restrita, com velocidade máxima de 30 km/h com volume de tráfego leve que corresponde a necessidade de um E_{med} de 5 lux e um U mínimo de 0,2. A malha de medição, detalhe na Figura 26, utilizou pontos a cada 2 metros obtendo uma E_{med} de 33,4 lux e um U de 0,20.

Figura 26 – Área 7 – Estacionamento interno.



Fonte: Autor.

4.5 Proposta SFV

Com a disponibilidade de espaço em solo pela UC para implantação do SFV, visando a facilidade ao acesso à manutenção do sistema, buscou-se fazer uma seleção inicial de áreas disponíveis, da característica construtiva ao redor da área, a posição e se há um possível sombreamento ao longo do ano. Assim, foi definida uma área, conforme detalhe na Figura 27, com aproximadamente 2.000 m² próximo ao pórtico principal de acesso ao Campus que traz visibilidade ao sistema, está mais próximo ao Labsol/UFRGS – Laboratório de Energia Solar da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, este com mais de 30 anos de atuação na execução de ensaios de equipamentos (módulos fotovoltaicos, inversores *grid-tie* e coletores solares) e no desenvolvimento de *softwares* de simulação e dimensionamento de sistemas térmicos e fotovoltaicos.

Figura 27 – Detalhe da área de solo disponível no Campus do Vale.



Fonte: Adaptado Google Maps.

Com a limitação do espaço disponível para instalação e considerando a necessidade de escolher a melhor arquitetura de instalação a fim de minimizar as perdas do sistema foi proposto um SFV com uma potência total de 157,4 kWp, que corresponde a utilização de 366 módulos de 430Wp com uma área coberta apenas pelo painel fotovoltaico de cerca de 732 m². O Quadro 14 detalha os requisitos mínimos utilizados para se determinar a geração de energia anual do sistema proposto.

Quadro 14 – Concepção do Sistema Fotovoltaico – SFV.

Local	Terreno Labsol - UFRGS
Longitude	51° 7'32.04"O
Latitude	30° 4'30.16"S
Desvio Azimutal (°)	0
Área de solo disponível estimado (m²)	2.000
Quantidade de Módulos	366
Potência Instalada (kWp)	157,4

Fonte: Autor.

O valor de inclinação dos painéis foi determinado para que haja a máxima geração quando a inclinação do painel é igual à latitude do local onde está instalado, portanto, adotou-se o valor de 30° referente a latitude da cidade de Porto Alegre.

Outro critério adotado no dimensionamento do SFV será a instalação dos módulos voltados para o norte geográfico, quando o sistema se encontra no hemisfério sul, e como serão instalados no solo o desvio azimutal considerado será nulo. Destaca-se que esta concepção se trata de uma estimativa inicial baseada nas análises das informações levantadas, com objetivo de mensurar a energia elétrica gerada pelo SFV, e que na fase de execução dos projetos deverão ser realizados os ajustes e alterações pertinentes. Os dados dos equipamentos utilizados como referência estão apresentados no Quadro 15.

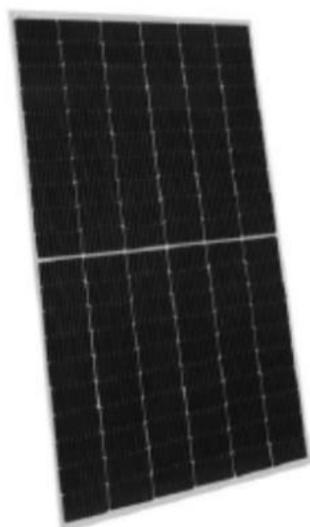
Quadro 15 – Características adotadas como referência na concepção do SFV.

Características de Equipamentos do SFV	
Potência do Módulo (Wp)	430
Eficiência do Módulo (%)	20,3
Área do Módulo (m ²)	2,00
Potência do Inversor (kW)	120
Máxima Eficiência do Inversor (%)	98,9

Fonte: Autor.

A Figura 28 apresenta o módulo adotado para o dimensionamento do SFV. Este equipamento é composto por 120 células do tipo monocristalina com degradação anual de 0,55% ao longo de 25 anos.

Figura 28 – Módulo 430W – JKM430M-STL4.



Tipo de módulo	JKM430M-8TL4	
	JKM430M-8TL4-V	
	STC	NOCT
Potência Máxima (P _{max})	430Wp	320Wp
Tensão de potência máxima (V _{mp})	33.47V	31.21V
Corrente de potência máxima (I _{mp})	12.85A	10.25A
Tensão de circuito aberto (V _{oc})	40.57V	38.29V
Corrente de curto-circuito (I _{sc})	13.53A	10.93A
Eficiência do módulo STC (%)	20.30%	

Fonte: Adaptado Catálogo Técnico Jinko Solar, 2020.

Para estimar a irradiação solar na região e geração de energia foram realizadas simulações utilizando o *software* Radiasol 2, desenvolvido pelo Labsol/UFRGS, e a partir das coordenadas geográficas do espaço para instalação, da inclinação desejada dos módulos e do desvio azimutal em relação ao norte, fornece os dados de irradiação horária média para um dia hipotético de cada mês do ano.

Considerando os fatores de temperatura, sujidade ou sombreamento que porventura possam interferir no rendimento do SFV a eficiência adotada para o sistema será de 80%. A Tabela 9 apresenta os valores mensais de irradiação solar média obtidos pelo *software* Radiasol 2 e a estimativa de geração de energia elétrica do SFV proposto para o mês de 30 dias.

Tabela 9 – Dados de irradiação solar média para a área do projeto.

Mês	Capacidade da GD [kW]	Irradiação solar média [kWh/m ² . Dia]	EEG por mês [kWh]
Jan	157,4	5,62	21.230
Fev	157,4	5,51	20.815
Mar	157,4	5,17	19.530
Abr	157,4	4,75	17.944
Mai	157,4	3,93	14.846
Jun	157,4	3,46	13.070
Jul	157,4	3,98	15.035
Ago	157,4	4,26	16.093
Set	157,4	4,74	17.906
Out	157,4	5,50	20.777
Nov	157,4	5,77	21.797
Dez	157,4	5,89	22.250
Total			221.292

Fonte: Autor.

Assim a energia gerada pela planta proposta com capacidade de 157,4 kWp será de 221,3 MWh/ano conforme o sistema proposto do Quadro 16. Este valor representa aproximadamente 1,6% da energia FP da UC com relação ao ano base de 2019.

Quadro 16 – Dados do sistema solar fotovoltaico proposto.

			TOTAL	F _i
1	Tipo de equipamento / tecnologia			SFV
2	Potência nominal da central geradora	W _p p _{pi}	430	430
3	Quantidade de central geradora	q _{pi}	366	366
4	Potência instalada de geração	kW _p P _{pi}	157,40	157,40
5	Potência nominal do inversor	W p _{ii}	120.000,00	120.000,00
6	Quantidade de inversores	q _{ii}	1	1
7	Potência instalada de inversores	kW P _{ii}	120.000,00	120.000,00

Fonte: Adaptado PROPEE.

Considerando que o custo da energia elétrica em MWh no período FP da UC foi ajustado conforme valores pagos pelo cliente, acrescido dos impostos ICMS+PIS+COFINS e que a energia elétrica gerada pelo SFV será totalmente consumida pelas instalações internas da UFRGS, o custo final evitado será o valor da tarifa mais os impostos. Nesta proposta considerou-se para efeito de cálculo a tarifa de R\$ 323,26 / MWh no FP, que considera a soma da tarifa de energia e da tarifa de uso do sistema de distribuição vigente à época pela CEEE-D. Aplicando os impostos o valor final fica de R\$ 497,32 / MWh de modo a mensurar os benefícios do SFV proposto, que resulta num montante de R\$ 110.056,92 conforme detalhe no Quadro 17.

Quadro 17 – Resultados esperados com a implantação do SFV.

			TOTAL	F _i
Redução de demanda na ponta	kW	RDP _i	0,00	0,00
Custo evitado de demanda (CED)	0,00	%	0%	0%
Energia economizada	MWh/ano	EE _i	221,3	221,3
Custo da energia evitada (CEE)	497,32	%	100%	100%
Benefício anualizado – Fontes Incentivadas	R\$	B_{Fi}	110.056,92	110.056,92

Fonte: Adaptado PROPEE.

4.6 Viabilidade econômica

Para análise da viabilidade econômica do projeto proposto, de modo a obter os custos anualizados, foi considerando a taxa de desconto de 8% vigente no Plano Nacional de Energia, uma vida útil para os equipamentos do sistema de iluminação externa de 10 anos, e para a fonte incentivada foi adotado 25 anos para os módulos

fotovoltaicos, 20 anos para as estruturas de solo, e 15 anos para os equipamentos restantes.

Os custos anualizados relacionados a cada sistema são de R\$ 113.642,46 e R\$ 70.330,46 para os sistemas de iluminação externa e SFV respectivamente conforme detalhe na Tabela 10. Com relação à viabilidade total do projeto, levando-se em consideração os benefícios monetários e custos anualizados obtidos com a AEE e a implantação de um sistema de fonte incentivada, o projeto apresenta uma RCB de 0,68, estando abaixo do limite de 0,75 para clientes sem fins lucrativos.

Tabela 10 – Cálculo final do RCB do projeto – Recursos PEE.

Uso final	EE MWh/ano	RDP kW	CA _{T PEE}	BA _T	RCB _{PEE} Por uso final	RCB _{PEE}
Iluminação	389,29	88,88	R\$ 113.642,46	R\$ 161.348,14	0,70	
Fontes Incentivadas	221,30	0,00	R\$ 70.330,46	R\$ 110.056,92	0,64	0,68

Fonte: Adaptado PROPEE.

4.7 Medição e Verificação – M&V

Para avaliação das reduções reais de consumo de energia e demanda na ponta obtidos com a AEE será proposta a etapa de M&V. Esta etapa será baseada no PIMVP (EVO, 2012) e será dividida em duas partes: período de linha de base e período de determinação da economia.

O período de linha de base é o período escolhido para representar o funcionamento normal da UC ou do sistema sem a implementação da AEE. Neste período será realizado uma avaliação através de análises de documentos, plantas, diagramas, catálogos e demais documentos técnicos utilizados de modo a obter informações que complementam ou validem as medidas de grandezas elétricas que serão realizadas nos equipamentos a serem substituídos.

Já no período de determinação da economia, será realizado a mesma avaliação do período anterior já com a implementação dos equipamentos eficientes, e fornecerá medidas de grandezas elétricas deste novo sistema.

A Estratégia de M&V adotada a fim de se obter as medidas elétricas dos sistemas analisados que objetivam mensurar a EE e a RDP são apresentadas nos próximos tópicos.

4.7.1 Variáveis independentes

As variáveis independentes podem influenciar e impactar diretamente no uso dos equipamentos ou instalação e sua análise é de suma importância de modo a validar se há condições de igualdade nos períodos de Linha de Base e Determinação da Economia. E considerando que o sistema que será beneficiado com a AEE neste projeto não sofre influências quanto a ocupação, temperatura e tem seu uso bem definido durante sua utilização, a princípio não serão considerados neste projeto influências devido às variáveis independentes.

4.7.2 Fronteira de medição

Com o objetivo de determinar o limite dentro da instalação, onde serão observados através de medidores as grandezas elétricas que resultará em dados para continuidade do projeto, a fronteira de medição para o sistema de iluminação externa será no próprio equipamento ou no conjunto luminária e na impossibilidade destes diretamente nos quadros de distribuição.

Para o SFV as medições ocorrerão através dos medidores e monitores de geração de energia elétrica. Também há possibilidade de leitura do medidor bidirecional junto à concessionária de energia elétrica.

4.7.3 Duração das medições

Com o objetivo de obter as grandezas elétricas, em especial, a tensão (V), a corrente(A), fator de potência (FP) e a potência ativa (kW) do sistema de iluminação artificial externa as medições terão duração de no mínimo 1 minuto devido a este sistema não possuir influências de variáveis que porventura possam alterar os resultados obtidos no projeto. Já para o SFV as medições para a apuração da energia gerada ocorrerão pelo período mínimo de 365 dias.

4.7.5 Opção do PIMVP

A fim de obter uma redução nos custos de M&V, será adotada a Opção A do PIMVP para o sistema de iluminação externa que prevê que alguns parâmetros envolvidos podem ser estipulados, e no mínimo um parâmetro de influência sobre o

resultado deve ser medido. Desta forma será mensurado a partir de experiências da equipe de manutenção e operação, além de observações realizadas em campo. Destaca-se que o impacto total dos erros de estimativa não é significativo para determinação das economias resultantes com a implementação do projeto. Esta opção se justifica porque a determinação das economias será feita em curto prazo, no âmbito do projeto, para ser viável economicamente.

Para a determinação da economia gerada com o SFV será adotada a estratégia designada como Opção B, onde são medidos todos os parâmetros envolvidos. Este processo será possível, visto que está prevista a instalação de medidores inteligentes de energia junto aos inversores, onde serão medidos os principais parâmetros elétricos do sistema, destacando-se o registro da geração de energia de maneira horária.

4.7.6 Amostragem

Com o objetivo de reduzir custos na etapa de M&V, com redução do número de medidas e para garantir uma segurança nos resultados, o processo de amostragem deverá ter um nível de precisão de 10% com confiabilidade de 95%.

Com a formatação dos sistemas de iluminação em 4 grupos relacionados com a potência das lâmpadas, tanto nos períodos de Linha de Base e Determinação da Economia, e considerando a memória de cálculo conforme descrito no PIMVP com um coeficiente de variância de 0,5 a quantidade amostral necessária para cada sistema é descrito na Tabela 11.

Tabela 11 – Amostragem para M&V.

Descrição	Ilum. 1	Ilum. 2	Ilum. 3	Ilum. 4
<i>ex ante</i>	VS 70	VS 150	VS 250	VS 400
<i>ex post</i>	LED 30	LED 70	LED 150	LED 186
População	266	168	226	124
Amostra	71	62	67	54

Fonte: Autor.

Sabendo das possibilidades que do processo de amostragem criar erros, devido à ausência de medição de toda a população, pode ocorrer a necessidade de aumento ou redução das amostras definidas anteriormente, no caso de obtenção do nível de precisão de 10% com 95% de confiabilidade.

4.7.8 Procedimentos de verificação dos resultados

Considerando os períodos de linha de base e determinação da economia de modo a obter a EE e a RDP.

4.7.8.1 Período de linha de base

Com base nas grandezas elétricas obtidas através de levantamento no processo de M&V será possível obter a potência total (kW) instalada do sistema atual. Com a Equação 9 será possível obter uma média da potência medida para cada sistema e a Equação 10 fornece a potência total do sistema a ser eficientizado.

$$P_{grupo_k} = \frac{(Pr_1 + Pr_2 + \dots + Pr_n)}{n_{amostra}} \quad (9)$$

$$P_{total} = P_{grupo_1} \cdot P_1 + P_{grupo_2} \cdot P_2 + \dots + P_{grupo_k} \cdot P_k \quad (10)$$

Onde,

P_{grupo_k} = Potência elétrica média de cada grupo k (kW);

Pr_n = Potência elétrica instantânea medida no equipamento (kW);

$n_{amostra}$ = Número de amostras medidas do conjunto;

P_{total} = Potência elétrica total instalada no sistema (kW);

P_k = População de equipamentos por grupo.

O tempo de operação (T) anual do sistema de iluminação artificial externa será considerado de 4.380 horas, que corresponde a utilização de 12 horas diárias nos 365 dias do ano. O FCP será considerado igual a 1, já que o sistema é utilizado durante todo o HP. Com estas informações é possível obter a estimativa do consumo anual de energia elétrica (MWh/ano) e da demanda em horário de ponta (kW) do sistema através das Equações 11 e 12 respectivamente.

$$Consumo = \frac{P_{total} \cdot T}{1000} \quad (11)$$

$$Demanda\ ponta = Ptotal . FCP \quad (12)$$

4.7.8.2 Período de Determinação da Economia

O período de Determinação da Economia obedecerá às regras de cálculo do período de Linha de Base, a fim de se obter condições de igualdade, porém serão adotadas as medidas de grandezas elétricas obtidas após a implantação dos novos equipamentos ou AEE.

4.7.8.3 Energia Economizada – EE

A EE para o sistema de iluminação será obtida fazendo a diferença do consumo obtido entre os períodos de Linha de Base e Determinação da Economia conforme Equação 13.

$$EE = Consumo_{Linha\ de\ base} - Consumo_{Determinação\ da\ Economia} \quad (13)$$

4.7.8.4 Redução de Demanda na Ponta – RDP

A RDP para o sistema de iluminação será obtida fazendo a diferença das demandas obtidas entre os períodos de Linha de Base e Determinação da Economia conforme Equação 14.

$$RDP = Demanda\ Ponta_{Linha\ de\ base} - Demanda\ Ponta_{Determinação\ da\ Economia} \quad (14)$$

4.8 Metas e Benefícios por uso final

As metas ou indicadores de EE e de RDP foram valoradas neste projeto considerando os preços de energia de R\$ 347,77 e R\$ 293,26 respectivamente para EE e RDP do sistema de iluminação externa e de R\$ 497,32 para EE do SFV. Assim tem-se uma RCB e o custo por uso final do projeto detalhado na Tabela 12, no qual detalham-se os totais como metas e benefícios monetários desta proposta.

Tabela 12 – Metas e Benefícios para o PEE.

Uso Final	EE [MWh/ano]	RDP [kW]	Benefícios [R\$]	Custo anualizado [R\$]	RCB
Iluminação Externa	389,05	88,82	R\$ 161.348,14	R\$ 113.642,46	0,70
SFV	221,30	-	R\$ 110.056,92	R\$ 70.330,46	0,64
Total	610,35	88,82	R\$ 271.405,05	R\$ 183.972,93	0,68

Fonte: Adaptado PROPEE.

4.9 Outros benefícios

Além das reduções de energia elétrica e demanda na ponta já mencionados, outros benefícios podem ser relatados em virtude das adequações propostas, tais como na questão operacional do Campus:

- Melhoria na qualidade do sistema de iluminação que possibilitará um melhor conforto e segurança aos usuários;
- Modernização das instalações dos sistemas de iluminação externa;
- Adequação e padronização do sistema de iluminação facilitando a manutenção e operação;
- Restauração do sistema de iluminação externa mais rápido em caso de falta de energia elétrica;

E no âmbito acadêmico envolvendo toda a comunidade da UFRGS, as ações deste projeto de eficiência energética poderá culminar em diferentes estudos no âmbito de trabalhos de conclusão de curso, dissertações de mestrado, teses de doutorado e artigos científicos.

4.10 Custos por categoria contábil e origem dos recursos

O projeto apresenta um custo total de R\$ 1.480.205,66, dentro dos limites estabelecidos pelo edital da CPP CEEE-D 01/2020, de R\$ 1.500.000,00 para a categoria setor público, sendo considerado nesta proposta aportes do PEE e da UC.

Na Tabela 13 é possível verificar todos os previstos custos por categoria contábil (rubricas) e origem dos recursos obtidos no projeto.

Tabela 13 – Previsão de custos por categoria contábil.

Tipo de custos	Custos totais		Origem dos recursos		
	R\$	%	PEE	Terceiros	Consumidor
CUSTOS DIRETOS					
Materiais e equipamentos	R\$ 1.163.440,66	78,60%	R\$ 1.163.440,66	R\$ 0,00	R\$ 0,00
Mão de obra própria	R\$ 0,00	0,00%	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00
Mão de obra de terceiros	R\$ 270.060,00	18,24%	R\$ 270.060,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00
Transporte	R\$ 0,00	0,00%	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00
Custos diretos	R\$ 1.433.500,66	96,84%	R\$ 1.433.500,66	R\$ 0,00	R\$ 0,00
CUSTOS INDIRETOS					
Administração própria	R\$ 0,00	0,00%	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00
Marketing	R\$ 0,00	0,00%	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00
Treinamento e capacitação	R\$ 10.000,00	0,68%	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 10.000,00
Descarte de materiais	R\$ 3.195,00	0,22%	R\$ 3.195,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00
Medição e verificação	R\$ 33.510,00	2,26%	R\$ 33.509,92	R\$ 0,00	R\$ 0,00
Outros custos indiretos	R\$ 0,00	0,00%	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00
Custos indiretos	R\$ 46.705,00	3,16%	R\$ 36.705,00	R\$ 0,00	R\$ 10.000,00
Custo total do projeto	R\$ 1.480.205,66	100 %	R\$ 1.470.205,66	R\$ 0,00	R\$ 10.000,00

Fonte: Adaptado PROPEE.

No Quadro 18 são detalhados os custos por categoria contábil (rubricas) previstos de acordo com os limites para utilização do recurso do PEE segundo edital da CPP CEEE-D 01/2020. Não foram incluídos os custos com Marketing já que conforme o edital estes custos não eram obrigatórios e com relação à rubrica de treinamento e capacitação foi considerada o valor integral limitado pelo edital e de responsabilidade de desembolso da UC, que dispõe em seu quadro de colaboradores profissionais capacitados para desenvolvimento desta atividade.

Quadro 18 – Valores limites para os recursos do PEE.

	Limitador	Valor
Mão de obra de terceiros / Materiais e equipamentos	30%	23,21%
Medição e verificação / Custo total com recursos do PEE	10%	2,28%
Diagnóstico Energético/ Materiais e equipamentos	10%	1,26%
Marketing / Custo total do projeto de EE	5%	0%
Treinamento e capacitação / Custo total do projeto de EE	R\$ 10.000,00	100%

Fonte: Autor.

4.11 Custos dos materiais e equipamentos

Na tentativa de equalizar ao custo realizado pelo mercado foi adotado o preço médio dentre os quatro fornecedores que apresentaram a proposta de fornecimento das luminárias e acessórios deste sistema, conforme detalhe na Tabela 14.

Tabela 14 – Custos unitários do sistema de iluminação por fornecedor.

Item	Fornecedor 1	Fornecedor 2	Fornecedor 3	Fornecedor 4	Preço Médio
Luminária LED 30W	R\$ 565,00	R\$ 493,60	R\$ 525,38	R\$ 543,42	R\$ 531,85
Luminária LED 70W	R\$ 644,00	R\$ 608,00	R\$ 612,14	R\$ 629,92	R\$ 623,52
Luminária LED 150W	R\$ 801,00	R\$ 941,79	R\$ 942,13	R\$ 815,15	R\$ 875,02
Luminária LED 186W	R\$ 1.139,00	R\$ 1.020,89	R\$ 1.392,88	R\$ 923,27	R\$ 1.119,01
Relé Fotoeletrônico	R\$ 30,00	R\$ 16,86	R\$ 0,00	R\$ 32,37	R\$ 26,41

Fonte: Autor.

4.12 Custos de mão de obra

Os principais custos que compõem a mão de obra são apresentados no Quadro 19, com destaque ao custo da mão de obra para instalação do SFV que apresentou o maior montante. Estes quatro itens totalizam a rubrica de mão de obras de terceiros no valor de R\$ 270.060,00.

Quadro 19 – Custos unitários de mão de obra.

Item	Custo
Diagnóstico Energético	R\$ 14.650,00
Instalação Sistema Iluminação Externa	R\$ 96.000,00
Instalação SFV	R\$ 140.000,00
Gestão, Fiscalização e Acompanhamento	R\$ 19.410,00

Fonte: Autor.

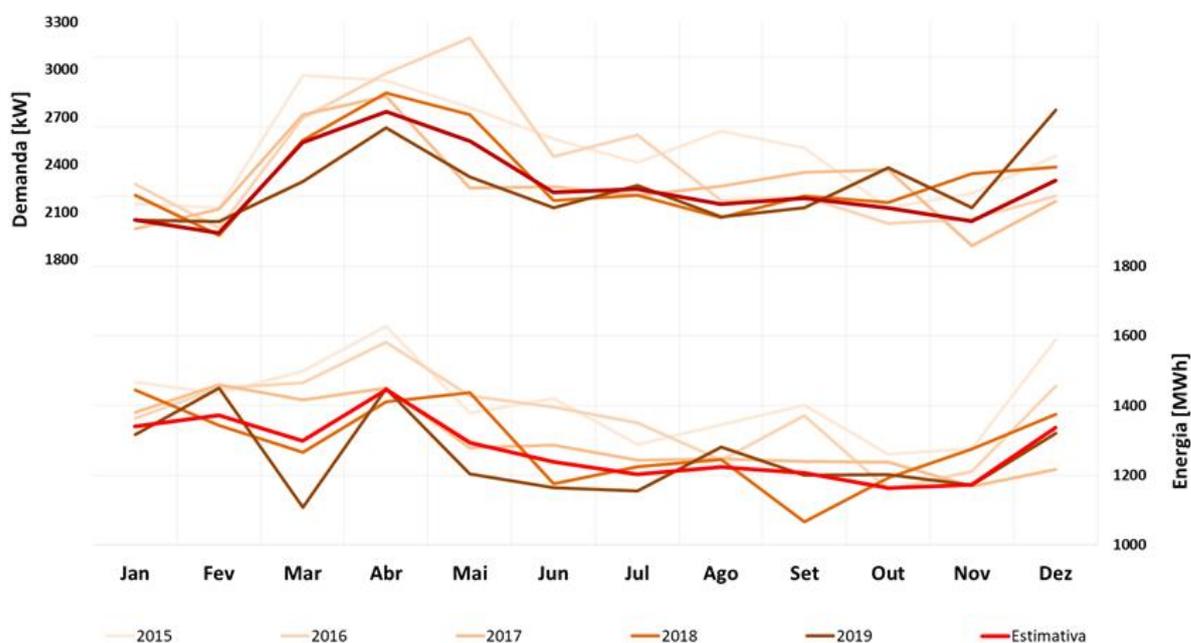
4.13 Treinamento e capacitação

As ações voltadas ao treinamento e capacitação devem ser voltadas às equipes técnicas e administrativas que atuam na UFRGS e poderão ocorrer através de palestras expositivas com conteúdo de introdução aos conceitos de eficiência energética e de treinamento de profissionais envolvidos no acompanhamento das AEE implementadas.

4.14 previsão de consumo de energia e demanda na ponta

A previsão de consumo de energia e demanda na ponta será baseada na média histórica do período de 2015 a 2019, que representa a utilização de energia elétrica em condições normais de funcionamento da UC. A economia de energia aplicada será o percentual obtido de 4,1% com a implantação da AEE e do SFV, e a redução de demanda de 3,9% referente aos 88,82 kW retirados de operação também com a AEE. Com base nestes parâmetros a Figura 29 apresenta a previsão de consumo de energia em MWh e de demanda no HP em kW para um período 12 meses.

Figura 29 – Estimativa de demanda e consumo de energia.



Fonte: Autor.

5 CONCLUSÃO

O presente trabalho buscou identificar as oportunidades de redução de custos no consumo de energia elétrica através de ações voltadas para a eficiência energética e obter subsídios necessários para a realização do diagnóstico energético em conformidade com as regras do PROPEE regulados pelo PEE. Adotando a tipologia poder público e visando a melhoria da instalação com uma proposta de substituição das luminárias com lâmpadas VS por luminárias de tecnologia do tipo LED, apresentou resultados satisfatórios que em ganhos diretos de economia representam uma EE e uma RDP de 53,66%. E com o apoio e análise das faturas de energia elétrica da UC foi possível avaliar a contribuição do uso de cargas permanentes que no caso da iluminação artificial externa apresenta um significativo consumo no HP e FP que sustentam a escolha deste sistema para a AEE.

Com os resultados obtidos nos principais indicadores, EE e RDP, e pelas características dos equipamentos utilizados no sistema de iluminação artificial existente, constata-se que estes se fazem de uso frequente na Universidade, e desta forma este estudo pode ser utilizado como parâmetro para aplicação em outros campi da UFRGS que porventura se beneficiam do mesmo sistema de iluminação. Cabe ressaltar ainda que o nível de tensão de fornecimento do Campus do Vale é A3 (69 kV), única deste tipo na Universidade, com custos evitados de energia e demanda de R\$ 347,77 e R\$ 293,26 para CEE e CED respectivamente segundo o edital da CPP CEEE-D 01/2020. Se considerarmos os outros campi, que em sua maioria com nível de fornecimento em A4 (2,3 kV a 25 kV), com uma CEE de R\$ 366,76 e CED de R\$ 681,30, os benefícios monetários anuais poderão ser suficientemente maiores para atendimento de uma RCB abaixo dos 0,75 exigidos para viabilidade e classificação do projeto.

Com relação à implantação da usina de minigeração de 157,4 kWp, esta terá uma contribuição anual na geração de energia elétrica de 221.292 kWh, que em benefícios monetários representa uma economia de R\$ 110.056,92, que auxiliará na redução dos custos de energia elétrica da instituição colaborando com o objetivo principal deste trabalho. Ainda pensando em outros ganhos para a UC, com a redução de consumo e custos, na avaliação de outras tecnologias que porventura poderiam agregar no sistema de iluminação proposto, e pela tecnologia aplicada, o sistema estará apto para um gerenciamento remoto da iluminação, uma telegestão de

luminárias LED, que pode auxiliar no monitoramento de todo o sistema com redução da intensidade luminosa e desligamento em determinados horários contribuindo para este fim.

Considerando o objetivo geral, neste trabalho foi possível através do PROPEE, de modo a quantificar os potenciais ganhos de EE e RDP no sistema de iluminação artificial da instituição de ensino, obter resultados vantajosos para o programa e para a UC com a obtenção de uma RCB de 0,68 obtendo a viabilidade da proposta. E desta forma pode-se submetê-lo a CPP da concessionária local de distribuição de energia elétrica na tentativa de obter os recursos financeiros para sua implementação. Destaca-se que devido a sua classe de consumo, tipologia poder público, não haverá a necessidade de contrato de desempenho ou do retorno do investimento ao PEE.

Cabe ressaltar ainda que neste trabalho foi possível validar, através de simulação computacional com apoio do *software* DIALux, o sistema de iluminação artificial proposto no atendimento dos requisitos mínimos exigidos pela norma regulamentadora para as vias de pedestres e de circulação de veículos. Porém, nesta análise devido à complexidade não foi considerado os mobiliários urbanos e a vegetação arbórea, em especial este último em abundância no Campus, e desta forma em ambientes que porventura possam comprometer os resultados obtidos, ações de podas de árvores e realocação dos mesmos pontos de iluminação artificial podem auxiliar nos ajustes necessários de adequação dos níveis de iluminação.

E por fim, sabendo que a administração pública vem sofrendo sucessivos cortes orçamentários nos últimos anos e tem que lidar com instalações depreciadas, é notório que a oportunidade da implantação de ações de eficiência energética vem colaborar com a modernização dos equipamentos e com o auxílio financeiro. Desta forma, este trabalho visa contribuir para a divulgação de um modelo de diagnóstico energético numa instituição de ensino público com a implantação de AEE e GD que trazem ganhos de eficiência, aliando assim ganhos na qualidade do ensino, resultando em benefícios para toda a sociedade.

REFERÊNCIAS

- Abilux – Associação Brasileira da Indústria de Iluminação. **Guia LED descomplicado**. São Paulo/SP. Outubro, 2019.
- Abilux – Associação Brasileira da Indústria de Iluminação. **Orientações Gerais para usuários sobre luminárias LED para Iluminação Pública**. São Paulo/SP. 2017.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15129 – Luminárias para iluminação pública — Requisitos particulares**, ABNT, 2012.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 5101 – Iluminação Pública – Procedimento**, ABNT, 2018.
- Altoé, L; Costa, J; Filho,D; Martinez, F; Ferrarez, A; Viana, L. **Políticas públicas de incentivo à eficiência energética**. Estudos avançados vol.31 no.89 São Paulo Jan./Apr. 2017.
- ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. **Chamada Nº. 001/2016 projeto prioritário de eficiência energética e estratégico de P&D: “eficiência energética e minigeração em instituições públicas de educação superior”**. Brasília, 2016a.
- ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. **Guia prático de chamadas públicas do PEE para proponentes**. Brasília: ANEEL, 2016b.
- ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. **Cadernos Temáticos ANEEL - Micro e Minigeração Distribuída. Sistema de Compensação de Energia Elétrica**. Brasília: ANEEL, 2016c.
- ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resolução normativa 556 de 2013**. PROPEE – Procedimentos do Programa de Eficiência Energética. Brasília/DF, 2013.
- Barbosa, Robson; Almeida, João. **Iluminação pública eficiente**. Rio de Janeiro: ELETROBRÁS / IBAM, 2004.
- Brasil. Congresso Nacional. **A Crise de abastecimento de energia elétrica: Relatório**. Brasília, 2002.
- Brasil. **Lei 9.991 de 24 de julho de 2000**. Brasília – DF: Presidência da República, 2000.
- Caldeira, R. **Um Mercado de Títulos de Eficiência Energética para o Setor Elétrico Brasileiro**. Boletim de Conjuntura do Setor Energético. FGV Energia, 2017.
- CEEE – Companhia Estadual de Energia Elétrica. **Edital de Chamada Pública de Projeto de Eficiência Energética**. CPP CEEE PEE 01/2020. Porto Alegre/RS, 2020.
- Cervelin S. **Melhoria da Eficiência Luminosa: Estudo de caso do Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná - CEFET-PR – CT**. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, UFSC, Florianópolis – SC, 2002.

CNI – Confederação Nacional da Indústria. **Eficiência Energética na Indústria: o que foi feito no Brasil, oportunidades de redução de custos e experiência internacional.** Brasília - DF, 2009.

COPEL – Companhia Paranaense de Eletricidade. **Editais de Chamada pública PEE COPEL 001/2016.** Roteiro para diagnóstico energético. 2016.

Eletrobras – Centrais Elétricas Brasileiras S.A. **Metodologia de realização de diagnóstico energético: guia básico.** Brasília: IEL/NC, 2009.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética. **Análise da Inserção da Geração Solar na Matriz Elétrica Brasileira.** Rio de Janeiro, 2012.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética. **Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2020,** ano base 2019. Rio de Janeiro, 2020.

EVO – Efficiency Valuation Organization. **Protocolo Internacional de Medição e Verificação de Performance.** PIMVP. EVO, 2012.

Garcia, A. G. P. **Leilão de Eficiência Energética no Brasil.** Tese – Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.

Gaspar, A.; **Física,** Volume único, Editora Ática, 1a. Edição, São Paulo, 2005.

Gil, A. **Como elaborar projetos de pesquisa.** São Paulo: Atlas, 1991.

INMETRO – Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia. **Guia sobre uso das lâmpadas LED,** INMETRO, 2016.

Jannuzzi, G. M. **Eficiência Energética no Setor Público.** Belo Horizonte, 2010.

Lamberts, R; Ghisi,E; Pereira, C; Batista, J. **Casa Eficiente: Consumo e Geração de Energia.** UFSC, 2010.

Leva, F; Salerno, C; Camacho, J; Guimarães, S. **Modelo de um projeto de um sistema fotovoltaico.** Anais do 5º Encontro de Energia no Meio Rural, 2004, Campinas.

Magalhães, L. C. **Orientações Gerais para Conservação de Energia Elétrica em Prédios Públicos.** Rio de Janeiro: Eletrobras; Procel, 2001.

Maggi, T. **Estudo e implementação de uma Luminária de iluminação pública a base de Leds.** UFSM – Programa de Pós Graduação em Engenharia Elétrica, 2013.

Marques, M. C. S.; Haddad, J.; Guardia, E. C. **Eficiência Energética: Teoria & Prática.** Primeira. Itajubá: 2007.

Martins, V. **Energia e desenvolvimento: porque o brasil precisa de mais eficiência energética.** Caderno de Opinião. FV Energia, 2018.

ME – Ministério da Economia. **Painel de Custeio Administrativo**, Ano Base 2019 – Serviços de Energia Elétrica, 2020.

MMA – Ministério do Meio Ambiente. **Eficiência energética: Guia Prático para Projetos de Eficiência Energética em Edifícios Através de Parcerias Público-Privadas**. Volume 1. Brasília, 2017

MME – Ministério de Minas e Energia. **Eficiência energética e energia solar fotovoltaica em prédios públicos - Guia Prático para a preparação de investimentos urbanos**. 1ª versão, São Paulo, SP, Brasil, 2020.

MME – Ministério de Minas e Energia. **Plano Nacional de Eficiência Energética – Premissas e Diretrizes Básicas**. Brasília, 2009.

Neto, A. S; Garcia, L.; Gomes, W.; Azevedo, A. **Análise de um projeto de eficiência energética em um posto de combustíveis com base metodológica no protocolo internacional de medição e verificação de performance (PIMVP)**. Campus do Goytacates, 2011.

Niskier, J; Macintyre A. **Instalações Elétricas**. Editora, 2013.

Nogueira, L. A. H. **Conservação de energia: Eficiência energética de equipamentos e instalações**. Auditoria energética. 3.ed. Itajubá (MG): Universidade Federal de Itajubá/FUPAI, 2006.

Parida, Bhubaneswari. INIYAN, S. GOIC, Ranko. **A review of solar photovoltaic Technologies**. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2011.

Pezatti, T. V. **A percepção da luz por diferentes profissões**. Revista on-line especialize iluminação e designer de interiores. 2015.

Pinho, J; Galdino, M. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. CEPEL – CRESESB. Rio de Janeiro, 2014.

Rocha, L.R; Monteiro, M.A. **Gestão Energética**. Rio de Janeiro: Eletrobras Procel, 2005.

Rodrigues, Pierre. **Manual de iluminação eficiente**. 1.ed. Rio de Janeiro: PROCEL, 2002.

Rüther, R. **Edifícios solares fotovoltaicos: o potencial da geração solar fotovoltaica integrada a edificações urbanas e interligada à rede elétrica pública do Brasil**. Editora UFSC / LABSOLAR, Florianópolis, 2004.

Santos, A.; Bortoni, E. **Eficiência Energética Teoria & Prática**, 1a. Edição, 2007.

Santos, C. **Iluminação Pública e Sustentabilidade Energética**. 2011. Dissertação (Mestrado Interligado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores) – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. 2011.

Silva, E.; Menezes, E. **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação**, 4ª Ed. revisada e atualizada, 2005.

Teixeira, I; Riveira, R; Reiff,L. **Iluminação LED: sai Edison, entram Hartz e Moore – benefícios e oportunidades para o país.** BNDES, Tecnologias da Informação e Comunicação, 2016.

UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. **Ofício Circular nº 003-2018-PROPLAN-Mobilização para redução do consumo de energia elétrica.** UFRGS, 2018.

UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. **Portaria nº 802 de 23/01/2019,** que visa a como deve ser feita a redução da operação na universidade. UFRGS, 2019.

Urbanetz, J. **Sistemas Fotovoltaicos Conectados a Redes de Distribuição Urbanas: sua influência na qualidade da energia elétrica e análise dos parâmetros que possam afetar a conectividade.** 2010. UFSC, Florianópolis-SC, 2010.

Vasconcelos, F. **Cálculo da Relação Custo-Benefício de Projetos de Saneamento para o Programa de Eficiência Energética (PEE) da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL).** Cooperação Alemã para o Desenvolvimento Sustentável. Outubro, 2016.

APÊNDICE A – MEMÓRIA DE CÁLCULO RCB

A1 – Viabilidade Sistema de Iluminação Artificial

Item	Descrição do Equipamento	Custo Unitário	Quantidade	Custo Equipamento CE _{equip}	% do equipamento em relação ao Total	Custo do Equipamento incluindo MO	Vida Útil em anos (n)	Taxa de Desconto (i)	FRC	Custo Anualizado CA _{equip}
1	Luminária LED 30W	R\$ 531,85	266	R\$ 141.472,10	12,16%	R\$ 178.774,12	10	0,08	0,1490	R\$ 26.642,62
2	Luminária LED 70W	R\$ 623,52	168	R\$ 104.751,36	9,00%	R\$ 132.371,21	10	0,08	0,1490	R\$ 19.727,21
3	Luminária LED 150W	R\$ 875,02	226	R\$ 197.754,52	17,00%	R\$ 249.896,56	10	0,08	0,1490	R\$ 37.241,96
4	Luminária LED 186W	R\$ 1.119,01	124	R\$ 138.757,24	11,93%	R\$ 175.343,43	10	0,08	0,1490	R\$ 26.131,34
5	Relé	R\$ 26,41	784	R\$ 20.705,44	1,78%	R\$ 26.164,85	10	0,08	0,1490	R\$ 3.899,33
SUB TOTAL DE MATERIAIS			1.568	R\$ 603.440,66	51,87%	R\$ 762.550,17				R\$ 113.642,46
1	Mão-de-obra Própria	R\$ 0,00	1	R\$ 0,00	0%					
2	Mão-de-obra de terceiros	R\$ 96.000,00	1	R\$ 96.000,00	15,91%	CEE		R\$ 347,77		
3	Treinamento	R\$ 0,00	1	R\$ 0,00	0,00%	CDE		R\$ 293,26		
4	Descarte de materiais	R\$ 3.195,00	1	R\$ 3.195,00	0,00%	EE (MWh.ano)		389,05		
5	Medição e Verificação - M&V	R\$ 16.755,00	1	R\$ 16.755,00	17,45%	RDP (kW)		88,82		
6	Auditoria Contábil Financeira	R\$ 0,00	1	R\$ 0,00	0,00%	Benefícios Monetários		R\$ 161.348,14		
7	Gestão	R\$ 9.705,00	1	R\$ 9.705,00	1,61%	RCB Individual		0,70		
8	Diagnostico Energético	R\$ 7.325,00	1	R\$ 7.325,00	1,21%					
SUB TOTAL DE SERVIÇOS				R\$ 132.980,00	22,04%					

A2 – Viabilidade SFV

Item	Descrição do Equipamento	Custo Unitário	Quantidade	Custo Equipamento CE _{equip}	% do equipamento em relação ao Total	Custo do Equipamento incluindo MO	Vida Útil em anos (n)	Taxa de Desconto (i)	FRC	Custo Anualizado CA _{equip}
1	Módulos Solares	R\$ 994,54	366	R\$ 364.000,00	31,29%	R\$ 459.976,07	25	0,08	0,0937	R\$ 43.090,00
2	Inversores	R\$ 100.800,00	1	R\$ 100.800,00	8,66%	R\$ 127.377,99	15	0,08	0,1168	R\$ 14.881,51
3	Estruturas	R\$ 89.600,00	1	R\$ 89.600,00	7,70%	R\$ 113.224,88	20	0,08	0,1019	R\$ 11.532,20
4	Outros	R\$ 5.600,00	1	R\$ 5.600,00	0,48%	R\$ 7.076,55	15	0,08	0,1168	R\$ 826,75
SUB TOTAL DE MATERIAIS			1.568	R\$ 603.440,66	48,13%	R\$ 707.655,49				R\$ 70.330,46
1	Mão-de-obra Própria	R\$ 0,00	1	R\$ 0,00	0%					
2	Mão-de-obra de terceiros	R\$ 140.000,00	1	R\$ 140.000,00	25,00%	CEE		R\$ 497,32		
3	Treinamento	R\$ 0,00	1	R\$ 0,00	0,00%	CDE		R\$ 0,00		
4	Descarte de materiais	R\$ 0,00	1	R\$ 0,00	0,00%	EE (MWh.ano)		221,30		
5	Medição e Verificação - M&V	R\$ 16.755,00	1	R\$ 16.755,00	2,99%	RDP (kW)		0,00		
6	Auditoria Contábil Financeira	R\$ 0,00	1	R\$ 0,00	0,00%	Benefícios Monetários		R\$ 110.056,92		
7	Gestão	R\$ 9.705,00	1	R\$ 9.705,00	1,73%	RCB Individual		0,64		
8	Diagnostico Energético	R\$ 7.325,00	1	R\$ 7.325,00	1,31%					
SUB TOTAL DE SERVIÇOS				R\$ 173.785,00	26,37%					

A3 – Viabilidade Global

Item	Descrição do Equipamento	Custo Unitário	Quantidade	Custo Equipamento CE _{equip}	% do equipamento em relação ao Total	Custo do Equipamento incluindo MO	Vida Útil em anos (n)	Taxa de Desconto (i)	FRC	Custo Anualizado CA _{equip}
1	Módulos Solares	R\$ 994,54	366	R\$ 364.000,00	31,29%	R\$ 459.976,07	25	0,08	0,0937	R\$ 43.090,00
2	Inversores	R\$ 100.800,00	1	R\$ 100.800,00	8,66%	R\$ 127.377,99	15	0,08	0,1168	R\$ 14.881,51
3	Estruturas	R\$ 89.600,00	1	R\$ 89.600,00	7,70%	R\$ 113.224,88	20	0,08	0,1019	R\$ 11.532,20
4	Outros	R\$ 5.600,00	1	R\$ 5.600,00	0,48%	R\$ 7.076,55	15	0,08	0,1168	R\$ 826,75
5	Luminária LED 30W	R\$ 531,85	266	R\$ 141.472,10	12,16%	R\$ 178.774,12	10	0,08	0,1490	R\$ 26.642,62
6	Luminária LED 70W	R\$ 623,52	168	R\$ 104.751,36	9,00%	R\$ 132.371,21	10	0,08	0,1490	R\$ 19.727,21
7	Luminária LED 150W	R\$ 875,02	226	R\$ 197.754,52	17,00%	R\$ 249.896,56	10	0,08	0,1490	R\$ 37.241,96
8	Luminária LED 186W	R\$ 1.119,01	124	R\$ 138.757,24	11,93%	R\$ 175.343,43	10	0,08	0,1490	R\$ 26.131,34
9	Relé	R\$ 26,41	784	R\$ 20.705,44	1,78%	R\$ 26.164,85	10	0,08	0,1490	R\$ 3.899,33
SUB TOTAL DE MATERIAIS			1.937	R\$ 1.163.440,66	48,13%	R\$ 1.470.205,66				R\$ 183.972,93
1	Mão-de-obra Própria	R\$ 0,00	1	R\$ 0,00	0%					
2	Mão-de-obra de terceiros	R\$ 236.000,00	1	R\$ 236.000,00	20,28%	CEE		R\$ 347,77	R\$ 497,32	
3	Treinamento	R\$ 0,00	1	R\$ 0,00	0,00%	CDE		R\$ 293,26		
4	Descarte de materiais	R\$ 3.195,00	1	R\$ 3.195,00	0,27%	EE (MWh.ano)		610,35		
5	Medição e Verificação - M&V	R\$ 33.510,00	1	R\$ 33.510,00	2,88%	RDP (kW)		88,82		
6	Auditoria Contábil Financeira	R\$ 0,00	1	R\$ 0,00	0,00%	Benefícios Monetários		R\$ 271.405,05		
7	Gestão	R\$ 9.705,00	1	R\$ 9.705,00	1,67%	RCB Individual		0,68		
8	Diagnostico Energético	R\$ 14.650,00	1	R\$ 14.650,00	1,26%					
SUB TOTAL DE SERVIÇOS				R\$ 306.765,00	26,37%					

APÊNDICE B – SIMULAÇÕES DIALUX

B1 – Lista das luminárias

Simulação Iluminação Artificial Externa_Campus do Vale

DIALux

Lista de luminárias

Φ_{total} 11097328 lm	P_{total} 76099.6 W	Rendimento luminoso 145.8 lm/W
-------------------------------	--------------------------	-----------------------------------

Un.	Fabricante	N° do artigo	Nome do artigo	P	Φ	Rendimento luminoso
168	LEDSTAR		SL DU V8.3 70W 5K0	70.5 W	10481 lm	148.7 lm/W
266	TW400188 9 TAUSAGPT LRRT DL 30W700IE BRS1			30.8 W	3725 lm	120.9 lm/W
226	UNICOBA ENERGIA - LEDSTAR		SL DURA V8.3 150W 5K0	147.0 W	21549 lm	146.6 lm/W
124	UNICOBA ENERGIA - LEDSTAR		SL DURA V8.3 186W 4K0	184.2 W	28029 lm	152.2 lm/W

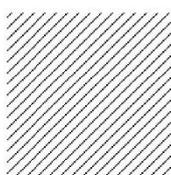
B2 – Folha de dados dos produtos

Simulação Iluminação Artificial Externa_Campus do Vale

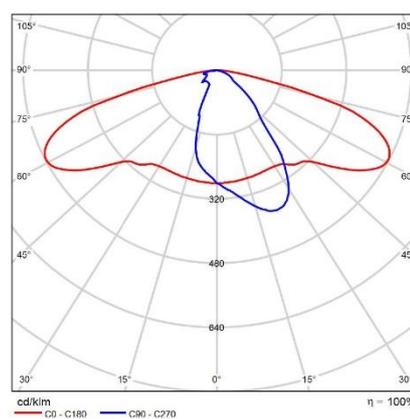
DIALux

Folha de dados do produto

TW4001889 TAUSAGPTLRRT DL 30W700IEBRS1



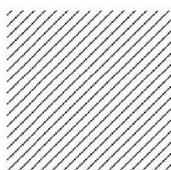
P	30.8 W
$\Phi_{\text{Lâmpada}}$	3736 lm
$\Phi_{\text{Luminária}}$	3725 lm
η	99.71 %
Rendimento luminoso	120.9 lm/W
CCT	5470 K
CRI	86



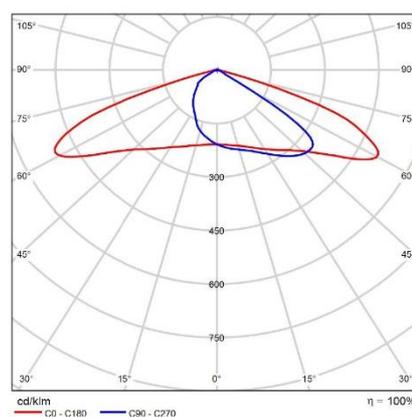
CDL polar

Folha de dados do produto

LEDSTAR SL DU V8.3 70W 5K0



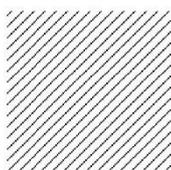
P	70.5 W
$\Phi_{\text{Lámpada}}$	10481 lm
$\Phi_{\text{Luminária}}$	10481 lm
η	100.00 %
Rendimento luminoso	148.7 lm/W
CCT	5470 K
CRI	86



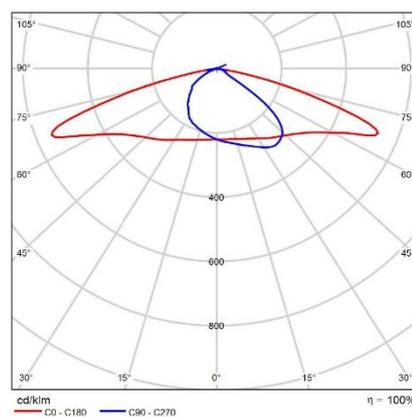
CDL polar

Folha de dados do produto

UNICOBA ENERGIA - LEDSTAR SL DURA V8.3 150W 5K0



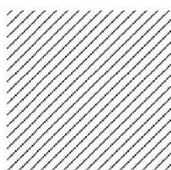
P	147.0 W
$\Phi_{\text{Lâmpada}}$	21547 lm
$\Phi_{\text{Luminária}}$	21549 lm
η	100.01 %
Rendimento luminoso	146.6 lm/W
CCT	5470 K
CRI	86



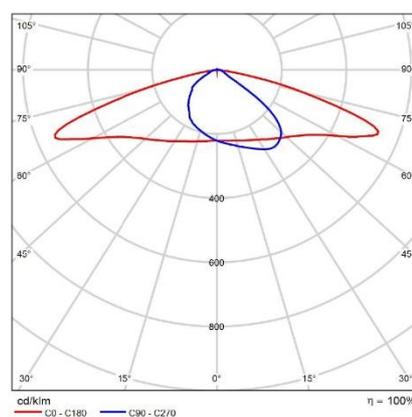
CDL polar

Folha de dados do produto

UNICOBA ENERGIA - LEDSTAR SL DURA V8.3 186W 4K0



P	184.2 W
$\Phi_{\text{Lâmpada}}$	28028 lm
$\Phi_{\text{Luminária}}$	28029 lm
η	100.00 %
Rendimento luminoso	152.2 lm/W
CCT	5470 K
CRI	86



CDL polar

B3 – Objetos de cálculo

Simulação Iluminação Artificial Externa_Campus do Vale

DIALux

Campus do Vale

Objectos de cálculo

Superfícies de cálculo

Propriedades	\bar{E}	E_{\min}	E_{\max}	g_1	g_2	Índice
Área 4 - Via de Veículos - Canteiro Central Potência luminosa perpendicular Altura: 0.000 m	36.0 lx	22.5 lx	54.5 lx	0.63	0.41	S1
Área 5 - Cruzamento de acesso ao Campus Potência luminosa perpendicular Altura: 0.000 m	54.3 lx	23.7 lx	105 lx	0.44	0.23	S2
Área 4 - Via de Veículos - Canteiro Central - Entrada Potência luminosa perpendicular Altura: 0.000 m	26.6 lx	12.3 lx	47.7 lx	0.46	0.26	S3
Área 4 - Via de Veículos - Canteiro Central - Saída Potência luminosa perpendicular Altura: 0.000 m	22.2 lx	7.47 lx	46.9 lx	0.34	0.16	S4
Área 1 - Praça Instituto de Letras Potência luminosa perpendicular Altura: 0.000 m	41.3 lx	3.93 lx	103 lx	0.095	0.038	S5
Área 6 - Via de Veículos - Faixa Rodagem Dupla Potência luminosa perpendicular Altura: 0.000 m	35.3 lx	18.6 lx	64.8 lx	0.53	0.29	S6
Área 7 - Estacionamento Interno Potência luminosa perpendicular Altura: 0.000 m	33.4 lx	6.74 lx	116 lx	0.20	0.058	S7
Área 2 - Corredores Pedestres Potência luminosa perpendicular Altura: 0.000 m	25.2 lx	9.97 lx	64.1 lx	0.40	0.16	S8
Área 3 - Via de Veículos Pórtico Principal Potência luminosa perpendicular Altura: 0.000 m	23.9 lx	9.77 lx	59.7 lx	0.41	0.16	S9

Perfil de utilização: Áreas gerais de tráfego com instalações/locais de trabalho ao ar livre, Áreas de tráfego para veículos de movimento lento (máx. 10km/h), p.ex., bicicletas, escavadeiras

Avisos sobre o planeamento:

O cálculo dos resultados é baseado apenas na componente de luz direta. Não é tomada em conta a contribuição da luz refletida.