

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

THIAGO KUERTEN

PROPOSTA DE MODERNIZAÇÃO E EFICIENTIZAÇÃO EM ESCOLA DO ENSINO
BÁSICO

CURITIBA

2022

THIAGO KUERTEN

PROPOSTA DE MODERNIZAÇÃO E EFICIENTIZAÇÃO EM ESCOLA DO ENSINO
BÁSICO

Monografia apresentada como requisito parcial a obtenção do título de Especialista, Curso de Pós-Graduação em Eficiência Energética e Geração Distribuída, Departamento de Engenharia Elétrica, Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof^o Dr. James Alexandre Baraniuk

CURITIBA

2022

Thiago Kuerten

Proposta de Modernização e Eficientização em Escola do Ensino Básico/
Thiago Kuerten. – Curitiba, 2022.

76 p. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Orientador: Prof^o Dr. James Alexandre Baraniuk.

Eficiência energética. Iluminação. Condicionamento Ambiental. Isolamento térmico. RTQ-C. Viabilidade econômica.

Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia, Pós-Graduação em Eficiência Energética e Geração Distribuída.



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SETOR DE TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E GERAÇÃO DISTRIBUÍDA -
40001016317E1

TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E GERAÇÃO DISTRIBUÍDA da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da Monografia de Especialização de THIAGO KUERTEN intitulada: PROPOSTA DE MODERNIZAÇÃO E EFICIENTIZAÇÃO DA INSTALAÇÃO ELÉTRICA EM ESCOLA DO ENSINO BÁSICO, que após terem inquirido o aluno e realizada a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua APROVAÇÃO no rito de defesa.

A outorga do título de especialista está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

Curitiba, 18 de fevereiro de 2022.

James Alexandre Baraniuk

Presidente da Banca Examinadora

Prof. Dr. **JAMES ALEXANDRE BARANIUK**
Docente do Depto. de Eng. Elétrica
Matrícula UFPR 202140

João da Silva Dias

Avaliador Interno (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Sergio e Claudia, pelo amor, carinho, apoio, estrutura, e incentivo incondicional para desenvolvimento do filho.

Ao meu irmão, Rodrigo, pelo companheirismo singelo.

À minha companheira, Larissa, pela união, confiança, carinho e força.

Ao meu orientador, Prof. Dr. James Alexandre Baraniuk, pela caminhada de desenvolvimento deste trabalho com o suporte, apoio, presença, entendimento e disposição para concretização deste trabalho.

Às pessoas responsáveis pela escola de Campo Mourão, Rosemeri, Carmem Lúcia e Viviane pela confiança, esclarecimento, auxílio no desenvolvimento da proposta.

Ao meu tio, Sidney, por confiar e recomendar meu trabalho para a escola.

Ao meu amigo desde a graduação, Omar, que foi meu companheiro de estrada, estadia e duradoura amizade nos trajetos Londrina-Curitiba.

Aos meus amigos da especialização, Willian, João, Régis, onde formamos a 'Carreta Furacão' encarando o percurso da especialização.

À Deus, por me amparar e iluminar na estrada da vida.

RESUMO

Este trabalho propõe a modernização da iluminação e do condicionamento ambiental das dependências de uma escola de ensino básico de Campo Mourão, Paraná, com base em parâmetros, normas e requisitos pautados em eficiência energética. O desenvolvimento do trabalho transcorreu a partir de visitas técnicas na edificação mapeando as condições estruturais existentes, diagramando a instalação elétrica da planta e registrando as especificações técnicas dos equipamentos ligados ao condicionamento térmico. Através de simulações, elaborou-se o estudo luminotécnico das salas de aula com a inserção de lâmpadas LED complementando com a melhoria de iluminância média pelo reposicionamento das luminárias existentes, e também oportunizou-se automatizações das lâmpadas em ambientes de circulação dos prédios. Simultaneamente, considerou-se duas soluções para redução da carga térmica das salas com a utilização de forro de EPS (isopor) e também a pintura do telhado com tinta acrílica emborrachada branca, validando-os também com ferramenta computacional. Através destas propostas, entregou-se a revitalização dos espaços de convivência frequente com o aumento no desempenho luminotécnico, redução de 57,6% da demanda em iluminação, classificação de eficiência energética em iluminação nível A conforme RTQ-C, e redução total da carga térmica de resfriamento em 13,34%, possibilitando o melhor aproveitamento do espaço para inserção condicionadores de ar de nível A de eficiência energética conforme Programa Brasileiro de Etiquetagem. No aspecto de viabilidade econômica das soluções, a proposta luminotécnica resultou em um payback descontado de 9,13 meses com benefício mensal de R\$ 3.725,97; a proposta de pintura do teto com retorno em 12,74 meses; a inserção de forro de isopor em 26,55 meses; a solução conjunta de isolamento térmico em 25,05 meses com benefício mensal de R\$ 925,61. Isto posto, o projeto entrega para a escola ações de uso eficiente dos recursos energéticos visando conforto e melhor estrutura para as práticas educacionais.

Palavras-chaves: Eficiência energética. Iluminação. Condicionamento Ambiental. Isolamento térmico. RTQ-C. Viabilidade econômica.

ABSTRACT

This work proposes a modernization of the lighting and environmental conditioning of the dependencies of an elementary school located at Campo Mourão, Paraná, based on parameters, standards and requirements lined with an energy efficiency ethos. The development of this work occurred based on a series of technical visits on site, mapping the existing structural conditions, diagramming the plant's electrical installation, and registering the technical specifications of the equipments linked to the thermal conditioning. Through simulations, a lighting technique study of the classrooms was developed with the insertion of LED lamps, complementing the further improvement of the average lightning of the rooms achieved with the repositioning of existing luminaires. Additionally, it was also possible to automate the lamps where common circulation occurs in the buildings. Simultaneously, two solutions were considered to reduce the thermal load of the rooms: the use of EPS (expanded polystyrene) lining, and roof painting with white rubberized acrylic paint — with both being validated with a computer software. Through these proposals, a revitalization of frequent living spaces with an increase in lighting and energy performance, reduction of 57.6% in illumination's demand, level A energy efficiency in illumination according to RTQ-C, and a total reduction of the cooling load by 13.34%, enabling the best use of space for the insertion of energy efficiency level A air conditioners according to the Brazilian Labeling Program. In terms of the economic viability of the solutions, the lighting efficiency resulted in a discounted payback of 9.13 months with a monthly benefit of R\$ 3,725.97; the ceiling painting proposal with a return of 12.74 months; the insertion of EPS lining in 26.55 months; and the joint thermal insulation solution in 25.05 months with a monthly benefit of R\$ 925.61. That said, the project delivers actions for the efficient use of energy resources to the school, aiming at comfort and a better structure for educational practices.

Key-words: Energy efficiency. Illumination. Environmental conditioning. Thermal isolation. RTQ-C. Economic viability.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 – Níveis de eficiência energética conforme RTQ-C.	19
FIGURA 2 – Ilustração representativa das fontes de carga térmica em um ambiente.	23
FIGURA 3 – Imagem de divulgação da nova classificação e etiqueta de eficiência energética de ar-condicionado.	25
FIGURA 4 – Visão lateral do prédio frontal da escola estudada.	29
FIGURA 5 – Incorreta utilização da luminária da escola, sendo adaptada para soquete de lâmpada bulbo.	30
FIGURA 6 – Evidência da luminária fixada rente à parede.	32
FIGURA 7 – Ilustração representativa da infraestrutura de perfilado projetada para a escola.	33
FIGURA 8 – Luminária Itaim 4012 utilizada nas simulações por semelhança com a luminária vigente da escola.	33
FIGURA 9 – Sensor de presença Intelbras ESP 360 proposto.	34
FIGURA 10 – Visão geral de uma sala de aula da escola.	35
FIGURA 11 – Visão do teto da edificação mostrando a ausência de forro.	36
FIGURA 12 – Visão geral do teto a ser aplicada a pintura.	36
FIGURA 13 – Recorte da planta luminotécnica de uma das salas de aula no cenário vigente.	38
FIGURA 14 – Layout da iluminação proposto para as salas de aula (Cenário 3), incluindo os planos de cálculo luminotécnico.	39
FIGURA 15 – Plano espectral de iluminância da sala de aula projetada no Cenário 3.	39
FIGURA 16 – Representação tridimensional do espectro de iluminância da sala de aula projetada no Cenário 3.	40
FIGURA 17 – Recorte da planta luminotécnica vigente visualizando a sala de aula noturna.	41
FIGURA 18 – Layout da iluminação proposta para as salas de aula noturna, incluindo os planos de cálculo luminotécnico.	41
FIGURA 19 – Plano espectral de iluminância da sala de aula noturna projetada.	42
FIGURA 20 – Representação tridimensional do espectro de iluminância da sala de aula projetada.	42
FIGURA 21 – Representação tridimensional do primeiro andar, pavimento das salas de aula; vista aérea frontal.	49

FIGURA 22 – Representação tridimensional do primeiro andar, pavimento das salas de aula; vista aérea superior.	49
FIGURA 23 – Representação tridimensional do primeiro andar, pavimento das salas de aula; visão lateral aproximada.	50
FIGURA 24 – Representação tridimensional do primeiro andar, pavimento das salas de aula; visão lateral afastada.	50
FIGURA 25 – Diagrama do Mapa de Calor das salas de aula considerando a carga térmica de calor sensível avaliada.	54

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – Planejamento dos ambientes, tarefas ou atividades de construções educacionais com a especificação da iluminância, limite de ofuscamento e qualidade da cor.	20
TABELA 2 – Limite máximo aceitável de densidade de potência de iluminação para o nível de eficiência pretendido pelo método da área da edificação.	21
TABELA 3 – Níveis de eficiência dos condicionadores de ar tipo split de 2014 a 2022.	24
TABELA 4 – Classes de eficiência energética para condicionadores de ar tipo split com prazos futuros definidos.	24
TABELA 5 – Exemplo de um fluxo de caixa para análise de payback simples. .	26
TABELA 6 – Exemplo de um fluxo de caixa para análise de payback descontado.	27
TABELA 7 – Especificações técnicas das lâmpadas Intral TUBO LED PRO PC utilizadas.	31
TABELA 8 – Iluminância média e ofuscamento das salas de aula da escola nos cenários propostos.	40
TABELA 9 – Potencial de redução de consumo de energia com o uso de sensores de presença.	43
TABELA 10 – Relação de mudanças na iluminação dos ambientes de convivência frequente da escola.	44
TABELA 11 – Classificação de eficiência energética em iluminação com base nos critérios PROCEL RTQ-C dos ambientes de convivência frequente da escola.	45
TABELA 12 – Valores-chave utilizados para avaliação econômica da proposta luminotécnica. Base de preços de setembro de 2021.	46
TABELA 13 – Perfil de uso dos ambientes de convivência frequente da escola. .	47
TABELA 14 – Avaliação de viabilidade econômica da efficientização luminotécnica da escola.	48
TABELA 15 – Máximo calor sensível de resfriamento simulado nas salas de aula.	51
TABELA 16 – Avaliação da melhoria do calor sensível de resfriamento em relação ao cenário vigente.	52
TABELA 17 – Benefício gerado com a melhoria de calor sensível de resfriamento das salas de aula de acordo com perfil de uso dos espaços. . . .	53
TABELA 18 – Avaliação de viabilidade econômica das propostas de efficientização do condicionamento térmico das salas de aula.	53

LISTA DE ABREVIATURAS E DE SIGLAS

ANEEL Agência Nacional de Energia Elétrica

ASHRAE American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.

CCT Coeficiente de condutividade térmica

COP Coeficiente de Eficiência Energética

EPS Poliestireno Expandido em inglês; Isopor

IDRS Índice de Desempenho de Resfriamento Sazonal

INEP Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira

Inmetro Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia

LED Light-Emitting Diode, Diodo Emissor de Luz

MME Ministério de Minas e Energia

PBE Programa Brasileiro de Etiquetagem

PNE Plano Nacional de Energia

PNEf Plano Nacional de Eficiência Energética

Procel Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica

RAC Requisitos de Avaliação da Conformidade para Eficiência Energética de Edificações

RTQ-C Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos

RTQ-R Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais

TIR Taxa Interna de Retorno

VPL Valor Presente Líquido

LISTA DE SÍMBOLOS

UGR_L	Índice limite de ofuscamento unificado
R_a	Índice de reprodução de cor mínimo
DPI_L	Densidade de potência de iluminação limite [W/m ²]
BTU/h	British Thermal Unit por hora
TR	Tonelada de Refrigeração
r	Taxa mínima de atratividade do projeto [%]
FC_n	Entradas do fluxo de caixa [R\$]
I_0	Valor investido na aplicação [R\$]
P	Potência elétrica [W]
ϕ	Fluxo luminoso [lm]
IRC	Índice de reprodução de cor
\bar{E}_m	Iluminância média; iluminância mantida [lux]

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	MOTIVAÇÃO E JUSTIFICATIVA	15
1.2	OBJETIVOS	16
1.2.1	Objetivo Geral	16
1.2.2	Objetivos Específicos	16
1.3	ESTRUTURA DO TRABALHO	16
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	18
2.1	CONCEITO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	18
2.2	EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM ILUMINAÇÃO	19
2.3	EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM CONDICIONAMENTO AMBIENTAL	21
2.3.1	Envoltória	21
2.3.2	Condicionamento de ar	22
2.4	ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA	25
2.4.1	Payback simples	26
2.4.2	Payback descontado	26
2.4.3	Valor Presente Líquido	27
2.5	ESTADO DA ARTE	28
3	METODOLOGIA	29
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	38
4.1	ILUMINAÇÃO	38
4.2	CONDICIONAMENTO AMBIENTAL	49
5	CONCLUSÕES	56
	REFERÊNCIAS	59
	APÊNDICES	63
	APÊNDICE A - PLANTA BAIXA CIVIL VIGENTE	63
	APÊNDICE B - PLANTA BAIXA LUMINOTÉCNICA VIGENTE	66
	APÊNDICE C - PLANTA BAIXA LUMINOTÉCNICA PROPOSTA	69
	APÊNDICE D - PARÂMETROS DO TETO NO SOFTWARE DOMUS NA SITUAÇÃO VIGENTE	72

APÊNDICE E - PARÂMETROS DO TETO NO SOFTWARE DOMUS NA PROPOSTA DE PINTURA EXTERNA DO TETO	73
APÊNDICE F - PARÂMETROS DO TETO NO SOFTWARE DOMUS NA PROPOSTA COM FORRO DE ISOPOR NAS SALAS DE AULA	74
APÊNDICE G - PARÂMETROS DO TETO NO SOFTWARE DOMUS NA PROPOSTA COM SOLUÇÃO CONJUNTA DE CONDICIONAMENTO	75
ANEXOS	76
ANEXO A - BOLETIM TÉCNICO DA TINTA ACRÍLICA EMBORRACHADA	76

1 INTRODUÇÃO

O contexto mundial é de dificuldades para suprir a demanda crescente de energia de suas populações e, ao mesmo tempo, fornecer recursos energéticos para suprir o desenvolvimento econômico (IEA, 2021). Sendo assim, é de responsabilidade dos variados agentes do setor energético – como o poder público – criar, divulgar e fomentar a otimização e a racionalização de energia nas diferentes classes de consumo da sociedade (JANNUZZI, 2010).

A primeira iniciativa do pública neste sentido ocorreu em 1981 com o Programa Conserve, que visava a conservação de energia na indústria e o incentivo de fontes nacionais. Em 1985, o Ministério de Minas e Energia instituiu o Procel, Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica, que promove ações de eficiência energética em diversos segmentos da economia (ALTOÉ et al., 2017).

Uma das ações criadas no Procel é o PBE, Programa Brasileiro de Etiquetagem, que fornece ao consumidor informações de desempenho energético dos produtos, provendo informações úteis na decisão de compra dos consumidores e estimulando a indústria no desenvolvimento de tecnologias mais econômicas. Atualmente, o PBE é gerido pelo Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (Inmetro) (BARROS; BORELLI; GEDRA, 2015).

Também, pode-se citar o Programa de Eficiência Energética da ANEEL, publicada como lei em julho de 2000, onde as distribuidoras de energia devem aplicar 0,40% da receita operacional líquida anual em projetos de incremento da eficiência energética no uso final de energia elétrica (COPEL, 2020). Até então, já foi responsável por mais de R\$ 13,5 bilhões investidos em soluções que levam ao aumento de produtividade e de eficiência no setor elétrico nacional (ANEEL, 2020).

Mais recentemente, o Plano Nacional de Eficiência Energética, lançado em 2011 em conjunto com o Plano Nacional de Energia 2030, prevê mecanismos de ação voluntária e também compulsória que resultem em uma redução de 10% no consumo de energia (BARROS; BORELLI; GEDRA, 2015). O plano indica que a área da educação é agente difusor na promoção do uso de tecnologias, práticas e técnicas de elevado rendimento energético, e de conscientização da comunidade escolar e da população em novos hábitos de consumo e racionalização de energia (MME, 2011).

Segundo dados de Ministério da Educação e Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira, há 9.481 escolas de ensino básico no estado do Paraná, contemplando rede federal (30), estadual (2.131), municipal (5.175) e particular (2.145) no ano de 2020 (INEP, 2021).

Adicionalmente, referências de estudos de eficiência energética em instituições de ensino brasileiras indicam que a soma de consumo iluminação mais refrigeração representa, valores médios de 60% (SILVA, 2015), havendo casos de 72% (LAGE; MORAIS LAGE; MORAIS LAGE, 2015). Portanto, atuar nas principais cargas consumidas do ambiente escolar representa, além do trabalho ligado ao uso racional e eficaz da energia, impactar positivamente na redução do custo fixo de energia elétrica, incentivar métodos e conceitos atrelados à redução nos impactos ambientais e ser referência direta no trabalho de difusão de práticas de eficiência energética no âmbito educacional.

1.1 MOTIVAÇÃO E JUSTIFICATIVA

A eficiência energética nesta escola municipal de Campo Mourão terá a capacidade de disseminar para a comunidade acadêmica o caso prático diante de uma área em crescente fomento, por estar alinhado ao desenvolvimento sustentável, ao uso eficiente de energia elétrica, às políticas públicas brasileiras e a uma direção inicial rumo à neutralização de emissões de carbono.

Ao trazer à tona uma proposta onde será ponderada a viabilidade financeira para que a escola se torne sustentável energeticamente, é possível oportunizar empregos e ações voltadas às atividades de efficientização. Outro fator relevante é que, com a recente crise energética enfrentada pelo Brasil em 2021, o aumento da tarifa energética advém como consequência. Devido a atividade fim da escola possuir um comportamento praticamente constante ao longo do ano letivo, tem-se nos gastos com consumo de energia uma despesa fixa considerável, e a atuação deste trabalho impacta reduções nas despesas do município.

Ademais, parte da pretensão do discente em divulgar uma monografia diante de problema prático da especialização. Junto a isto, o autor acabou sendo procurado no segundo semestre de 2020 para atuação como engenheiro eletricista autônomo a fim de solucionar variados problemas na instalação elétrica de uma escola de ensino básico em Campo Mourão, Paraná. Com o avanço das negociações, acabou-se acertando com esta atividade fosse norteadas com métodos e soluções energeticamente eficientes.

Portanto, o tema justifica-se pela implementação de um projeto com aspirações práticas em soluções de eficiência energética em iluminação, climatização e condicionamento térmico para que a escola, com redução do consumo de energia, com uso inteligente e responsável de recursos, possa desenvolver o ensino fundamental e infantil com infraestrutura, conforto e segurança nas instalações elétricas.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

Tendo em vista a justificativa, objetiva-se o seguinte:

- Entregar uma proposta de modernização do ambiente escolar atuando na instalação da iluminação e da climatização dos espaços com o foco em eficiência energética.

1.2.2 Objetivos Específicos

Em focos mais específicos do trabalho, tem-se as seguintes ações:

- Propor um projeto luminotécnico com iluminação a LED, automatizando a iluminação em locais estratégicos da escola e respeitando as normas técnicas da área.
- Elaborar um projeto de condicionamento ambiental das salas de aula com a inserção de condicionadores de ar e alternativas estruturais para o conforto térmico, assim contornando as queixas da comunidade escolar sobre o calor excessivo no prédio.
- Avaliar a viabilidade econômica das soluções propostas apresentando a relação custo-benefício das melhorias levantadas.

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho está dividido em cinco capítulos. O primeiro apresenta uma introdução de suporte ao tema, bem como a motivação e a justificativa para o desenvolvimento da proposta, quais os objetivos a serem alcançados e um breve resumo da organização textual.

O segundo capítulo traz a fundamentação teórica dos conceitos de iluminação e de condicionamento ambiental direcionados para os fatores, requisitos, e condições que possibilitam o uso eficiente de energia. Complementa-se a seção expondo uma revisão sobre o tema com casos já publicadas na literatura.

No terceiro capítulo, detalha-se a metodologia da proposta referenciando todo o contexto histórico da escola estudada, aborda-se a estratégia utilizada para modernizar a iluminação dos espaços e a forma de avaliação com utilização de software dedicado, o processo e os critérios empregados na melhoria de condicionamento das salas

de aula e também explica-se o processo de avaliação de viabilidade econômica das propostas.

Já no quarto capítulo são abordados os resultados obtidos mediante a metodologia adotada no trabalho, buscando discutir e justificar acerca dos desfechos alcançados.

No quinto e último capítulo finaliza-se o trabalho pontuando as discussões sobre os objetivos inicialmente propostos, a avaliação sobre os resultados alcançados, as dificuldades e as proposições futuras sobre o tema.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 CONCEITO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Define-se eficiência energética como as intervenções que promovem a redução do consumo de energia, mantendo-se ou melhorando o nível de serviço prestado. Isto é, as ações para o aumento da eficiência energética aumentam a razão entre o nível de energia produzida e o nível de energia consumida (MOREIRA; NETO, 2021). Neste sentido, contribui positivamente com o meio ambiente devido à diminuição da demanda por fontes energéticas tradicionais, que em grande parte são formadas por matrizes de recursos finitos como água, gás, petróleo, etc.

Essas ações de eficiência energética concentram-se normalmente nos estágios de operação e manutenção de sistemas e podem promover, em conjunto com a redução de consumo dos insumos (energia, água, gás etc.), reduções nos custos de operação e/ou manutenção (menos reparos e aumento da eficiência dos sistemas e/ou equipamentos). As ações para melhoria da eficiência energética podem resultar também em aumentos de lucratividade associados à melhoria da qualidade e da confiabilidade dos processos (MOREIRA; NETO, 2021).

Sendo assim, é importante estabelecer uma correlação - ou indicador - entre o processo realizado e resultado alcançado. Por exemplo, em um determinado mês de uma indústria automotiva, foram gastos 1,0 MWh para cada carro produzido. No mês seguinte, produziu-se a mesma quantidade de carros, mas gastou-se 1,1 MWh por carro, o que indica que o processo de produção foi menos eficiente no segundo mês (BARROS; BORELLI; GEDRA, 2015).

De uma forma ampla, trabalhar sobre o uso correto da energia é um assunto que envolve esferas públicas e privadas dos mais diversos níveis. E retomando a introdução do trabalho quanto ao contexto de iniciativas públicas nacionais para efficientização, desenvolveu-se dentro do PBE, os Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C); o Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R) e documentos complementares, como os Requisitos de Avaliação da Conformidade para Eficiência Energética de Edificações (RAC) e os Manuais para aplicação do RTQ-C e do RTQ-R.

Para a área estudada - ambiente escolar - orienta-se pelos parâmetros do RTQ-C, “que fornece uma classificação de edifícios através da determinação da eficiência de três sistemas, envoltória, iluminação e condicionamento de ar” (PROCEL, 2016).

São classificados cinco níveis de efficientização nestes sistemas conforme Figura 1, sendo que para o nível A não há limitação superior de resultado haja visto que a procura por efficientização deve ser constante.

FIGURA 1 – Níveis de eficiência energética conforme RTQ-C.



Fonte: (PROCEL, 2016).

2.2 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM ILUMINAÇÃO

Objetivando focar na fundamentação da eficiência energética, recomenda-se a leitura para revisão dos conceitos fundamentais de luminotécnica em (CEPEL, 2014), capítulo 4; (FONSECA PINHEIRO; CRIVELARO, 2014), capítulo 2; ou (BARROS; BORELLI; GEDRA, 2015), capítulo 2.

O olhar para a efficientização da iluminação de espaços envolve utilizar os benefícios da evolução tecnológica concatenando com o consumo consciente e seguro da energia elétrica.

Uma iluminação adequada proporciona aos usuários do espaço uma reprodução de cores com fidelidade, contribui para o conforto visual e físico para realizar as atividades necessárias no local, traz segurança nas movimentações e valoriza as características do ambiente construído.

Neste sentido, a norma brasileira ABNT NBR ISO/CIE 8995-1 de 2013 traz “os requisitos em consideração não apenas a iluminância, mas também o limite referente ao desconforto por ofuscamento e o índice de reprodução de cor mínimo da fonte para especificar os vários locais de trabalho e tipos de tarefas” (ABNT, 2013).

Na página a seguir, apresenta-se os requisitos normativos para o planejamento da iluminação, expondo na Tabela 1 os ambientes mais ligados ao objeto de estudo deste trabalho. Para a coluna de ambiente, tarefa ou atividade, expressa-se a iluminância mantida, \bar{E}_m dada em *lux*, o índice limite de ofuscamento unificado (UGR_L , adimensional), e o índice de reprodução de cor mínimo (R_a , adimensional). O requisito de outros diversos ambientes podem ser encontrados consultando a norma discutida.

Ou seja, ao projetar um ambiente de interiores, deve-se levar em conta estes parâmetros mínimos que garantem os “requisitos de segurança, saúde e desempenho eficiente do trabalho, e que podem ser atingidos com a utilização de soluções energeticamente eficientes” (ABNT, 2013).

TABELA 1 – Planejamento dos ambientes, tarefas ou atividades de construções educacionais com a especificação da iluminância, limite de ofuscamento e qualidade da cor.

Tipo de ambiente, tarefa ou atividade	\bar{E}_m	UGR_L	R_a
Brinquedoteca	300	19	80
Berçário	300	19	80
Sala dos profissionais do berçário	300	19	80
Salas de aula, salas de aulas particulares	300	19	80
Salas de aulas noturnas, classes e educação de adultos	500	19	80
Sala de leitura	500	19	80
Quadro negro	500	19	80
Mesa de demonstração	500	19	80
Salas de arte e artesanato	500	19	80
Salas de arte em escolas de arte	750	19	90
Salas de desenho técnico	750	16	80
Salas de aplicação e laboratórios	500	19	80
Oficina de ensino	500	19	80
Salas de ensino de música	300	19	80
Salas de ensino de computador	500	19	80
Laboratório linguístico	300	19	80
Salas de preparação e oficinas	500	22	80
Salas comuns de estudantes e salas de reunião	200	22	80
Salas dos professores	300	22	80
Salas de esportes, ginásios e piscinas	300	22	80
Estantes da biblioteca	200	19	80
Bibliotecárias	200	19	80

Fonte: (ABNT, 2013).

Outro aspecto decorrente do processo de geração de luz artificial é o consumo de energia ao utilizar eletricidade para gerar a luz e a geração de carga térmica (calor) da própria conversão da energia em luminosidade, que deve ser retirado do ambiente através do condicionamento de ar (PROCEL, 2016).

Assim, um sistema de iluminação eficiente fornece os níveis adequados de iluminância para cada tarefa com um consumo mínimo de energia. Neste sentido, utiliza-se o conceito de densidade de potência de iluminação limite (DPI_L), como método de avaliação. Dado em W/m^2 , é a razão entre o somatório da potência de lâmpadas e reatores e a área de um ambiente, e quanto menor o índice, mais eficiente é o espaço (PROCEL, 2016).

Existem dois métodos de avaliação da DPI_L , sendo abordado aqui o método da área do edifício, que avalia de forma conjunta todos os ambientes e atribui um valor limite para a avaliação do sistema de iluminação. Este método é utilizado em edifícios que possuam até três atividades principais ou para atividades que ocupem mais de 30% da área do edifício (PROCEL, 2016). Após identificar a atividade principal

do edifício, determina-se a área iluminada dos espaços, multiplica-se esta área pela DPI_L limite desejada, e compara-se com a potência instalada no espaço. Se estiver abaixo do valor limiar, a área encontra-se no nível de eficiência desejado. Na Tabela 2, apresenta-se o limite máximo aceitável de densidade de potência de iluminação para algumas das principais edificações:

TABELA 2 – Limite máximo aceitável de densidade de potência de iluminação para o nível de eficiência pretendido pelo método da área da edificação.

Função da edificação	DPI_L Nível A (W/m^2)	DPI_L Nível B (W/m^2)	DPI_L Nível C (W/m^2)	DPI_L Nível D (W/m^2)
Academia	9,5	10,9	12,4	13,8
Biblioteca	12,7	14,6	16,5	18,4
Escola/Universidade	10,7	12,3	13,9	15,5
Escritório	9,7	11,2	12,6	14,1
Ginásio	10,8	12,4	14,0	15,7
Hospital	13,0	15,0	16,9	18,9
Restaurante	9,6	11,0	12,5	13,9
Clínica	9,4	10,8	12,2	13,6
Teatro	15,0	17,3	19,5	21,8

Fonte: (PROCEL, 2016).

2.3 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM CONDICIONAMENTO AMBIENTAL

Para a revisão dos conceitos fundamentais de condicionamento ambiental – ligados a transferência de calor e de massa – recomenda-se a leitura do tema abordado no livro *Incropera - Fundamentos de Transferência de Calor e de Massa*, oitava edição.

Segundo a norma ASHRAE 55 (2004), conforto térmico “é a condição da mente que expressa satisfação com o ambiente térmico”. É função de muitos parâmetros, não depende apenas da temperatura do ar, varia de pessoa para pessoa, do tipo de atividade exercida no mesmo ambiente, das condições climáticas do estabelecimento, dos aspectos construtivos do local e também dos equipamentos nele inseridos.

2.3.1 Envoltória

A envoltória classifica-se através da determinação de um conjunto de índices referentes às características físicas da edificação. Conforme NBR 16401-1:2008, considera-se a orientação solar das fachadas do ambiente, as paredes, coberturas, janelas, claraboias, pisos e tetos da edificação quanto ao material, tipo, cor, capacidade térmica, coeficiente de transmissão de calor, sombras projetadas, edifícios vizinhos, além do próprio processo de troca térmica do espaço ao longo do dia (ABNT, 2008).

A envoltória pode ser comparada como a pele da edificação, pois refere-se ao conjunto de elementos em contato com o meio exterior, exclusivamente as partes acima do solo independentemente do material empregado (PROCEL, 2016).

Neste sentido, em coberturas de edificação horizontal a parte mais exposta à radiação solar é o telhado, que absorve a maior parte desta energia, transferindo-a para o interior do ambiente causando o aumento da temperatura interna (MICHELS, 2007). Estima-se que de 60% a 70% do calor de um ambiente advém da radiação na qual o telhado é exposto ¹. Assim, relacionar o desempenho térmico das coberturas depende em grande parcela das características de composição do telhado, visto que é um setor de pouca mudança ao longo da vida útil de uma construção.

Para tanto, aborda-se o conceito de isolamento térmico, que é a de dificultar a transferência de calor entre dois sistemas com temperaturas diferentes, visando economia de energia, estabilidade operacional, proteger a estrutura e o próprio conforto térmico (MICHELS, 2007 apud TORREIRA, 1980).

Para a execução deste isolamento, isto é, reduzir a transferência de calor, é necessário instalar uma camada entre os corpos que tenha o menor coeficiente de condutividade térmica possível. Assim, aplica-se materiais caracterizados pela resistência térmica alta para atenuar a passagem do fluxo de calor entre os sistemas (MICHELS, 2007).

Sob outro parâmetro, um bom isolante é um material cuja condutividade térmica é baixa em relação às alvenarias usuais (CUNHA; NEUMANN, 1979). No mercado, destaca-se o uso de cerâmicas, lã de vidro, lã de rocha, fibras minerais, colchões de ar e isopor (também chamado de EPS, sigla em inglês de poliestireno expandido). Em qualquer ótica, a utilização destes materiais permite a redução da carga térmica de resfriamento utilizada nos sistemas de condicionamento de ar de ambientes internos (DIAS, 2016).

2.3.2 Condicionamento de ar

Define-se o condicionamento de ar o “processo que objetiva controlar simultaneamente a temperatura, umidade, a movimentação, a renovação e a qualidade do ar de um ambiente” (ABNT, 2008). Os sistemas condicionadores de ar podem ser distinguidos por climatização, ventilação, refrigeração e aquecimento a fim de promover o conforto térmico dos ocupantes da edificação (MOREIRA; NETO, 2021).

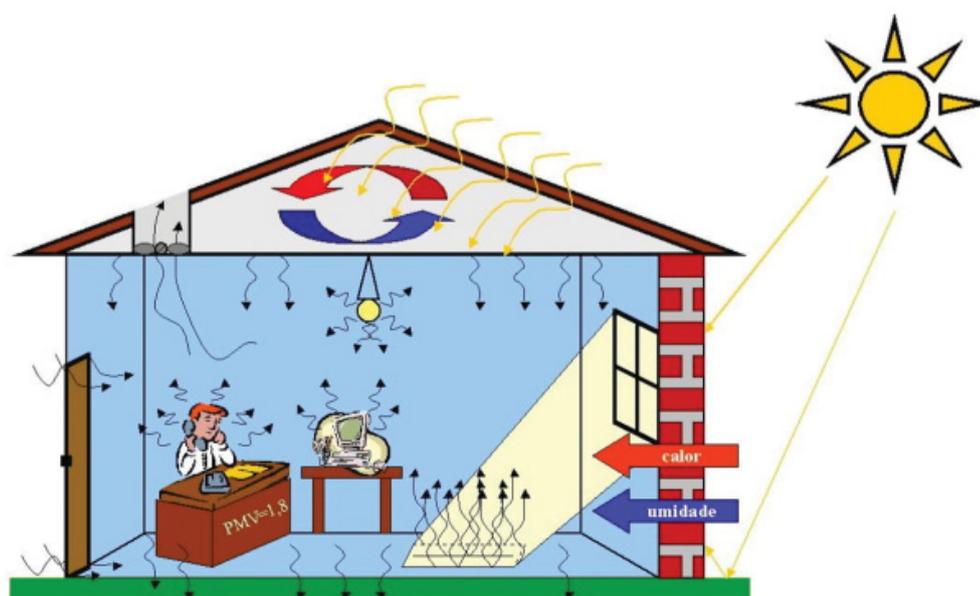
Para a determinação do sistema necessário, avalia-se inicialmente a carga térmica do estabelecimento - que é a quantidade de calor sensível e latente a ser

¹Conhecimento de campo do prof. Me. Rafael Ângelo Gentilini, ministrante da disciplina de Termodinâmica e Ciclos de Potência da pós-graduação em Eficiência Energética e Geração Distribuída, UFPR, em 22 ago. 2021.

colocada ou removida do local para manter os níveis satisfatórios de temperatura de bulbo seco e umidade relativa através da renovação de ar com qualidade (MATOS, 2010).

Esta avaliação é afetada por diversos fatores, como o clima geográfico da edificação, orientação em relação ao Sol, parâmetros que constituem a envoltória, quantidade de pessoas, atividades exercidas e frequência de ocupação do espaço, quantidade e potência elétrica dos equipamentos inseridos, inclusive de iluminação (MOREIRA; NETO, 2021), conforme ilustração da Figura 2. Este cálculo exige a abordagem de diversas equações e em muitas situações, utiliza-se softwares dedicados de condicionamento ambiental para a definição dos valores.

FIGURA 2 – Ilustração representativa das fontes de carga térmica em um ambiente.



Fonte: (GENTILINI, 2021).

Depois da definição de carga térmica, sabe-se o parâmetro primordial para a seleção do equipamento que fará a climatização (o valor é dado em BTU/h ou em TR). Para a correta escolha do dispositivo, a “seleção deve ser realizada com base nas tecnologias de alto desempenho energético” (MOREIRA; NETO, 2021), e aqui entra a contribuição do Procel através do RTQ-C.

Há dois procedimentos para determinação da eficiência de sistemas de condicionamento de ar: quando são condicionadores do tipo janela e split, a eficiência é avaliada através do PBE/Inmetro; demais tipos de ar são especificados no manual do RTQ-C (PROCEL, 2016).

Considerando a proposta de trabalho, será seguida a parametrização via Programa Brasileiro de Etiquetagem, estabelecida através da Portaria nº 007 de 2011 do Inmetro, onde estabeleceu-se a verificação dos referidos níveis mínimos de eficiência

energética dos condicionadores de ar. A classificação segue a mesma métrica conforme Figura 1, e desde a data publicação, mediu-se pelo coeficiente de desempenho (COP) dado pela razão entre a potência térmica retirada do ambiente climatizado [W] pela potência térmica consumida pelo sistema de climatização [W]. Também pode ser chamado em várias literaturas de coeficiente de eficiência energética, EER ou W/W. De 2014 até 2022, as classes para condicionadores de ar split tipo hi-wall apresentam as classificações conforme Tabela 3:

TABELA 3 – Níveis de eficiência dos condicionadores de ar tipo split de 2014 a 2022.

Classe	COP (W/W)	
A	3,20	< CEE
B	3,00	< CEE ≤ 3,20
C	2,80	< CEE ≤ 3,00
D	2,60	< CEE ≤ 2,80
E	2,39	≤ CEE ≤ 2,60

Fonte: (INMETRO, 2020).

No entanto, através da Portaria do Inmetro nº 234 de 29 de junho de 2020, publicou-se um aperfeiçoamento do PBE para aparelhos de ar condicionado, tornando os critérios de classificação de equipamento A mais rigorosos. Neste sentido, a partir da publicação até 31 de dezembro de 2022, os fabricantes precisam adequar a fabricação e importação dos equipamentos no Índice de Desempenho de Resfriamento Sazonal (IDRS), que é a razão entre a quantidade anual total de calor que o equipamento pode remover do ar interno quando operado para resfriamento [Wh] pela quantidade anual total de energia elétrica consumida pelo aparelho [Wh], conforme apoio a definição através da norma técnica ISO 16358-1:2013. Assim, apresenta-se na Tabela 4 as próximas classificações de eficiência energética de ares-condicionados (tipo split) conforme novas diretrizes do Inmetro.

TABELA 4 – Classes de eficiência energética para condicionadores de ar tipo split com prazos futuros definidos.

Classe	IRDS (Wh/Wh)	IRDS (Wh/Wh)
	Até 31/12/2022	Até 31/12/2025
A	≥ 5,50	≥ 7,00
B	≥ 5,00	≥ 6,00
C	≥ 4,50	≥ 5,30
D	≥ 4,00	≥ 4,60
E	≥ 3,50	≥ 3,90
F	≥ 3,14	≥ 3,50

Fonte: (INMETRO, 2020).

E além da mudança de avaliação, também atualizou-se a etiqueta de leitura do desempenho energético do aparelho conforme divulgação do Inmetro mostrada na Figura 3, contendo a classificação de eficiência energética, as informações do fluido refrigerante do condicionador de ar, o consumo energético anual, o IDRS e alguns detalhamentos de registros no Inmetro.

FIGURA 3 – Imagem de divulgação da nova classificação e etiqueta de eficiência energética de ar-condicionado.



Fonte: (BRASIL, 2020).

2.4 ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA

As mudanças, melhorias e manutenções em propostas de eficiência energética são pautadas por avaliações técnicas e em grande parte das situações, requerem investimentos que justifiquem as ações. Se ele não for viável do ponto de vista econômico, dificilmente será implantado (MOREIRA; NETO, 2021).

Portanto, se faz necessário estimar corretamente o valor envolvido em um projeto, e esta avaliação financeira deve apresentar para as partes envolvidas o aporte necessário, a disponibilidade dos recursos já existentes e os possíveis (empréstimos, chamadas públicas, etc.), o detalhamento dos custos e nas manutenções futuras, e o tempo de retorno do capital exigido (BARROS; BORELLI; GEDRA, 2015).

Assim, se faz necessário utilizar os métodos de avaliação de investimentos conforme conceitos apresentados na sequência:

2.4.1 Payback simples

Corresponde ao período de tempo necessário para que o investidor recupere o investimento inicial de um projeto através das entradas de fluxo de caixa que a aplicação proporciona (FREZATTI, 2011). Assim, este prazo de recuperação do capital é obtido somando-se os valores dos fluxos de caixas negativos com os valores dos fluxos de caixa positivos, até o momento em que a soma resulta em zero.

Organiza-se as entradas e saídas do caixa do projeto conforme exemplo situado na Tabela 5. A partir do instante em que se observa saldo maior ou igual a zero, sabe-se que o payback simples foi atingido.

TABELA 5 – Exemplo de um fluxo de caixa para análise de payback simples.

Ano	Fluxo de Caixa	Saldo
0	-R\$ 100,00	-R\$ 100,00
1	R\$ 30,00	-R\$ 70,00
2	R\$ 50,00	-R\$ 20,00
3	R\$ 70,00	R\$ 50,00
4	R\$ 50,00	R\$ 100,00

Fonte: elaborado pelo autor (2021).

Pelo exemplo, o retorno ocorreu entre o segundo e o terceiro ano. Com maior exatidão, através da movimentação do saldo nestes intervalos que o payback aconteceu em $2 + [20 / (20 + 50)] = 2,286$ anos, isto é, entre março e abril do segundo ano.

2.4.2 Payback descontado

O método do payback descontado insere o conceito do valor do dinheiro no tempo, sendo apurado a partir da projeção do fluxo de caixa onde se aplica uma dada taxa de custo de oportunidade, também chamada de taxa mínima de atratividade, taxa de desconto ou taxa de juros (FREZATTI, 2011).

Conforme exemplo de investimento da Tabela 6 com taxa mínima de atratividade de 10 % a.a., tem-se o fluxo de caixa exposto. A adição da coluna do fluxo de caixa ajustado insere a percepção monetária de acordo com o juros do projeto. Por

exemplo, no ano 3, o fluxo ajustado corresponde a $980/(1,1)^3$, e assim segue. Nesta situação, o tempo de retorno foi de 3,96 anos.

TABELA 6 – Exemplo de um fluxo de caixa para análise de payback descontado.

Ano	Fluxo de caixa nominal	Fluxo de caixa ajustado	Saldo
0	-R\$ 2.500,00	-R\$ 2.500,00	-R\$ 2.500,00
1	R\$ 800,00	R\$ 727,27	-R\$ 1.772,73
2	R\$ 750,00	R\$ 619,83	-R\$ 1.152,89
3	R\$ 980,00	R\$ 736,29	-R\$ 416,60
4	R\$ 650,00	R\$ 443,96	R\$ 27,35
5	R\$ 1.050,00	R\$ 651,97	R\$ 679,32

Fonte: elaborado pelo autor.

2.4.3 Valor Presente Líquido

O valor presente líquido (VPL) é a ferramenta mais utilizada para avaliação da viabilidade de projetos, pois consiste na concentração de todos os valores do fluxo de caixa refletidos na data zero – na data de início da implementação, quando foi feito o investimento) – e é descontada pela taxa mínima de atratividade dos recursos e benefícios do projeto (MOREIRA; NETO, 2021).

O método do VPL é considerado o mais apropriado para analisar a maioria dos projetos de investimento e também é visto como uma técnica definitiva de tomada de decisões de investimento. Isso se deve apenas ao fato de o método do VPL não apenas trabalhar com fluxos de caixa descontados, em oposição aos fluxos nominais, mas também porque seu resultado, em espécie (moeda corrente) e não apenas em tempo transcorrido (anos para recuperação do investimento), ou mesmo em taxa ou percentual, revela a riqueza absoluta decorrente da realização do projeto (MOREIRA; NETO, 2021).

A Equação 2.1 expressa o cálculo para se obter o VPL:

$$VPL = \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1+r)^t} - I_0, \quad (2.1)$$

onde r é a taxa mínima de atratividade do projeto, FC_1 , FC_2 até FC_n são as entradas do fluxo de caixa, relativos aos períodos $t = 1, 2$ até n e I_0 é o valor investido na aplicação.

Um VPL positivo significa que o investimento I_0 aplicado no presente representará um acréscimo de valor para a entidade, ou seja, o investimento foi recuperado (FREZATTI, 2011). Portanto, se VPL for maior que zero, aceita-se o projeto; se menor que zero, rejeita-se o projeto. Quando igual a zero, o retorno é igual ao investido (em geral aceita-se o projeto) (MOREIRA; NETO, 2021).

Toma-se nota que outro conceito bastante utilizado em viabilidade financeira de projetos é a Taxa Interna de Retorno (TIR), que é a taxa pela qual um investimento é recuperado por meio dos benefícios do projeto, e expressa viabilidade quando o resultado é maior que a taxa mínima de atratividade. Nas situações de análise, quando um projeto apresenta $VPL > 0$, também apresentará $TIR > r$ (FREZATTI, 2011). Por esta correspondência, este trabalho considerou utilizar somente o conceito do VPL nas avaliações das propostas a seguir.

2.5 ESTADO DA ARTE

A fim de elucidar o estágio científico sobre o tema, aborda-se alguns trabalhos relacionados que contribuem para o avanço científico da eficiência energética no âmbito educacional.

Lerco (2015) abordou o tema estudando a Biblioteca Municipal de Campo Mourão com base nos conceitos do Procel, onde, utilizando o RTQ-C, o prédio obteve classificação geral nível C de eficiência. A partir deste resultado, propôs medidas pontuais de melhoria nos ambientes que podem elevar o nível de efficientização dos espaços.

Cunha e Fernandes (2018) expõem a análise de viabilidade econômica da instalação de sensores de presença para a iluminação de um dos blocos de engenharia da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), onde através das mudanças planejadas, obteve-se uma economia de 60% no valor mensal da conta de energia do prédio.

Já Krasnhak (2016) atua em um dos blocos do campus Ecoville da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) de Curitiba, apresentando a alteração das lâmpadas e refletores dos cenários e alcançando uma redução de quase 40% no sistema de iluminação. Além disto, também propõe a inserção de geração distribuída através de um sistema fotovoltaico instalado no teto do prédio capaz de gerar o equivalente a 92% do consumo do *retrofit* de iluminação.

Por fim, apesar de não ser em um prédio educacional, Ferrador Filho, Aguiar e Kniess (2018) realizaram um estudo de caso no edifício do Tribunal de Justiça de São Paulo, onde o prédio recebeu a classificação geral de nível C e identificou-se melhorias significativas na iluminação e na envoltória complementando com o tempo de retorno dos investimentos.

3 METODOLOGIA

Para a elaboração da proposta deste trabalho, iniciou-se as atividades reunindo-se localmente com o corpo administrativo da escola em setembro de 2020 a fim de entender as demandas e requisições necessárias para o ambiente acadêmico. Neste sentido, foi exposta a necessidade de melhorar as condições das salas de aula – principal local de uso – em aspectos relacionados à climatização, pois a queixa dos frequentadores é de calor excessivo em períodos quentes do ano mesmo com a utilização de ventiladores nas salas. Esta insatisfação relatada foi fundamentada ao ser constatado que o prédio encontra-se em um local aberto, com construção planejada e alvenaria de concreto em todas as dimensões do espaço. Segue na Figura 4 uma visão lateral do prédio frontal da edificação, onde as salas de aula encontram-se no piso superior.

FIGURA 4 – Visão lateral do prédio frontal da escola estudada.



Fonte: elaborado pelo autor (2021).

Concorrente a esta necessidade, foi relatado que o prédio desde sua fundação em 1998, nunca recebeu uma reforma ou melhoria nas instalações elétricas; neste período, a manutenção foi precarizada e feita de forma inadequada, resultando em ligações incompatíveis com normas e aspectos de segurança (por exemplo: emendas expostas, utilização de fiação dos circuitos de iluminação para instalação de condicionadores de ar). Em 2019 a escola recebeu 6 condicionadores de ar, e por uma empresa contratada pela escola no período, somente 2 aparelhos foram instalados (nas salas

1 e 12). O restante está guardado desde então pois foi identificada que a instalação vigente não comportaria estes outros novos equipamentos.

E nesta visita por todo o prédio, além das situações relatadas, encontrou-se oportunidades para modernizar a iluminação dos ambientes visto que boa parte dos espaços utilizava lâmpadas do tipo fluorescente, bem como instalações inadequadas como adaptações de lâmpadas bulbo em estruturas de fixação destinadas para lâmpadas tubulares conforme Figura 5. Outra situação encontrada foi a utilização ininterrupta de luz nos corredores para circulação durante o dia e vigilância pela noite.

FIGURA 5 – Incorreta utilização da luminária da escola, sendo adaptada para soquete de lâmpada bulbo.



Fonte: elaborado pelo autor (2020).

Isto posto, após esta primeira visita, ficou definida a atuação em aspectos de uso eficiente energia para a disciplina de iluminação de toda a escola e para o condicionamento ambiental das salas de aula, sem deixar de se atentar para as adequações necessárias na instalação elétrica para que as propostas sejam viabilizadas.

Então, começou-se com a obtenção dos documentos e projetos disponíveis da escola. Somente foi obtida a planta baixa civil (versão da construção inicial) em formato impresso e uma cópia da conta de energia mais recente à época. A planta baixa civil foi devidamente digitalizada utilizando o software AutoCAD 2019.

Após, executou-se uma visita técnica em fevereiro de 2021 a fim de coletar dados, informações e evidências do: mapeamento de toda instalação luminotécnica da planta, incluindo marca, modelo e perfil de uso das lâmpadas; mapeamento da instalação elétrica, como tomadas, interruptores, circuitos e cargas; mapeamento dos quadros de distribuição, identificando os disjuntores e as devidas cargas protegidas; avaliação inicial de utilização das instalações elétricas; detalhes estruturais dos blocos

da escola; registro das especificações técnicas dos condicionadores de ar e também dos ventiladores instalados nas salas de aula; registros fotográficos variados.

Com a obtenção destes elementos da escola, deu-se início à proposta na matéria de iluminação com o desenho da planta luminotécnica vigente no AutoCAD 2019. Em seguida, utilizou-se o software DIALux evo 9.2 focando no design luminotécnico das salas de aula. Os cenários propostos neste estudo das salas de aula foram, respectivamente:

1. Estudo luminotécnico da situação vigente;
2. Estudo luminotécnico somente com a troca para lâmpadas LED;
3. Estudo luminotécnico com a troca para lâmpadas LED somado às reformas de infraestrutura de iluminação identificadas no ambiente.

O primordial embasamento dos cenários se deu por conta do critério exposto na ABNT NBR ISO/CIE 8995-1:2013, onde para um ambiente de sala de aula, necessita-se de 300 lux de iluminância média, índice de ofuscamento desconfortável menor ou igual a 19, e índice de reprodução de cor maior ou igual a 80, todos avaliados no plano de trabalho (que no caso são as carteiras de estudo, de 0,80 m de altura). Para uma sala de aula noturna, foram considerados 500 lux também de acordo com a norma.

O estudo luminotécnico aplicado nas salas de aula considerou os seguintes parâmetros de avaliação: iluminância média em um plano de 0,80 m de altura (altura das mesas), sem obstáculos e com zona marginal de 0,5 m das paredes, e plano de cálculo de ofuscamento de 1,0 m em 5 carteiras de pontos distintos no espaço e um ponto de 1,6 m simulando a professora em pé.

Quanto à lâmpada LED, foi proposto um modelo com boas especificações de potência e de fluxo luminoso, com arquivos de modelagem de fácil acesso dado pelo fabricante, e que fosse de aquisição acessível e com disponibilidade no mercado da região da escola. Neste sentido, escolheu-se as lâmpadas da fabricante Intral, modelo TUBO LED PRO PC tanto para as lâmpadas tubulares de 60 cm quanto para as de 120 cm. Esta linha possui selo Procel, 6000 K de temperatura de cor, 25000 horas de vida útil, trabalha em 127 ou 220 V e $IRC > 80$ (já cumprindo um dos requisitos normativos). A Tabela 7 expõe outros dados mais específicos de cada lâmpada:

TABELA 7 – Especificações técnicas das lâmpadas Intral TUBO LED PRO PC utilizadas.

Modelo	P (W)	Largura (mm)	Diâmetro (mm)	ϕ (lm)
BL-108 HF 9W	9	600	26	1050
BL-108 HF 18W	18	1200	26	2100

Fonte: (INTRAL, 2021).

Sendo assim, o segundo cenário onde se fez somente a troca para lâmpadas LED, foi possível pontuar as oportunidades a serem atingidas para o cenário seguinte, tornando esta etapa como intermediária da disciplina. Além dos quesitos normativos, foi identificada a possibilidade de atuar nas fileiras de luminárias fixadas rente às paredes do quadro e do fundo da sala, podendo afastá-las da parede e conseguindo aumentar a iluminância média do espaço. A Figura 6 mostra a situação a ser corrigida:

FIGURA 6 – Evidência da luminária fixada rente à parede.



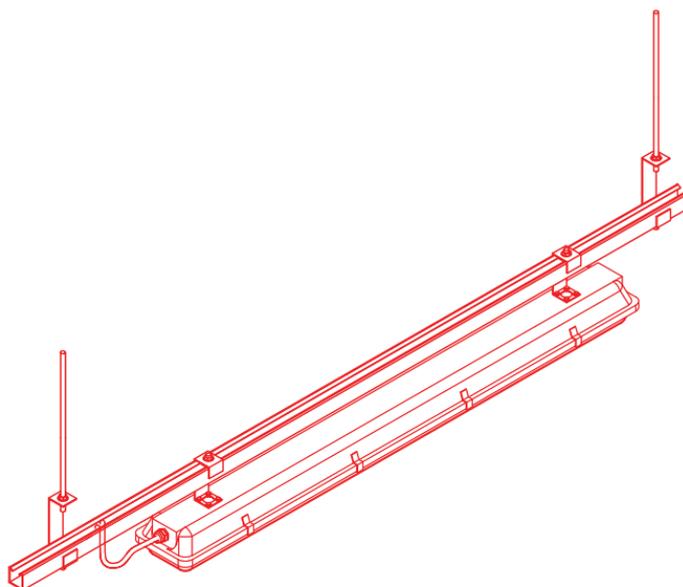
Fonte: elaborado pelo autor (2021).

E nesta perspectiva que o terceiro cenário luminotécnico foi estudado, atuando com este reposicionamento propondo o uso de perfilado 19 x 38 cm para fixação das luminárias deslocadas, levantando os componentes e acessórios mandatórios para utilização desta infraestrutura elétrica no espaço.

A Figura 7, página a seguir, esclarece o que foi considerado de itens na cotação da infraestrutura de iluminação. Uma barra comercial de perfilado 38 x 19 cm possui 3 metros; incluiu-se 2 ganchos curtos para fixação da luminária na barra; gancho para sustentação através dos vergalhões que devem estar espaçados por 2 metros, vergalhão de 1/4 pol, sapata interna em cada extremo da barra de perfilado junção interna quando necessário o acoplamento de perfilados e um percentual a mais considerando parafusos, porcas e arruelas.

Sobre os arquivos para design do ambiente, foi encontrada na própria biblioteca do software os arquivos de modelagem das lâmpadas fluorescentes mais compatíveis com as instaladas atualmente na escola; para a luminária vigente, utilizou-se o arquivo de modelagem de um modelo similar da Itaim, modelo 4012 de 120 centímetros conforme Figura 8, página a seguir.

FIGURA 7 – Ilustração representativa da infraestrutura de perfilado projetada para a escola.



Fonte: elaborado pelo autor (2021).

FIGURA 8 – Luminária Itaim 4012 utilizada nas simulações por semelhança com a luminária vigente da escola.



Fonte: (ITAIM, 2019).

Para os outros ambientes, manteve-se a mesmo emprego de troca para lâmpadas LED e de reposicionamento das luminárias utilizando infraestrutura de perfilado quando identificada a oportunidade. Além disto, também foram selecionados setores e trechos da escola como corredores e banheiros para automação com a instalação de sensores de presença no acionamento da iluminação. Explica-se aqui que os locais selecionados (bem como aqueles não contemplados) foram devidamente alinhados com as escolhas da direção da escola. O modelo de sensor escolhido foi o Intelbras ESP 360 por possuir ângulo de detecção de 360°, altura de instalação de 2,2 a 4,0 m, até 6 metros de detecção, ajuste de tempo das lâmpadas acesas, e principalmente por

ser capaz de acionar até 1000 W de lâmpadas em 220 V, que é a tensão dos circuitos de iluminação da escola. Segue na Figura 9 o sensor escolhido:

FIGURA 9 – Sensor de presença Intelbras ESP 360 proposto.



Fonte: (INTELBRAS, 2021).

Posto isto, foi produzida uma nova planta luminotécnica para a escola com todas estas reestruturações. Em cômodos pequenos e de baixa utilização, apontou-se a utilização de lâmpadas bulbo de alta potência de LED a fim de reutilizar as lâmpadas bulbo já inseridas no contexto atual da edificação.

Quanto ao design e avaliação luminotécnica pelo DIALux, foram simulados somente os ambientes com maior intervenção da proposta e/ou com maior interesse devido a utilização, isto é, além das salas de aula, sala da diretoria, sala de aula noturna e corredor entre salas.

Após a proposta técnica consolidada, avaliou-se o nível de eficiência energética alcançando com base nos conceitos do RTQ-C.

E concluindo a efficientização da iluminação, foi calculado com o auxílio do software Microsoft Excel 2019 o retorno do investimento conforme fundamentação teórica. Na análise financeira, foram levantados os investimentos relativos aos valores das lâmpadas, dos perfilados e dos sensores de presença a serem adquiridos. A mão-de-obra foi expurgada da conta por considerar atuação própria. Nesta avaliação da viabilidade financeira foram contemplados somente os ambientes de convivência frequente da edificação, isto é, aqueles que possuem perfil de uso bem definidos e que possuem utilização pertinente na rotina escolar. Por orientação, a taxa mínima de atratividade considerada foi de 10% ao ano, equivalente a 0,767% ao mês.

Para elaboração da proposta relacionada ao condicionamento ambiental, em primeiro momento realizou-se um levantamento de soluções compatíveis com a escola por meio de consulta em trabalhos já publicados no tema, em discussões com o docente responsável pela disciplina de Termodinâmica da especialização e em referências comerciais. A Figura 10 mostra uma visão aberta das salas de aula estudadas:

FIGURA 10 – Visão geral de uma sala de aula da escola.



Fonte: elaborado pelo autor (2020).

Desta maneira, foram definidas duas soluções para estudo: inserção de forro de EPS (poliestireno expandido, também conhecido como isopor) em todas as salas de aula do bloco principal, com placas de 2 cm de espessura e distando 20 cm abaixo do teto das salas; e pintura do telhado externo do bloco principal com tinta acrílica emborrachada na cor branca.

Quanto ao isopor, são placas do tipo 1-F, que não propagam chama devido a aplicação de textura acrílica em uma das faces na cor branca. Demais especificações conforme disponibilizado pela fabricante Terac:

- Dimensões da placa: 1243x618x20 mm;
- Tipo: 1-F, auto extingüível;
- Cor branca;
- Peso: 0,41 kg/m²
- Coeficiente de Condutividade Térmica: 0,034 W/m. °C
- Resistência Térmica: 0,588 m². °C/W
- Capacidade Calorífica: 0,12 W/°C
- Coeficiente de Dilatação Linear: 5.10⁵ a 7.10⁵ °C

Quanto à pintura, seguiu-se o catálogo técnico disponibilizado pela fabricante Alessi conforme Anexo A. Assim, a Figura 11 mostra o detalhamento do teto da edificação, onde na situação vigente não há forro, enquanto que a Figura 12 mostra o telhado plano a ser aplicada a pintura proposta:

FIGURA 11 – Visão do teto da edificação mostrando a ausência de forro.



Fonte: elaborado pelo autor (2021).

FIGURA 12 – Visão geral do teto a ser aplicada a pintura.



Fonte: elaborado pelo autor (2021).

O estudo foi realizado utilizando o Domus - Eletrobras, ferramenta computacional de modelagem estrutural, incluindo portas, janelas, pessoas, cargas elétricas, perfis de uso e demais variáveis a fim de entregar simulações do espaço como instrumento de medição da eficiência energética da edificação. Deste modo, quatro cenários foram reproduzidos levando em conta somente o piso superior da escola:

1. Edificação vigente da escola;
2. Edificação com inserção do forro de EPS;
3. Edificação com pintura do telhado na cor branca;
4. Solução conjunta: edificação com forro de EPS e pintura do telhado.

Para avaliar a melhoria do condicionamento térmico das salas de aula, utilizou-se por meio de comparação a redução da máxima carga térmica sensível de resfriamento das salas nos outros cenários projetados via software, pois esta medida indica o quanto de potência elétrica de condicionador de ar é necessária para condições de conforto do espaço. A avaliação da carga térmica foi simulada no período de um ano civil (2021) e em intervalos de uma hora.

Em seguida, a partir de referências comerciais, foram levantados os valores de investimento financeiro dos materiais das duas soluções estudadas a partir de consulta com especialistas comerciais das áreas, e equiparou-se as propostas através da quantidade de desempenho térmico reduzido. Novamente, a mão-de-obra foi expurgada da conta por considerar atuação própria.

E como elemento integrante dos trabalhos de condicionamento térmico, foi possível identificar as salas mais críticas quanto à absorção de calor, e neste sentido, pôde-se apontar um plano para instalação dos 4 condicionadores de ar guardados na escola que não foram instalados por falta de fornecimento seguro da instalação elétrica. Todos os equipamentos são iguais, marca Elgin, modelo da unidade interna HEFI18B2IA, modelo da unidade externa HEFE18B2IA, 18.000 BTU de capacidade, 220 V, coeficiente de performance igual 3,32, o que acarreta em um Selo Procel categoria A (isto é, adotando a métrica ainda vigente através do COP). A direção da escola inicialmente havia planejado instalar estes equipamentos entre as salas 7 a 11 por terem uma sensação de calor mais intensa nestes cômodos, e com este trabalho, será assinalado os espaços de maior atenção quanto à refrigeração.

Por fim, foram pontuadas as melhorias nos ventiladores e ares-condicionados da escola quanto à eficiência dos equipamentos, dos locais de instalação e das proteções elétricas a serem implementadas para novas cargas.

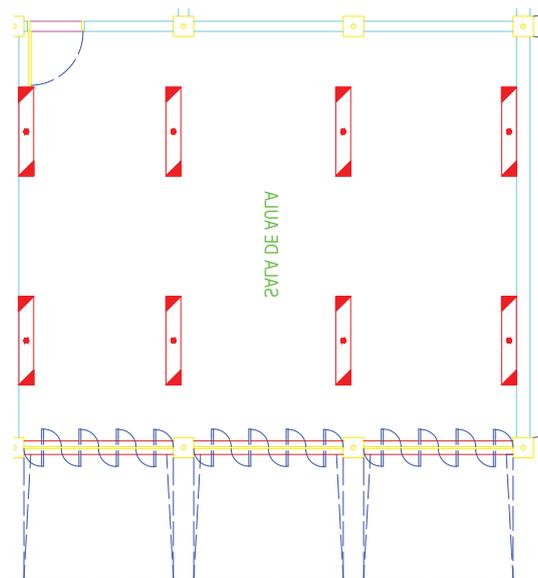
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Referencia-se primeiramente o Apêndice A contendo a digitalização da planta baixa civil que possibilitou a elaboração das propostas nas disciplinas estudadas, que são apresentadas neste capítulo em respectivas seções.

4.1 ILUMINAÇÃO

O Apêndice B expõe a planta baixa luminotécnica vigente da escola mostrando a situação atual, isto é, primeiro cenário do estudo. Na Figura 13 abaixo, mostra-se o recorte da folha técnica focado em uma das 12 salas de aula do piso superior (todas possuem as mesmas dimensões espaciais).

FIGURA 13 – Recorte da planta luminotécnica de uma das salas de aula no cenário vigente.

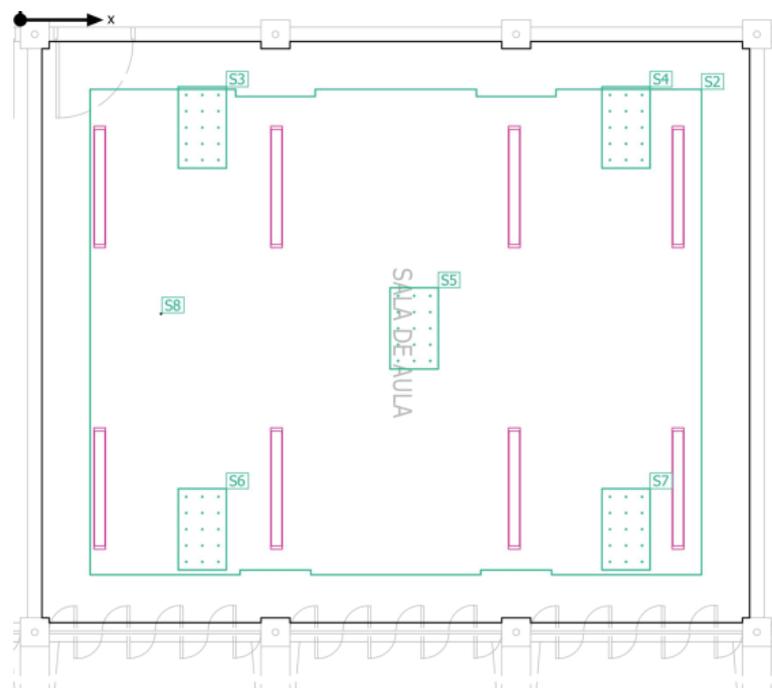


Fonte: elaborado pelo autor (2021).

Em concordância com a metodologia, no segundo cenário executou-se a simulação luminotécnica, mas sobretudo serviu de base para exercer as oportunidades para o cenário seguinte, encontrando a possibilidade de deslocamento das luminárias fixadas às paredes com a utilização de infraestrutura de perfilado.

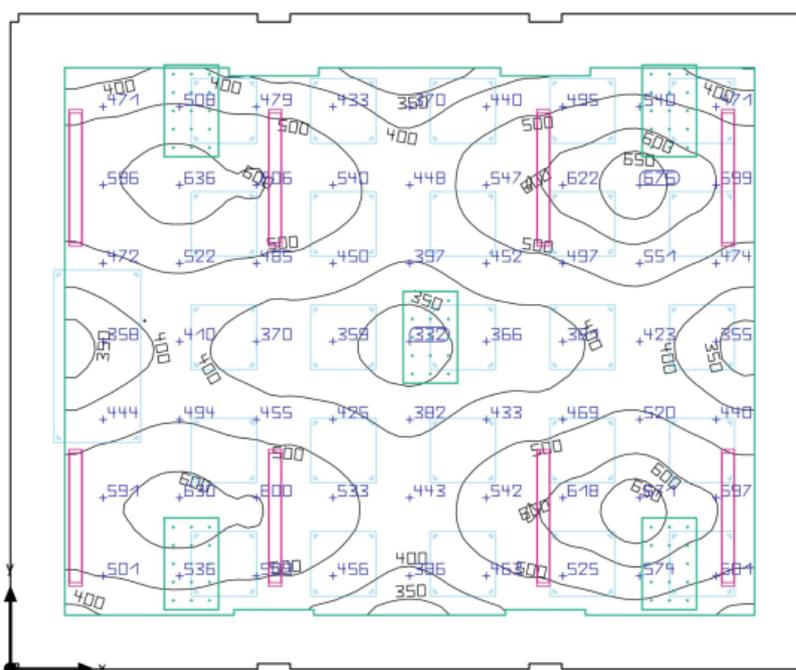
Portanto, no Cenário 3, a Figura 14 mostra o layout das luminárias nas salas de aula, também incluindo os planos de cálculo de ofuscamento. Já a Figura 15 mostra o plano espectral de iluminância no espaço. Por comparação da Figura 13 com 14, distingue-se a diferença de posicionamento das luminárias na sala.

FIGURA 14 – Layout da iluminação proposto para as salas de aula (Cenário 3), incluindo os planos de cálculo luminotécnico.



Fonte: elaborado pelo autor (2021).

FIGURA 15 – Plano espectral de iluminância da sala de aula projetada no Cenário 3.



Fonte: elaborado pelo autor (2021).

Sendo assim, o estudo luminotécnico aplicado nestas salas resultou nos parâmetros da Tabela 8 conforme simulado no DIALux. A numeração dos cenários segue de acordo com a metodologia aplicada.

TABELA 8 – Iluminância média e ofuscamento das salas de aula da escola nos cenários propostos.

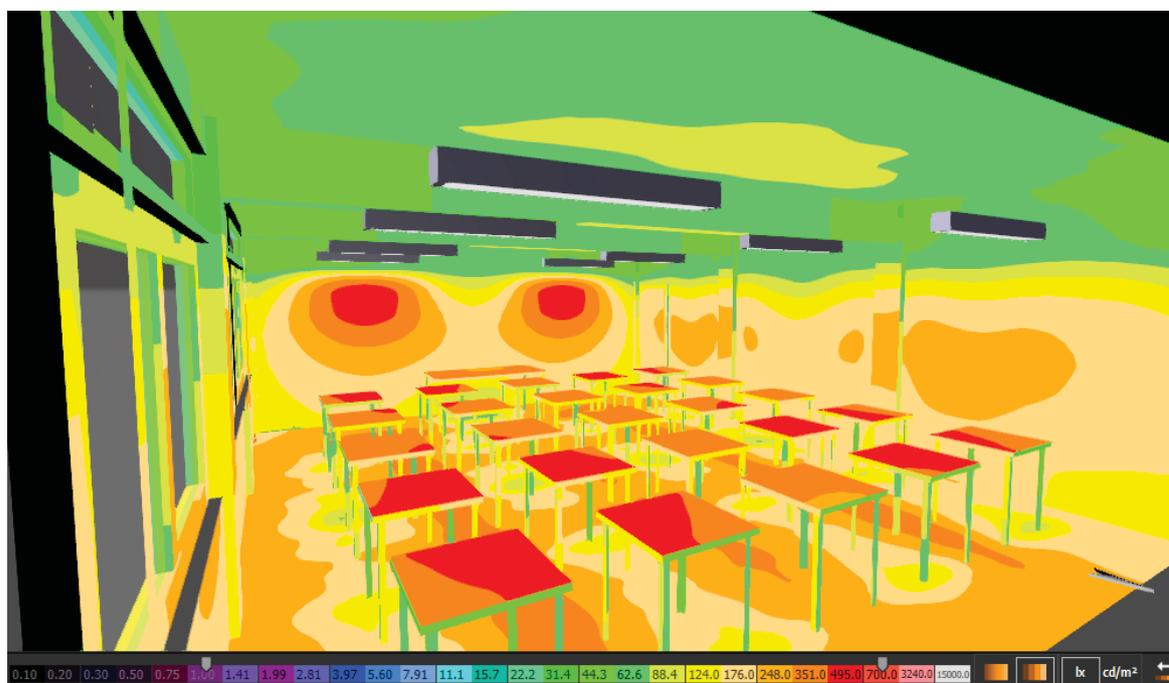
Cenário	\bar{E}_m	UGR Alunos	UGR Professor
1	364	22,9	24,6
2	430	23,0	24,4
3	487	22,9	26,2

Fonte: elaborado pelo autor (2021).

Estas primeiras 12 salas estudadas não são utilizadas no período noturno, então o requisito de iluminância média de 300 lx foi sempre atendido. A melhoria neste aspecto foi almejada principalmente em uma perspectiva futura de poder utilizar estes espaços para aula noturna, e neste sentido o último cenário mais se aproximou.

Entretanto, em nenhum cenário foi obtido o índice de ofuscamento menor que 19. Sabendo que o ofuscamento é uma perturbação devido à reflexões da luz sobre superfícies, infere-se que este fenômeno esteja acontecendo pela escolha da luminária vigente, que não possui aletas e nem estruturas difusoras de luz. Assim, a Figura 16 apresenta a projeção da sala de aula utilizando escala de cores para as diversas intensidades luminosas resultantes.

FIGURA 16 – Representação tridimensional do espectro de iluminância da sala de aula projetada no Cenário 3.

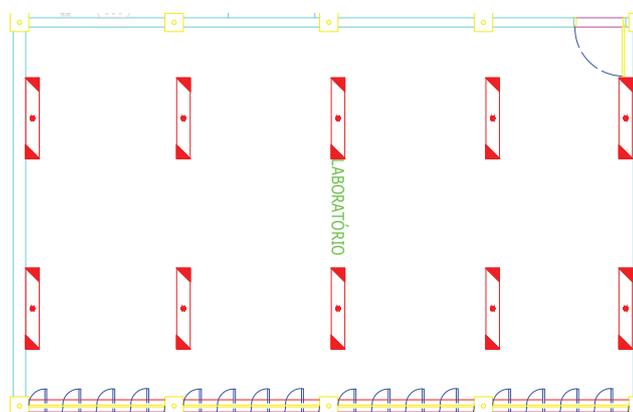


Fonte: elaborado pelo autor (2021).

Prosseguindo o trabalho analisando as aulas noturnas, a direção escolar expôs que tem-se utilizado o espaço originalmente projetado para Laboratório, localizado no

piso térreo. As aulas – ofertadas para a educação de jovens e adultos – ocorrem todos os dias das 18 às 22 horas. Segue na Figura 17 a instalação luminotécnica vigente.

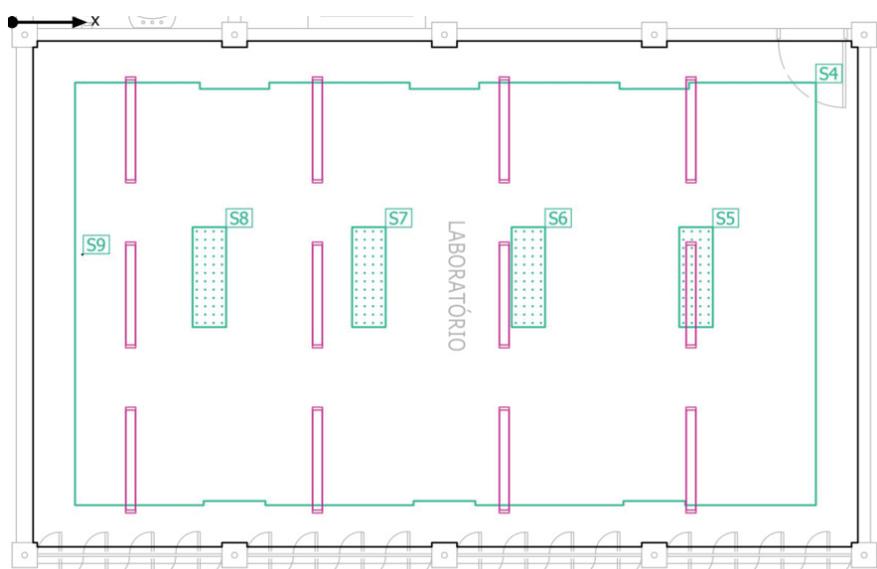
FIGURA 17 – Recorte da planta luminotécnica vigente visualizando a sala de aula noturna.



Fonte: elaborado pelo autor (2021).

Devido às características do espaço, por ser um cômodo grande só com 10 luminárias e também um ar-condicionado de 50.000 BTU/h modelo piso teto instalado acima das duas luminárias na parede do fundo da sala, decidiu-se projetar uma nova infraestrutura utilizando 4 fileiras de perfilado com 3 luminárias em cada, totalizando 12 luminárias (e 24 lâmpadas LED), sendo todas postas a 2,40 metros do piso. A Figura 18 mostra o novo layout proposto e seus respectivos planos de cálculo de ofuscamento e iluminância.

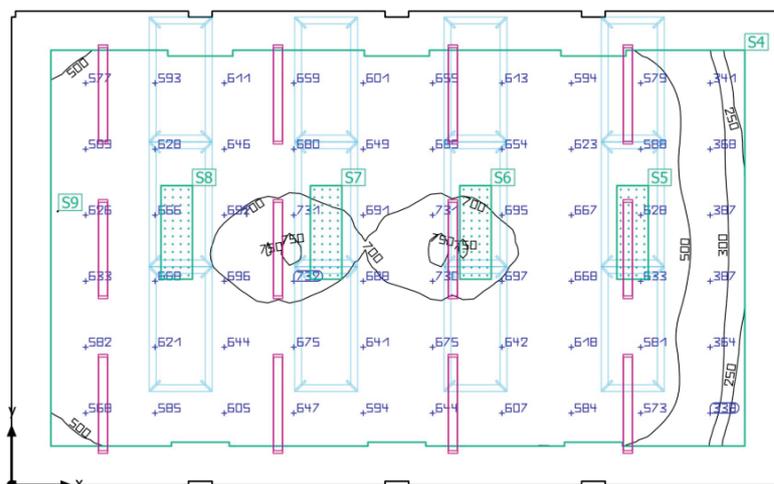
FIGURA 18 – Layout da iluminação proposta para as salas de aula noturna, incluindo os planos de cálculo luminotécnico.



Fonte: elaborado pelo autor (2021).

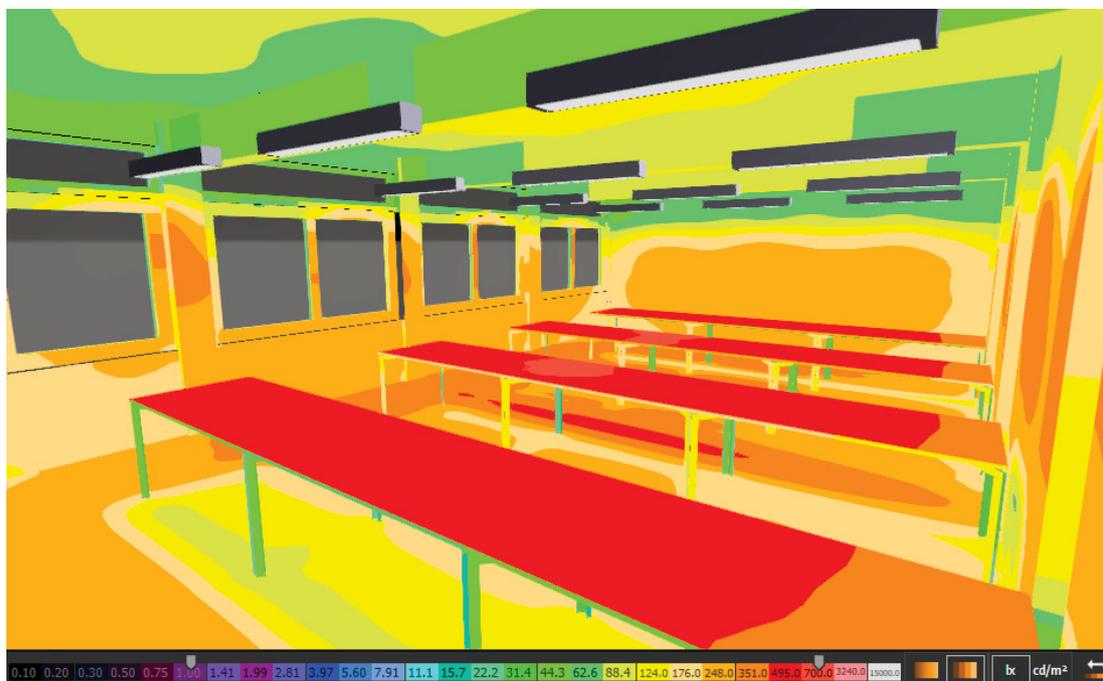
Na Figura 19, apresenta-se o plano bidimensional de iluminância da sala e na Figura 20, mostra-se a sala em formato tridimensional com vista logo da porta em direção à parede do quadro utilizando escala de cores para as diversas intensidades luminosas.

FIGURA 19 – Plano espectral de iluminância da sala de aula noturna projetada.



Fonte: elaborado pelo autor (2021).

FIGURA 20 – Representação tridimensional do espectro de iluminância da sala de aula projetada.



Fonte: elaborado pelo autor (2021).

Nesta revitalização luminotécnica, alcançou-se 608 lux de iluminância média. Em relação ao ofuscamento, o índice para a cálculo considerando o posicionamento

do docente foi de 26,1 e do plano de cálculo representando os alunos, um resultado médio de 22,6. Tais resultados seguiram mesmos níveis das salas de aula diurnas, o que evidencia a influência da luminária mantida nesta modernização. Sendo assim, verifica-se que a configuração atinge o parâmetro normativo de iluminância para salas de aula noturna, mas ainda não atinge o requerido para o ofuscamento do espaço.

Finalizado o estudo nos ambientes de aula, seguiu-se os mesmos princípios nos outros cômodos do prédio quanto ao estudo luminotécnico, principalmente no quesito de aproveitar o reposicionamento de luminárias fixadas nas paredes.

Quanto ao uso de sensores de presença, foram oito setores escolhidos na escola, sendo os dois sanitários principais e seis corredores. Em todos estes espaços o sensor se justifica pois atualmente a iluminação é acionada em quase que 100% do horário semanal, seja para utilização do local ou para a vigilância noturna. Também entra neste fator uma falha impactante da instalação elétrica: locais de pouca ocupação como corredores e estes sanitários em específico não possuem interruptor, são ligados diretamente no quadro pelo acionamento do disjuntor. Sendo assim, atualmente é mais cômodo para os funcionários manter a iluminação de forma ininterrupta.

Outro fator justificável para as escolhas é o potencial de redução de consumo destes espaços conforme referência exposta na Tabela 9. Adotando um perfil moderado, foi considerado o potencial de 30% de redução para os corredores e de 40% para os sanitários nos cálculos de retorno sobre o investimento a serem apresentados adiante.

TABELA 9 – Potencial de redução de consumo de energia com o uso de sensores de presença.

Aplicação	Potencial de redução [%]
Escritórios	20 - 50
Banheiros	30 - 75
Corredores	30 - 40
Áreas de estoque	45 - 65
Salas de reuniões	45 - 65
Salas de conferências	45 - 65
Depósitos	50 - 75

Fonte: (ALVAREZ, 1998).

Dos corredores existentes na edificação, somente em dois não será implementado o dispositivo de automação: o corredor que liga os dois setores da escola por motivos de vigilância noturna, e também o corredor em frente às salas de aula infantil para garantir claridade para as crianças (que são do período prévio ao fundamental) que frequentam o espaço.

Sendo assim, a Tabela 10, página a seguir, apresenta a relação de mudanças propostas nos espaços da sala de aula. Ressalta-se que são relacionados somente os ambientes de convivência frequente, isto é, cômodos aos quais são frequentados

de forma rotineira pela população da escola, e portanto, possuem perfil de uso bem estabelecido e que podem ser apurados na avaliação de retorno de investimento. A fim de deixar a tabela mais transparente de ser vista, abreviou-se algumas colunas, sendo U_v a quantidade de luminária na situação vigente; L_v a quantidade de lâmpadas na situação vigente; U_p a quantidade de luminária na proposta; L_p a quantidade de lâmpadas propostas; S a abreviação para perfilado, dado em metros na tabela. Reforça-se que na situação vigente o modelo de lâmpada é o fluorescente, enquanto que a proposta considerada LED.

TABELA 10 – Relação de mudanças na iluminação dos ambientes de convivência frequente da escola.

Piso	Setor	U_v	L_v	Modelo Fluorescente	U_p	L_p	Modelo LED	S [m]
1º andar	Salas de Aula 01	8	16	120 Tubular	8	16	120 Tubular	12
1º andar	Salas de Aula 02	8	16	120 Tubular	8	16	120 Tubular	12
1º andar	Salas de Aula 03	8	16	120 Tubular	8	16	120 Tubular	12
1º andar	Salas de Aula 04	8	16	120 Tubular	8	16	120 Tubular	12
1º andar	Salas de Aula 05	8	16	120 Tubular	8	16	120 Tubular	12
1º andar	Salas de Aula 06	8	16	120 Tubular	8	16	120 Tubular	12
1º andar	Salas de Aula 07	8	16	120 Tubular	8	16	120 Tubular	12
1º andar	Salas de Aula 08	8	16	120 Tubular	8	16	120 Tubular	12
1º andar	Salas de Aula 09	8	16	120 Tubular	8	16	120 Tubular	12
1º andar	Salas de Aula 10	8	16	120 Tubular	8	16	120 Tubular	12
1º andar	Salas de Aula 11	8	16	120 Tubular	8	16	120 Tubular	12
1º andar	Salas de Aula 12	8	16	120 Tubular	8	16	120 Tubular	12
1º andar	Corredor Salas	19	38	60 Tubular	18	36	60 Tubular	0
1º andar	Sala de Reforço	6	12	120 Tubular	5	10	120 Tubular	12,2
1º andar	Salão Central	10	20	60 Tubular	7	14	60 Tubular	21
Piso Frente	Hall Entrada Coberto	16	32	60 Tubular	12	24	60 Tubular	36
Piso Frente	Salão Prédio Entrada	16	32	60 Tubular	10	20	60 Tubular	24
Piso Frente	Corredor	14	28	60 Tubular	14	28	60 Tubular	0
Piso Frente	Sala de Reuniões	5	10	120 Tubular	4	8	120 Tubular	7,15
Piso Frente	Sanit/Vestiários MASC	8	16	120 Tubular	8	16	120 Tubular	12
Piso Frente	Sanit/Vestiários FEM	8	16	120 Tubular	8	16	120 Tubular	12
Piso Frente	Administração	4	8	120 Tubular	4	8	120 Tubular	0
Piso Frente	Diretoria	4	8	120 Tubular	4	8	120 Tubular	0
Piso Frente	Secretaria	6	12	120 Tubular	6	12	120 Tubular	12
Piso Frente	Refeitório	20	40	120 Tubular	16	32	120 Tubular	0
Piso Frente	Cozinha	6	12	120 Tubular	6	12	120 Tubular	22
Piso Fundos	Corredor p/ Fundos	8	16	60 Tubular	4	8	60 Tubular	12
Piso Fundos	Auditório	17	34	120 Tubular	16	32	120 Tubular	40
Piso Fundos	Biblioteca	12	24	120 Tubular	12	24	120 Tubular	36
Piso Fundos	Circulação (da entrada até saída)	17	34	60 Tubular	10	20	60 Tubular	30
Piso Fundos	Circulação (frente Auditório)	4	8	60 Tubular	3	6	60 Tubular	0
Piso Fundos	Circulação (frente Salas Infantil)	7	14	60 Tubular	6	12	60 Tubular	0
Piso Fundos	Sala de Aula Infantil 01	6	12	120 Tubular	6	12	120 Tubular	12
Piso Fundos	Sala de Aula Infantil 02	6	12	120 Tubular	6	12	120 Tubular	12
TOTAL		315	630		281	562		444,35

Fonte: elaborado pelo autor (2021).

Na tabela acima, observa-se que a proposta de modernização da instalação luminotécnica da escola reduziu 68 lâmpadas e 34 luminárias, mesmo adicionando mais de 440 metros de perfilado.

Demais cômodos também foram remodelados e eficientizados, mas não foram levados a partir desta avaliação principalmente pelo fato de não possuírem perfil de uso constante e significativo. O Apêndice C apresenta a planta baixa luminotécnica

após o *retrofit* sugerido.

Quanto à classificação de eficiência de iluminação com base nos critérios Procel, utilizou-se o método da área do edifício pois, dos 2.589 m² de área construída da edificação, 808 m² correspondem a atividade escolar, isto é, mais que 30% conforme requisito do RTQ-C.

Deste modo, conforme Tabela 2, para nível A de eficiência nos espaços, considera-se $DPI_L < 10,7$. A Tabela 11 mostra as classificações de cada cômodo após a proposta de efficientização da iluminação:

TABELA 11 – Classificação de eficiência energética em iluminação com base nos critérios PROCEL RTQ-C dos ambientes de convivência frequente da escola.

Piso	Setor	Potência [W]	Área [m ²]	DPI_L [W/m ²]	Classificação Procel
1º andar	Salas de Aula 01	288	44,65	6,45	A
1º andar	Salas de Aula 02	288	44,65	6,45	A
1º andar	Salas de Aula 03	288	44,65	6,45	A
1º andar	Salas de Aula 04	288	44,65	6,45	A
1º andar	Salas de Aula 05	288	44,65	6,45	A
1º andar	Salas de Aula 06	288	44,65	6,45	A
1º andar	Salas de Aula 07	288	44,65	6,45	A
1º andar	Salas de Aula 08	288	44,65	6,45	A
1º andar	Salas de Aula 09	288	44,65	6,45	A
1º andar	Salas de Aula 10	288	44,65	6,45	A
1º andar	Salas de Aula 11	288	44,65	6,45	A
1º andar	Salas de Aula 12	288	44,65	6,45	A
1º andar	Corredor Salas	324	105,40	3,07	A
1º andar	Sala de Reforço	180	35,71	5,04	A
1º andar	Salão Central	126	54,59	2,31	A
Piso Frente	Salão Prédio Entrada	180	71,06	2,53	A
Piso Frente	Corredor	252	76,38	3,30	A
Piso Frente	Laboratório	432	59,69	7,24	A
Piso Frente	Sala de Reuniões	144	24,53	5,87	A
Piso Frente	Sanit/Vestiários MASC	288	44,65	6,45	A
Piso Frente	Sanit/Vestiários FEM	288	44,65	6,45	A
Piso Frente	Administração	144	14,28	10,09	A
Piso Frente	Diretoria	144	14,28	10,09	A
Piso Frente	Secretaria	216	29,46	7,33	A
Piso Frente	Refeitório	576	133,37	4,32	A
Piso Frente	Cozinha	216	57,11	3,78	A
Piso Fundos	Corredor p/ Fundos	72	30,75	2,34	A
Piso Fundos	Auditório	576	121,40	4,74	A
Piso Fundos	Biblioteca	432	90,52	4,77	A
Piso Fundos	Circulação (da entrada até saída)	180	74,59	2,41	A
Piso Fundos	Circulação (frente Auditório)	54	22,35	2,42	A
Piso Fundos	Circulação (frente Salas Infantil)	108	31,94	3,38	A
Piso Fundos	Sala de Aula Infantil 01	216	29,46	7,33	A
Piso Fundos	Sala de Aula Infantil 02	216	29,46	7,33	A
TOTAL		8820			A

Fonte: elaborado pelo autor (2021).

Pelos dados apresentados, verifica-se uma potência total de iluminação de 8.820 W. Considerando a instalação vigente com 40 W para as lâmpadas tubulares fluorescentes de 120 cm, 16 W para as lâmpadas fluorescente 60 cm, e 2 W para cada reator nas luminárias, tem-se um total de 20.778 W. Sendo assim, a proposta reduz a potência alocada em iluminação em 57,6% só nestes ambientes focados.

Adiante na proposta, apresenta-se os valores utilizados para avaliação do retorno sobre investimento. A Tabela 12 reúne os valores financeiros considerados para as aquisições e cálculos da reforma luminotécnica.

TABELA 12 – Valores-chave utilizados para avaliação econômica da proposta luminotécnica. Base de preços de setembro de 2021.

Descrição	Valor
Lâmpada LED Intral 120 cm 18 W	R\$/und 49,43
Lâmpada LED Intral 60 cm 9 W	R\$/und 36,74
Lâmpada Fluorescente 120 cm 40 W	R\$/und 19,90
Lâmpada Fluorescente 60 cm 16 W	R\$/und 14,20
Sensor de Presença Intelbras ESP 360	R\$/und 56,90
Perfilado (conjunto de instalação)	R\$/m 14,50
Taxa mínima de atratividade (ao mês)	0,797%
Redução de consumo em corredores	30%
Redução de consumo em sanitários	40%
Tarifa Fora de Ponta	R\$/kWh 0,535091
Tarifa Ponta	R\$/kWh 2,088401

Fonte: elaborado pelo autor (2021).

O preço unitário das lâmpadas LED da Intral foram obtidas através de consulta ao representante da marca na região da escola; o preço das lâmpadas fluorescente foram obtidos através de consulta no varejo online; o sensor de presença em consulta à loja online oficial do fabricante em outubro; o conjunto de perfilado por unidade de metro foi calculado após consulta em varejo online; a taxa mínima de atratividade foi sugerida pela orientação do trabalho (equivalente a 10% ao ano); as reduções de consumo de energia por uso de sensor de presença conforme referência já citada, e as tarifas de energia foram registradas após consultar a fatura da escola.

Já a Tabela 13 apresenta o perfil de uso dos ambientes de convivência frequente. Estes dados foram colhidos através de depoimento das diretoras da escola, sendo as colunas com o subscrito fp esclarecendo as horas por dia (H), os dias por mês (D) e o total de horas no mês (T); as colunas com subscrito po representam os mesmos parâmetros, mas no horário de ponta. A efficientização da escola não alterou nenhum perfil de uso para o cenário com utilização de lâmpadas LED.

As Tabelas 10, 12 e 13 reúnem os parâmetros necessários para os cálculos de

avaliação do investimento do projeto, utilizando-se do software Microsoft Excel 2019 para obtenção dos resultados. Logo, na Tabela 14 apresenta-se a avaliação de cada ambiente de forma individual, além da avaliação global de investimento dos ambientes escolares exposto na última linha.

TABELA 13 – Perfil de uso dos ambientes de convivência frequente da escola.

Piso	Setor	H_{fp}	D_{fp}	T_{fp}	H_{po}	D_{po}	T_{po}
1º andar	Salas de Aula 01	10	22	220	0	22	0
1º andar	Salas de Aula 02	10	22	220	0	22	0
1º andar	Salas de Aula 03	10	22	220	0	22	0
1º andar	Salas de Aula 04	10	22	220	0	22	0
1º andar	Salas de Aula 05	10	22	220	0	22	0
1º andar	Salas de Aula 06	10	22	220	0	22	0
1º andar	Salas de Aula 07	10	22	220	0	22	0
1º andar	Salas de Aula 08	10	22	220	0	22	0
1º andar	Salas de Aula 09	10	22	220	0	22	0
1º andar	Salas de Aula 10	10	22	220	0	22	0
1º andar	Salas de Aula 11	10	22	220	0	22	0
1º andar	Salas de Aula 12	10	22	220	0	22	0
1º andar	Corredor Salas	21	30	630	3	30	90
1º andar	Sala de Reforço	8	22	176	0	0	0
1º andar	Salão Central	21	30	630	3	30	90
Piso Frente	Salão Prédio Entrada	21	30	630	3	30	90
Piso Frente	Corredor	21	30	630	3	30	90
Piso Frente	Laboratório	1	22	22	3	22	66
Piso Frente	Sala de Reuniões	8	22	176	0	0	0
Piso Frente	Sanit/Vestiários MASC	21	22	462	3	22	66
Piso Frente	Sanit/Vestiários FEM	21	22	462	3	22	66
Piso Frente	Administração	8	22	176	0	0	0
Piso Frente	Diretoria	8	22	176	0	0	0
Piso Frente	Secretaria	8	22	176	0	0	0
Piso Frente	Refeitório	9	22	198	1	22	22
Piso Frente	Cozinha	9	22	198	1	22	22
Piso Fundos	Corredor p/ Fundos	21	30	630	3	30	90
Piso Fundos	Auditório	4	22	88	0	0	0
Piso Fundos	Biblioteca	8	22	176	0	0	0
Piso Fundos	Circulação (da entrada até saída)	21	30	630	3	30	90
Piso Fundos	Circulação (frente Auditório)	21	30	630	3	30	90
Piso Fundos	Circulação (frente Salas Infantil)	21	30	630	3	30	90
Piso Fundos	Sala de Aula Infantil 01	10	22	220	0	0	0
Piso Fundos	Sala de Aula Infantil 02	10	22	220	0	0	0

Fonte: elaborado pelo autor (2021).

Para cada ambiente analisado, expôs-se na Tabela 14 o investimento total em lâmpadas (I_{lamp}), dado em reais; o investimento total em perfilado (I_{perf}), em reais; o investimento em sensor de presença (I_{sensor}), em reais, e o investimento total, I_T , que é a soma dos três investimentos; o PB_s representando o tempo de retorno do investimento calculado de maneira simplificada, dado em meses; o PB_d representando o tempo de retorno do investimento calculado de maneira descontada, dado em meses; o benefício gerado (BG), avaliado em reais/mês; a vida útil (v_{util}) da efficientização em meses; e o valor presente líquido (VPL) dado em reais.

TABELA 14 – Avaliação de viabilidade econômica da efficientização luminotécnica da escola.

Piso	Setor	I_{lamp}	I_{per-f}	I_{sensor}	I_T	P_{B_s}	P_{B_d}	B_G	v_{util}	VPL
1º andar	Salas de Aula 01	R\$ 790,88	R\$ 174,00	R\$ -	R\$ 964,88	17,44	18,85	R\$ 55,33	113,64	R\$ 3.160,42
1º andar	Salas de Aula 02	R\$ 790,88	R\$ 174,00	R\$ -	R\$ 964,88	17,44	18,85	R\$ 55,33	113,64	R\$ 3.160,42
1º andar	Salas de Aula 03	R\$ 790,88	R\$ 174,00	R\$ -	R\$ 964,88	17,44	18,85	R\$ 55,33	113,64	R\$ 3.160,42
1º andar	Salas de Aula 04	R\$ 790,88	R\$ 174,00	R\$ -	R\$ 964,88	17,44	18,85	R\$ 55,33	113,64	R\$ 3.160,42
1º andar	Salas de Aula 05	R\$ 790,88	R\$ 174,00	R\$ -	R\$ 964,88	17,44	18,85	R\$ 55,33	113,64	R\$ 3.160,42
1º andar	Salas de Aula 06	R\$ 790,88	R\$ 174,00	R\$ -	R\$ 964,88	17,44	18,85	R\$ 55,33	113,64	R\$ 3.160,42
1º andar	Salas de Aula 07	R\$ 790,88	R\$ 174,00	R\$ -	R\$ 964,88	17,44	18,85	R\$ 55,33	113,64	R\$ 3.160,42
1º andar	Salas de Aula 08	R\$ 790,88	R\$ 174,00	R\$ -	R\$ 964,88	17,44	18,85	R\$ 55,33	113,64	R\$ 3.160,42
1º andar	Salas de Aula 09	R\$ 790,88	R\$ 174,00	R\$ -	R\$ 964,88	17,44	18,85	R\$ 55,33	113,64	R\$ 3.160,42
1º andar	Salas de Aula 10	R\$ 790,88	R\$ 174,00	R\$ -	R\$ 964,88	17,44	18,85	R\$ 55,33	113,64	R\$ 3.160,42
1º andar	Salas de Aula 11	R\$ 790,88	R\$ 174,00	R\$ -	R\$ 964,88	17,44	18,85	R\$ 55,33	113,64	R\$ 3.160,42
1º andar	Salas de Aula 12	R\$ 790,88	R\$ 174,00	R\$ -	R\$ 964,88	17,44	18,85	R\$ 55,33	113,64	R\$ 3.160,42
1º andar	Corredor Salas	R\$ 1.322,64	R\$ -	R\$ 56,90	R\$ 1.379,54	4,74	4,85	R\$ 291,00	34,72	R\$ 7.416,61
1º andar	Sala de Reforço	R\$ 494,30	R\$ 176,90	R\$ -	R\$ 671,20	18,24	19,79	R\$ 36,80	142,05	R\$ 2.450,69
1º andar	Salão Central	R\$ 514,36	R\$ 304,50	R\$ 56,90	R\$ 875,76	5,17	5,30	R\$ 169,52	34,72	R\$ 4.248,48
Piso Frente	Salão Prédio Entrada	R\$ 734,80	R\$ 348,00	R\$ 56,90	R\$ 1.139,70	4,08	4,17	R\$ 279,17	34,72	R\$ 7.299,05
Piso Frente	Corredor	R\$ 1.028,72	R\$ -	R\$ 56,90	R\$ 1.085,62	5,18	5,31	R\$ 209,54	34,72	R\$ 5.248,40
Piso Frente	Laboratório	R\$ 1.186,32	R\$ 348,00	R\$ -	R\$ 1.534,32	22,83	25,30	R\$ 67,21	284,09	R\$ 6.014,37
Piso Frente	Sala de Reuniões	R\$ 395,44	R\$ 103,68	R\$ -	R\$ 499,12	15,98	17,16	R\$ 31,23	142,05	R\$ 2.150,40
Piso Frente	Sanit/Vestíários MASC	R\$ 790,88	R\$ 174,00	R\$ 56,90	R\$ 1.021,78	4,76	4,87	R\$ 429,22	47,35	R\$ 14.829,35
Piso Frente	Sanit/Vestíários FEM	R\$ 790,88	R\$ 174,00	R\$ 56,90	R\$ 1.021,78	4,76	4,87	R\$ 429,22	47,35	R\$ 14.829,35
Piso Frente	Administração	R\$ 395,44	R\$ -	R\$ -	R\$ 395,44	17,76	19,22	R\$ 22,27	142,05	R\$ 1.494,06
Piso Frente	Diretoria	R\$ 395,44	R\$ -	R\$ -	R\$ 395,44	17,76	19,22	R\$ 22,27	142,05	R\$ 1.494,06
Piso Frente	Secretaria	R\$ 593,16	R\$ 174,00	R\$ -	R\$ 767,16	22,96	25,47	R\$ 33,41	142,05	R\$ 2.067,08
Piso Frente	Refeitório	R\$ 1.581,76	R\$ -	R\$ -	R\$ 1.581,76	8,20	8,51	R\$ 192,99	113,64	R\$ 12.808,56
Piso Frente	Cozinha	R\$ 593,16	R\$ 319,00	R\$ -	R\$ 912,16	17,77	19,24	R\$ 51,34	113,64	R\$ 2.915,66
Piso Fundos	Corredor p/ Fundos	R\$ 293,92	R\$ 174,00	R\$ -	R\$ 467,92	3,47	3,53	R\$ 134,86	34,72	R\$ 3.608,61
Piso Fundos	Auditório	R\$ 1.581,76	R\$ 580,00	R\$ -	R\$ 2.161,76	42,71	52,43	R\$ 50,61	284,09	R\$ 3.522,39
Piso Fundos	Biblioteca	R\$ 1.186,32	R\$ 522,00	R\$ -	R\$ 1.708,32	25,57	28,71	R\$ 66,81	142,05	R\$ 3.960,17
Piso Fundos	Circulação (da entrada até saída)	R\$ 734,80	R\$ 435,00	R\$ 56,90	R\$ 1.226,70	4,08	4,16	R\$ 300,76	34,72	R\$ 7.864,46
Piso Fundos	Circulação (frente Auditório)	R\$ 220,44	R\$ -	R\$ 56,90	R\$ 277,34	4,17	4,26	R\$ 66,49	34,72	R\$ 1.732,36
Piso Fundos	Circulação (frente Salas Infantil)	R\$ 440,88	R\$ -	R\$ -	R\$ 440,88	4,67	4,78	R\$ 94,38	34,72	R\$ 2.411,88
Piso Fundos	Sala de Aula Infantil 01	R\$ 593,16	R\$ 174,00	R\$ -	R\$ 767,16	18,49	20,08	R\$ 41,49	113,64	R\$ 2.326,81
Piso Fundos	Sala de Aula Infantil 02	R\$ 593,16	R\$ 174,00	R\$ -	R\$ 767,16	18,49	20,08	R\$ 41,49	113,64	R\$ 2.326,81
TOTAL		R\$ 25.952,30	R\$ 6.269,08	R\$ 455,20	R\$ 32.676,58	8,77	9,13	R\$ 3.725,97		R\$ 79.943,95

Fonte: elaborado pelo autor (2021).

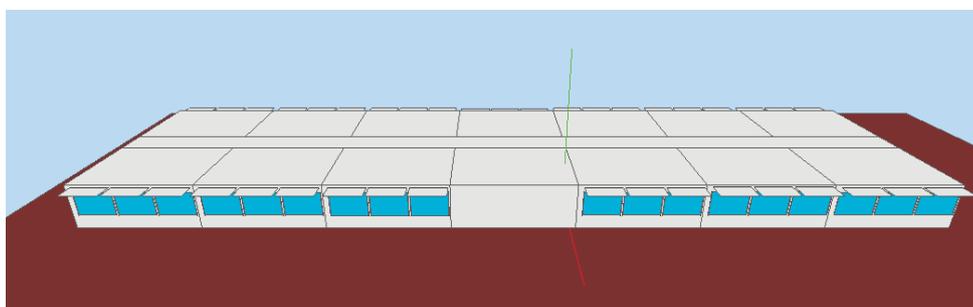
Analisando o resultado global da modernização luminotécnica, ao investir R\$ 32.676,58, haverá um benefício mensal de R\$ 3.725,97 e um retorno descontado do investimento em 9,13 meses, isto é, em menos de 1 ano a escola estará colhendo a economia desta eficiência energética. O resultado do valor presente líquido de R\$ 79.943,95 foi calculado no menor tempo de vida útil das implementações, isto é, em 34,72 meses. O resultado mostra que, além da viabilidade do projeto – por ser um valor positivo – traz ao presente um resgate financeiro maior que o dobro inicialmente pago.

A análise financeira individual de cada setor de convivência frequente da escola também foi exposta para apresentar que, em qualquer caso proposto – ou em qualquer parte investida – o ganho com a modernização da iluminação trará benefício para a administração do custo da escola, tanto econômico quanto técnico e de conforto no uso dos espaços.

4.2 CONDICIONAMENTO AMBIENTAL

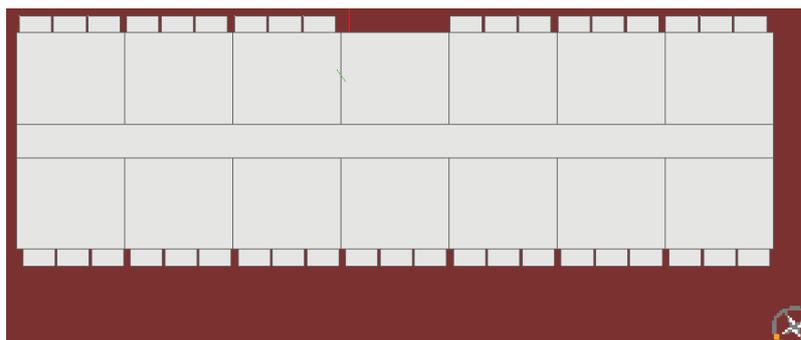
As Figuras 21, 22, 23 e 24 mostram a visão geral do pavimento de salas de aula da escola projetado no software Domus. Como os ambientes situam-se no piso superior da edificação, compôs-se somente este andar no estudo termodinâmico.

FIGURA 21 – Representação tridimensional do primeiro andar, pavimento das salas de aula; vista aérea frontal.



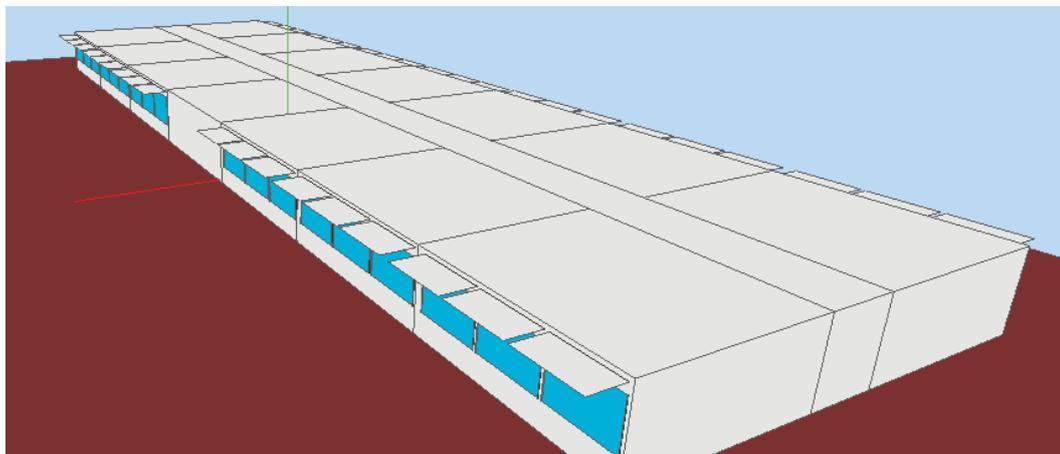
Fonte: elaborado pelo autor (2021).

FIGURA 22 – Representação tridimensional do primeiro andar, pavimento das salas de aula; vista aérea superior.



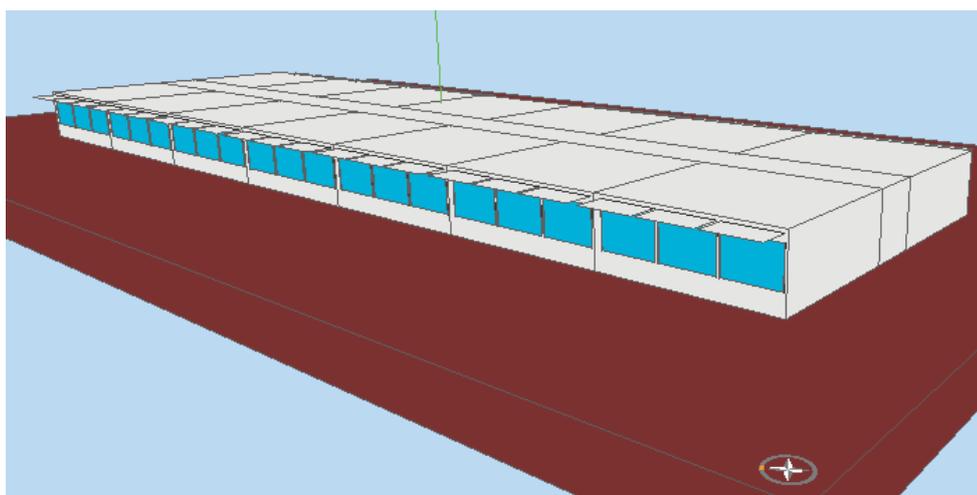
Fonte: elaborado pelo autor (2021).

FIGURA 23 – Representação tridimensional do primeiro andar, pavimento das salas de aula; visão lateral aproximada.



Fonte: elaborado pelo autor (2021).

FIGURA 24 – Representação tridimensional do primeiro andar, pavimento das salas de aula; visão lateral afastada.



Fonte: elaborado pelo autor (2021).

Atentou-se no estudo para que a posição geográfica fosse a mais próxima possível da real na ferramenta. Sendo assim, colocou-se a orientação da fachada frontal da escola em 120° do Norte, sentido anti-horário, conforme medições no local. Quanto ao arquivo climático da cidade, por limitação da ferramenta, nem todas cidades brasileiras são disponibilizadas, e neste sentido, selecionou-se a mais próxima disponível de Campo Mourão, que no caso foi a cidade de Maringá (que dista 90 km).

A primeira simulação efetuada considerou os aspectos das salas como construído atualmente, configurado conforme apresentado no Apêndice D. Já na segunda simulação, considerou-se somente a pintura do teto na cor branca. Assim, configurou-se todos os cômodos do pavimento conforme especificações expostas no Apêndice E.

Na terceira simulação com inserção de forro EPS, configurou-se o teto das 12 salas de aula conforme apresentado no Apêndice F. E por fim, a quarta simulação que une as duas soluções apresentou os parâmetros expostos no Apêndice G.

Sendo assim, expõem-se os resultados de máximo calor sensível das simulações na Tabela 15, identificando em cada coluna o cenário proposto.

TABELA 15 – Máximo calor sensível de resfriamento simulado nas salas de aula.

Local	Situação Vigente [BTU/h]	Somente pintura teto [BTU/h]	Somente forro EPS [BTU/h]	Solução conjunta [BTU/h]
Sala 1	16.996,80	15.701,00	15.508,50	14.738,10
Sala 2	16.637,00	15.320,00	15.187,50	14.404,60
Sala 3	16.616,40	15.302,30	15.227,10	14.425,30
Sala 4	16.603,90	15.300,10	15.158,20	14.386,50
Sala 5	16.610,00	15.313,30	15.161,50	14.394,80
Sala 6	17.075,90	15.755,40	15.540,40	14.758,40
Sala 7	17.000,20	15.711,50	15.514,00	14.750,30
Sala 8	16.656,00	15.343,00	15.207,50	14.428,00
Sala 9	16.662,90	15.343,10	15.226,40	14.461,20
Sala 10	16.660,70	15.348,60	15.209,40	14.431,00
Sala 11	16.616,70	15.326,50	15.179,70	14.413,40
Sala 12	17.047,50	15.742,00	15.533,30	14.756,80
MÉDIA	16.765,33	15.458,90	15.304,46	14.529,03

Fonte: elaborado pelo autor (2021).

Na Tabela 16, página a seguir, utiliza-se os dados expostos acima para calcular a melhora de carga térmica dos cenários em relação ao desempenho da situação vigente, mostrando tanto o benefício em BTU/h quanto em porcentagem.

Com os resultados exibidos, verifica-se que aplicar a pintura de cor branca em todo teto do prédio das salas de aula resulta em uma redução de 7,79% na carga térmica de refrigeração, enquanto que ocorre uma redução de 8,71% com a aplicação de forro EPS nas salas. A solução conjunta acarreta em uma redução de 13,34% na carga térmica de refrigeração comparado com a construção vigente. Seja a escolha de uma das soluções ou seja a conjunta, verifica-se que em qualquer caso a diminuição de carga térmica contribui para uma menor exigência energética de condicionadores de ar nos espaços propostos.

TABELA 16 – Avaliação da melhoria do calor sensível de resfriamento em relação ao cenário vigente.

Local	Somente pintura teto		Somente forro EPS		Solução conjunta	
	[BTU/h]	[%]	[BTU/h]	[%]	[BTU/h]	[%]
Sala 1	1.295,80	7,62%	1.488,30	8,76%	2.258,70	13,29%
Sala 2	1.317,00	7,92%	1.449,50	8,71%	2.232,40	13,42%
Sala 3	1.314,10	7,91%	1.389,30	8,36%	2.191,10	13,19%
Sala 4	1.303,80	7,85%	1.445,70	8,71%	2.217,40	13,35%
Sala 5	1.296,70	7,81%	1.448,50	8,72%	2.215,20	13,34%
Sala 6	1.320,50	7,73%	1.535,50	8,99%	2.317,50	13,57%
Sala 7	1.288,70	7,58%	1.486,20	8,74%	2.249,90	13,23%
Sala 8	1.313,00	7,88%	1.448,50	8,70%	2.228,00	13,38%
Sala 9	1.319,80	7,92%	1.436,50	8,62%	2.201,70	13,21%
Sala 10	1.312,10	7,88%	1.451,30	8,71%	2.229,70	13,38%
Sala 11	1.290,20	7,76%	1.437,00	8,65%	2.203,30	13,26%
Sala 12	1.305,50	7,66%	1.514,20	8,88%	2.290,70	13,44%
MÉDIA	1.306,43	7,79%	1.460,88	8,71%	2.236,30	13,34%

Fonte: elaborado pelo autor (2021).

Quanto ao investimento das soluções, para a pintura consultou-se pessoalmente em outubro um especialista no segmento de tintas; foi recomendado um galão de 18 litros da tinta acrílica emborrachada da cor branca rendendo 200 m², sendo necessária a aplicação em 3 demãos. Sendo a área total do teto do pavimento das salas de 791,25 m² e o custo unitário de um galão de R\$ 550,00, chegou-se ao investimento total de R\$ 6.527,81.

Para a aplicação de forro de isopor, verificou-se através de fornecedor online em agosto que uma caixa de forro de isopor de R\$ 260,00 contém 18 placas de 1,250 mm por 625 mm e espessura de 20 mm, totalizando 18,75 m² por caixa. Cada sala de aula possui 44,65 m², então obtém-se o valor de R\$ 619,16 de forro EPS por sala. Também por cálculo da disposição das placas na sala, encontrou-se o valor de R\$ 582,34 de instalação de perfilado do forro por sala. Sendo assim, para as 12 salas da escola, chegou-se ao investimento total de R\$ 14.418,08. E para a solução completa, soma-se os custos envolvidos resultando em um valor total de R\$ 20.945,89.

Quanto à análise de retorno destes investimentos, objetivou a situação de refletir a carga térmica reduzida assemelhando-a uma redução de energia elétrica consumida. Para isto, a partir dos valores em BTU/h da Tabela 16, converteu-se os resultados atingidos para W/h. Depois, pelas 10 horas de uso por dia destas salas de aula (vide Tabela 13) em período de horário fora de ponta, tem-se um custo de R\$ 0,535091 por kWh, o mesmo da Tabela 12. Então, fez-se a soma da contribuição de cada sala nesta redução da conta de energia, e como a utilização dos espaços são

realizadas durante a semana, chegou-se ao valor de benefício gerado por mês após multiplicar a soma por 22 dias úteis. A Tabela 17 apresenta os dados relativos a esta análise:

TABELA 17 – Benefício gerado com a melhoria de calor sensível de resfriamento das salas de aula de acordo com perfil de uso dos espaços.

Local	Somente pintura teto	Somente forro EPS	Solução conjunta
Sala 1	R\$ 2,03	R\$ 2,33	R\$ 3,54
Sala 2	R\$ 2,06	R\$ 2,27	R\$ 3,50
Sala 3	R\$ 2,06	R\$ 2,18	R\$ 3,44
Sala 4	R\$ 2,04	R\$ 2,27	R\$ 3,48
Sala 5	R\$ 2,03	R\$ 2,27	R\$ 3,47
Sala 6	R\$ 2,07	R\$ 2,41	R\$ 3,63
Sala 7	R\$ 2,02	R\$ 2,33	R\$ 3,53
Sala 8	R\$ 2,06	R\$ 2,27	R\$ 3,49
Sala 9	R\$ 2,07	R\$ 2,25	R\$ 3,45
Sala 10	R\$ 2,06	R\$ 2,28	R\$ 3,50
Sala 11	R\$ 2,02	R\$ 2,25	R\$ 3,45
Sala 12	R\$ 2,05	R\$ 2,37	R\$ 3,59
TOTAL/DIA	R\$ 24,58	R\$ 27,48	R\$ 42,07
TOTAL/MÊS	R\$ 540,74	R\$ 604,66	R\$ 925,61

Fonte: elaborado pelo autor (2021).

Com os valores consolidados dos ambientes, executou-se os cálculos de avaliação do investimento com o auxílio do software Microsoft Excel 2019. Logo, na Tabela 18 expõe-se os resultados atingidos:

TABELA 18 – Avaliação de viabilidade econômica das propostas de efficientização do condicionamento térmico das salas de aula.

Parâmetro	Somente Pintura Teto	Somente Forro EPS	Solução conjunta
Investimento total (R\$)	R\$ 6.527,81	R\$ 14.418,08	R\$ 20.945,89
Benefício gerado (R\$/mês)	R\$ 540,74	R\$ 604,66	R\$ 925,61
Vida útil (meses)	60	60	60
Payback simples (meses)	12,07	23,84	22,63
Payback descontado (meses)	12,74	26,55	25,05
Valor Presente Líquido (R\$)	R\$ 19.181,00	R\$ 14.329,94	R\$ 23.061,43

Fonte: elaborado pelo autor (2021).

Pelos resultados alcançados, investir na pintura do teto trará um retorno sobre o investimento em menos de 13 meses, enquanto que somente no forro de isopor trará um retorno após quase 27 meses; a solução conjunta atingirá um retorno após 25,05 meses. Os resultados mostram que de 1 a 2 anos, a escola estará usufruindo financeiramente desta redução de carga térmica implementada pela tinta branca no teto e/ou pelo forro de isopor.

Cabe documentar algumas situações importantes da manutenção destas propostas. Para o forro de isopor, recomenda-se a limpeza da parte visível do isopor a cada 1 ano, podendo ser com pano umedecido com água. Evitar fazer furos e prender qualquer tipo de objeto ao isopor para não danificar o isolamento térmico do material.

Quanto ao procedimento da pintura, antes da própria atividade será necessária a lavagem do teto com hipoclorito de sódio utilizando máquina pressurizadora. Esperar secar por 2 dias e após isto, executar a pintura. Este processo completo deve ser renovado a 5 anos - por conta disto, o VPL das propostas de condicionamento ambiental foram todas analisadas em 60 meses. Um benefício desta tinta emborrachada é que, além dela atuar no condicionamento ambiental, também cobre microfissuras de até 0,2 mm, mitigando infiltrações no prédio.

Em todos os casos das simulações, representou-se as salas de aula sem nenhum equipamento de refrigeração instalado. Neste sentido, os valores alcançados conseqüentemente mostram as salas mais quentes do prédio, e a partir desta constatação, é possível planejar o local de instalação dos 4 condicionadores de ar ainda guardados na escola.

Sendo assim, elaborou-se o diagrama exposto na Figura 25 utilizando os mesmos dados expostos na Tabela 15 de forma a apresentar aqui um mapa de calor das salas, onde os valores em vermelho representam os maiores resultados do cenário da coluna diagramada, isto é, as salas mais quentes, enquanto que os verde representam os menores.

FIGURA 25 – Diagrama do Mapa de Calor das salas de aula considerando a carga térmica de calor sensível avaliada.

Local	Situação Vigente [BTU/h]	Somente Pintura Teto [BTU/h]	Somente Forro EPS [BTU/h]	Pintura Teto + Forro EPS [BTU/h]
Sala 1	16.996,80	15.701,00	15.508,50	14.738,10
Sala 2	16.637,00	15.320,00	15.187,50	14.404,60
Sala 3	16.616,40	15.302,30	15.227,10	14.425,30
Sala 4	16.603,90	15.300,10	15.158,20	14.386,50
Sala 5	16.610,00	15.313,30	15.161,50	14.394,80
Sala 6	17.075,90	15.755,40	15.540,40	14.758,40
Sala 7	17.000,20	15.711,50	15.514,00	14.750,30
Sala 8	16.656,00	15.343,00	15.207,50	14.428,00
Sala 9	16.662,90	15.343,10	15.226,40	14.461,20
Sala 10	16.660,70	15.348,60	15.209,40	14.431,00
Sala 11	16.616,70	15.326,50	15.179,70	14.413,40
Sala 12	17.047,50	15.742,00	15.533,30	14.756,80

Fonte: elaborado pelo autor (2021).

Nota-se no mapa de calor que em todos os cenários as salas mais quentes se mantêm, que são as salas 1, 6, 7 e 12. Também, confirma-se a suposição da diretoria da escola de que as salas de 7 a 12 são as mais quentes se comparada com as salas 1 a 6. No entanto, como há 4 ares-condicionados disponíveis e as salas 1 e 12 já possuem o modelo da Elgin 18.000 BTU instalado, recomenda-se a partir deste diagrama que os aparelhos restantes sejam instalados nas salas 6, 7, 8 e 9.

A justificativa para a instalação nas salas 6 e 7 vem à tona devido à sensação de calor mais elevada. Já em relação às salas 8 e 9, observa-se ponderando a sensação de calor e a proximidade das salas 6 e 7, convém refrigerar estes espaços. Esta proximidade deve-se à instalação elétrica da escola, pois durante a visita técnica, foi constatado um quadro elétrico na cozinha (que fica logo abaixo da sala 7) com disponibilidade para fornecer uma fiação confiável de distribuição de energia, pois foram encontrados, de um total de 17, 11 disjuntores desativados neste quadro por causa de equipamentos da cozinha e refeitório que não fazem mais parte dos bens imobilizados. Este ramal proposto pode ser levado para o piso superior e constituir um quadro somente para a proteção dos condicionadores de ar das salas de aula.

Por fim, relativo às melhorias dos equipamentos já instalados na escola, segue abaixo algumas pontuações do uso eficiente de energia ligado à refrigeração:

- A compra dos 6 condicionadores de ar de 18.000 BTU pela escola foi uma decisão acertada, visto que na situação vigente (conforme Tabela 15), estes aparelhos conseguem refrigerar as salas de aula - embora trabalhando com a quase toda capacidade térmica do equipamento.
- Todas as salas de aula possuem ventilador de parede instalado logo acima do quadro. Porém, das 12 salas visitadas, somente 2 possuíam ventilador com Selo Procel categoria A. Neste sentido, recomenda-se a troca dos ventiladores menos eficientes por novos levando em conta equipamento de etiqueta A. Naturalmente, esta recomendação também se aplica a novos ventiladores que poderão ser adquiridos para demais ambientes.
- A sala de aula noturna possui um ar-condicionado do tipo split piso-teto de 50.000 BTU da marca Carrier, onde não foi possível encontrar o modelo e as especificações técnicas do aparelho. A única informação encontrada pela diretoria da escola foi somente a capacidade térmica, e segundo relato, o condicionador encontra-se instalado desde o início dos anos 2000. Com isto, infere-se que é um ar-condicionado defasado no aspecto de eficiência energética, recomendando – sem fazer um estudo aprimorado de carga térmica neste ambiente – a troca por um novo com Selo Procel A (atualmente no mercado a capacidade mais próxima é de 48.000 BTU).

5 CONCLUSÕES

Após finalizar a proposta de modernização, verificou-se que o trabalho trouxe resultados tangíveis para o uso eficiente de energia e para a melhoria do conforto no uso dos espaços, tanto na disciplina de iluminação quanto nas condições de condicionamento ambiental das salas de aula.

Na revitalização da iluminação, encontrou-se soluções com mudanças no sentido de corrigir falhas do projeto inicial da escola, as quais trouxeram melhorias expressivas na iluminância do espaço com redução de 57,6% da potência alocada, redução da quantidade de luminárias e o reposicionamento destas quando fixadas rente à parede com o aproveitamento do suporte de lâmpadas vigente.

No aspecto normativo ligado à iluminação, o requisito de iluminância média foi respeitado em todas as salas de aula estudadas, embora nas doze salas de aula regulares o objetivo inicial de 500 lux para futuro uso em período noturno não tenha sido cumprido. Para a aula de jovens e adultos ministrada no período noturno, até por conta da necessidade de poder ter um espaço melhor planejado por conta do ar-condicionado piso-teto, a reformulação luminotécnica entregou a iluminância necessitada.

Através da classificação conforme RTQ-C, verificou-se que a proposta de revitalização da instalação luminotécnica alcança o nível A de eficiência energética em todos os espaços, fator que contribui para o êxito objetivado neste trabalho. A título de comparação, através de cálculos simples, a situação vigente da planta luminotécnica atinge nível A somente nos corredores de circulação, resultando em nível C na maior parte dos ambientes da edificação.

Outra solução luminotécnica bastante relevante foi a automação de espaços de uso contínuo com a proposta de sensor de presença, onde o prognóstico cauteloso já indica uma redução ampla de consumo de energia e evita o manuseio de disjuntores para acionamento dos componentes.

Cabe dizer que os valores de ofuscamento medidos nos planos de uso simulados não se aproximaram do requisito normativo, e neste sentido justifica-se pela escolha da manutenção da luminária vigente, que não possui estrutura física capaz de diminuir o ofuscamento das lâmpadas tubulares. Para executar esta correção, seria necessário investir em luminárias como do tipo plafon difuso e/ou com aletas, que traria uma elevação significativa do valor investido.

Quanto ao aspecto de viabilidade econômica, o retorno de investimento em menos de um ano demonstra um campo extenso de eficiência energética explorado e que incentiva não só a aprovação da proposta, mas também o fomento em futuros

estudos em ambientes escolares.

Já nas propostas de melhoramento do condicionamento térmico das salas de aula, as soluções trouxeram reduções significativas na melhoria de calor sensível de resfriamento dos espaços, contribuindo de forma direta para uma subsequente inserção de ar-condicionado em níveis de exigência menor de carga térmica a ser resfriada no espaço.

Abordando sobre cada solução, com um investimento de R\$ 6.500,00 que atinge todo o prédio, alcança-se uma melhoria média de quase 8% da carga térmica de resfriamento nas salas de aula e subsequente retorno de investimento após 13 meses. E neste escopo, é importante salientar que a manutenção do teto da escola é elemento fundamental para que o resultado seja atingido, haja visto que este procedimento deve ser feito a cada cinco anos.

A inserção de forro de isopor, além do resultado de eficiência energética em condicionamento ambiental, também atua na remodelagem interna das salas, trazendo uma nova aparência. Neste caso, um fator impactante para o retorno de investimento ser maior que dois anos é o preço do material perfurado de aço para sustentação do forro, que tem encarecido projetos e obras de diversos segmentos nos tempos recentes desta publicação.

Ao comparar o resultado alcançado com o investimento financeiro necessário, observa-se que a pintura do teto traz um resultado mais barato e com menor tempo de retorno, mesmo com um resultado operativo de redução de carga térmica um pouco menor se comparado com o forro de isopor.

A solução conjunta traz um resultado evidente de eficiência energética, visto que com um aporte financeiro racional de um pouco menos de R\$ 21.000,00, há uma redução média de carga térmica de 13,34% em todas as salas de aula, melhorando o conforto térmico dos estudantes e professores para as atividades educacionais.

Deste modo, as propostas atingidas neste estudo trouxeram modernização dos espaços com a utilização de forma eficiente da energia disponível na escola, conseguindo atuar na redução do consumo de energia com a revitalização da planta luminotécnica com a tecnologia mais robusta de eficiência energética, e melhorando o conforto e a carga térmica das salas com soluções de baixo investimento. E neste sentido, em todos os cenários o valor presente líquido após 5 anos caracteriza-se por um aporte relevante para, por exemplo, renovar os equipamentos de refrigeração sempre buscando os modelos mais eficientes do mercado.

Portanto, notabiliza-se que as propostas logradas podem ser apontadas como soluções mediadoras da efficientização da escola, dado que na iluminação é necessária a adequação do ofuscamento e no condicionamento ambiental é necessário ter o

olhar voltado para o uso de equipamentos de refrigeração e ventilação com Selo A no Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica, além da exigência mandatória de uma instalação elétrica que suporte a adesão destas cargas elétricas.

Vale registrar as dificuldades encontradas no trabalho, pois apesar de serem ferramentas robustas, ambos softwares possuem algumas limitações de desenho, principalmente quanto a janelas e telhados, onde não foi possível desenhar a janela com todo o detalhamento real de aberturas e estruturas metálicas e de vidro, além de não conseguir representar as claraboias da escola em forma tridimensional e nem mesmo equivalente.

Por fim, este trabalho contribui para a ciência através de um olhar prático da eficiência energética, podendo enriquecer o tema e também motivar o estado da arte para trabalhos em construções educacionais.

REFERÊNCIAS

ABNT. **NBR 16401-1 - Instalações de ar-condicionado - Sistemas centrais e unitários Parte 1: Projeto das instalações**. Rio de Janeiro, 2008.

_____. **NBR ISO/CIE 8995-1 - Iluminação de ambientes de trabalho - Parte 1: Interior**. Rio de Janeiro, 2013.

ALTOÉ, L. et al. Políticas públicas de incentivo à eficiência energética. **Estudos Avançados**, SciELO, 2017.

ALVAREZ, A. L. M. **Uso racional e eficiente de energia elétrica: metodologia para determinação dos potenciais de conservação dos usos finais em instalações de ensino e similares**. 1998. Mestrado em Engenharia – Universidade de São Paulo.

ANEEL. **Programas de inovação e eficiência da ANEEL completam 20 anos com mais de R\$ 13,5 bi investidos**. 2020. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/sala-de-imprensa/-/asset_publisher/zXQREz8EVlZ6/content/id/20580092>. Acesso em: 21 abr. 2021.

BARROS, B. F. D.; BORELLI, R.; GEDRA, R. L. **Eficiência energética: técnicas de aproveitamento, gestão de recursos e fundamentos**. São Paulo: Editora Érica, 2015.

BRASIL, G. F. do. **Ar-condicionado: Inmetro atualiza critérios para o Programa Brasileiro de Etiquetagem**. 2020. Disponível em: <<https://www.gov.br/inmetro/pt-br/centrais-de-conteudo/noticias/ar-condicionado-inmetro-atualiza-criterios-para-o-programa-brasileiro-de-etiquetagem>>. Acesso em: 6 jan. 2022.

CEPEL. **Guia para efficientização energética nas edificações públicas**. Out. 2014. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/eficiencia-energetica/guia-efic-energ-edif-publ_1-0_12-02-2015_compacta.pdf>. Acesso em: 19 dez. 2021.

COPEL. **Chamada Pública PEE Copel 003/2020**. Curitiba, 2020. Disponível em: <[https://www.copel.com/hpcopel/root/sitearquivos2.nsf/arquivos/edital_cp_pee_003_2020/\\$FILE/Chamada%20P%C3%BAblica%20PEE%20Copel%20003_2020.pdf](https://www.copel.com/hpcopel/root/sitearquivos2.nsf/arquivos/edital_cp_pee_003_2020/$FILE/Chamada%20P%C3%BAblica%20PEE%20Copel%20003_2020.pdf)>. Acesso em: 15 jun. 2021.

CUNHA, A. G. da; NEUMANN, W. **Manual de Impermeabilização e Isolamento Térmico**. Rio de Janeiro, 1979.

DIAS, A. E. **O desempenho térmico de coberturas verdes em simulações computacionais em três cidades brasileiras**. 2016. Mestrado em Engenharia Civil – Universidade Federal de Santa Catarina.

FONSECA PINHEIRO, A. C. da; CRIVELARO, M. **Conforto Ambiental - Iluminação, Cores, Ergonomia, Paisagismo e Critérios para Projetos**. São Paulo: Saraiva, 2014.

FREZATTI, F. **Gestão da viabilidade econômico-financeira dos projetos de investimento**. São Paulo: Atlas, 2011.

GENTILINI, R. Â. **Conforto Térmico**. Curitiba: Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Paraná, 2021.

INEP. **Censo Escolar - Inep**. 2021. Disponível em: <<https://www.gov.br/inep/pt-br/areas-de-atuacao/pesquisas-estatisticas-e-indicadores/censo-escolar>>. Acesso em: 29 abr. 2021.

INMETRO. **Portaria nº 234, 29 de junho de 2020**. Brasília, 2020.

INTELBRAS. **Sensor de presença para iluminação ESP 360**. 2021. Disponível em: <<https://www.intelbras.com/pt-br/sensor-de-presenca-para-iluminacao-esp-360>>. Acesso em: 16 set. 2021.

INTRAL. **Intral - LÂMPADA TUBO LED PRO PC**. 2021. Disponível em: <<https://www.intral.com.br/pt/produtos/lampadas-led/#tubo-led/lampada-tubo-led-pro-pc>>. Acesso em: 15 set. 2021.

ITAIM. **4012 - Itaim Lightning Concept**. 2019. Disponível em: <<https://itaimlc.com.br/pt/4012/>>. Acesso em: 24 set. 2021.

JANNUZZI, G. D. M. Power sector reforms in Brazil and its impacts on energy efficiency and research and development activities. **Energy Policy**, Elsevier, 2010.

LAGE, W. M.; MORAIS LAGE, M. H. de; MORAIS LAGE, B. L. de. Aplicação da gestão energética como ferramenta de redução estratégica de custos nas escolas públicas municipais de Belo Horizonte/MG. In: XXII Congresso Brasileiro de Custos. 2015.

MATOS, R. S. **Carga Térmica de Climatização**. Curitiba: Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Paraná, 2010. Disponível em: <https://docs.ufpr.br/~rudmar/clima/material/5_CARGA%20TERMICA%20EM%20CLIMATIZACAO.pdf>.

MICHELS, C. **Análise da transferência de calor em coberturas com barreiras radiantes**. 2007. Mestrado em Engenharia Civil – Universidade Federal de Santa Catarina.

MME. **Plano Nacional de Eficiência Energética**. 2011.

MOREIRA, J. R. S.; NETO, A. H. **Energias Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência Energética**. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2021.

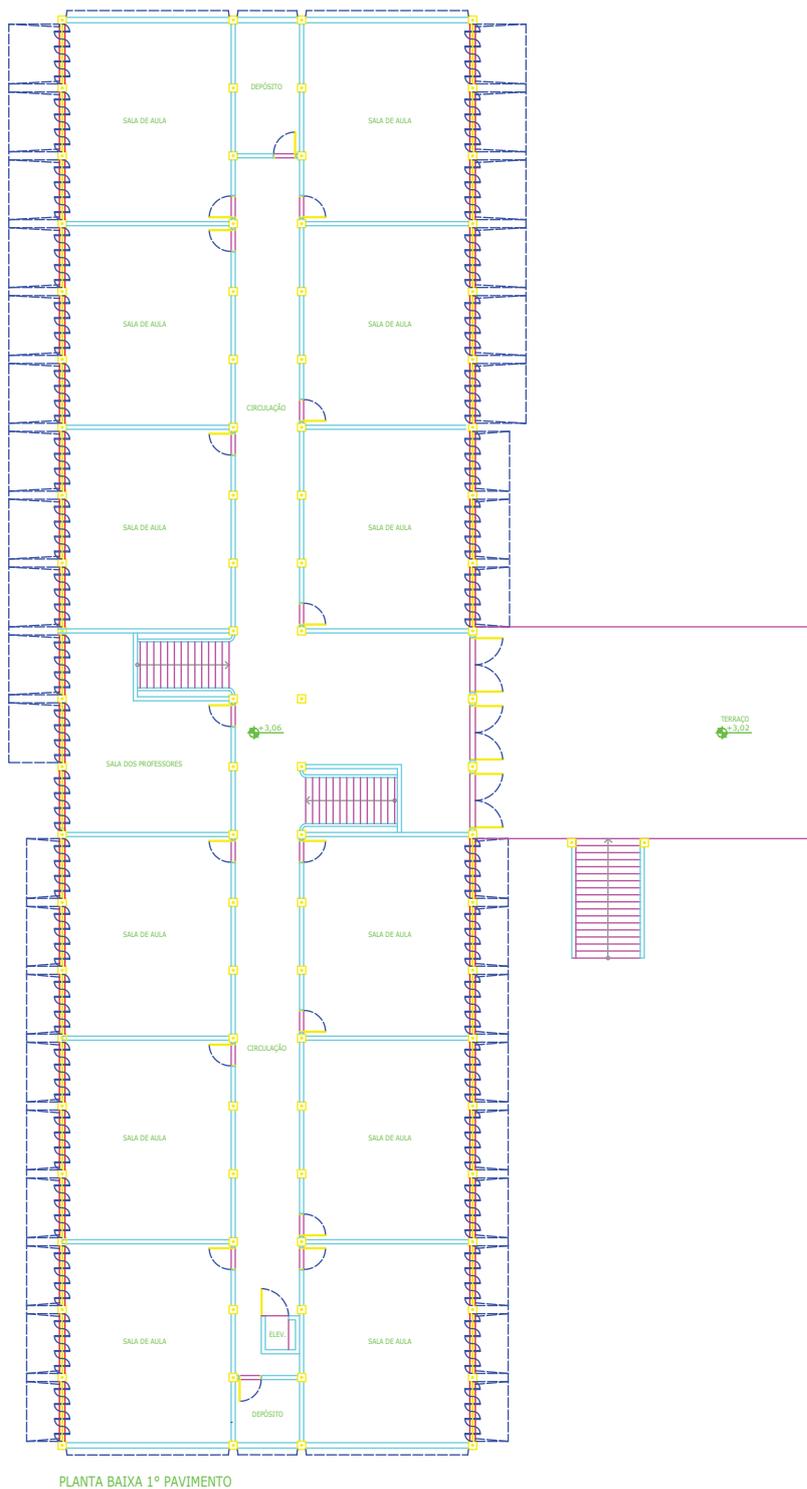
PROCEL. **Manual para Aplicação do RTQ-C**. 4. ed. Jun. 2016. Disponível em: <https://www.pbeedifica.com.br/sites/default/files/projetos/etiquetagem/comercial/downloads/manual_rtqc2016.pdf>. Acesso em: 9 ago. 2021.

SILVA, G. L. da. **Avaliação da eficiência energética em escolas públicas municipais e estaduais de Maceió - Alagoas**. 2015. Pós-Graduação em Engenharia de Produção – Universidade Federal da Paraíba.

TORREIRA, R. P. **Isolamento Térmico: Frio e Calor**. São Paulo, 1980.

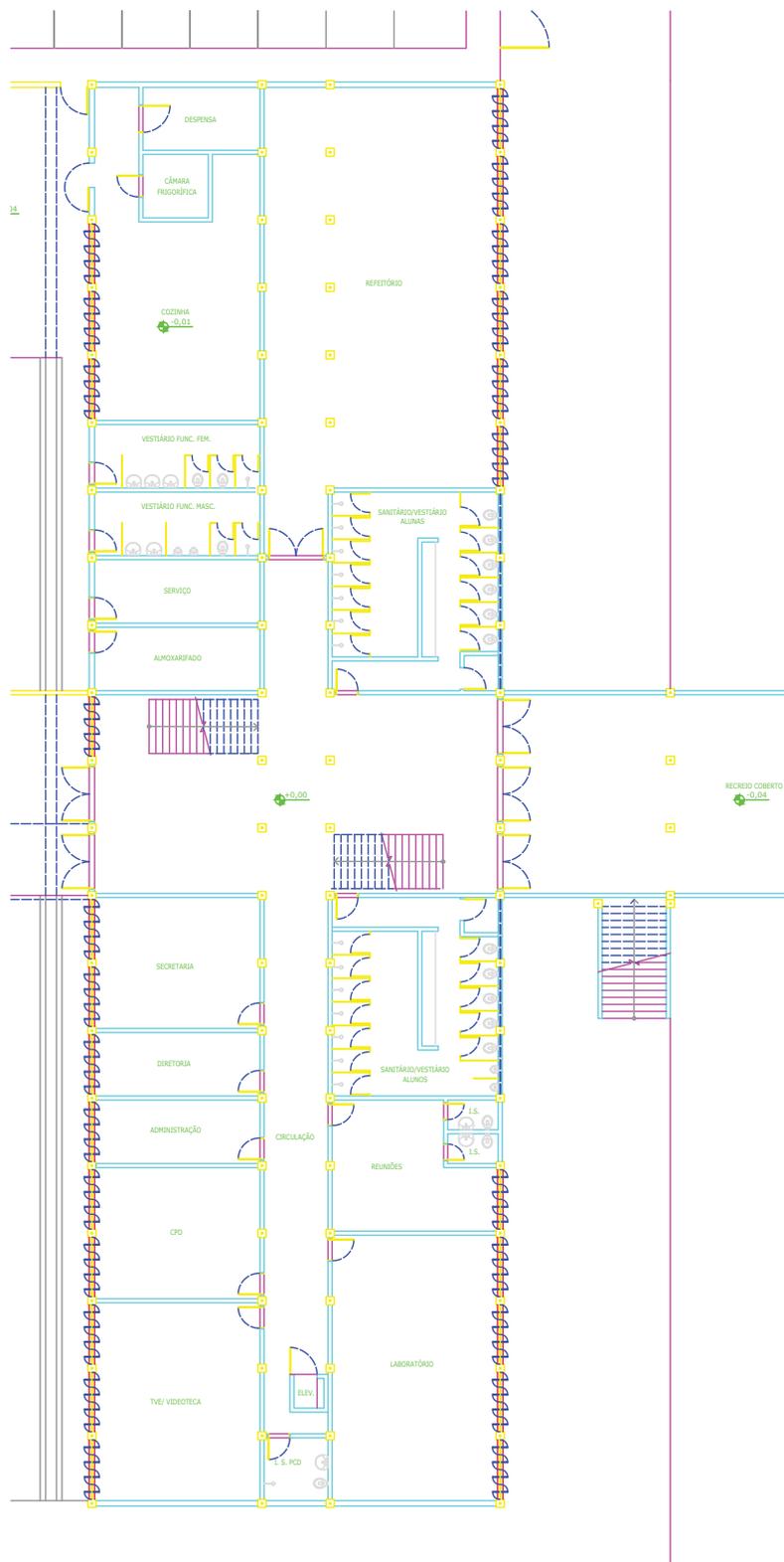
APÊNDICES

APÊNDICE A – PLANTA BAIXA CIVIL VIGENTE PAVIMENTO SUPERIOR - PRÉDIO DA FRENTE



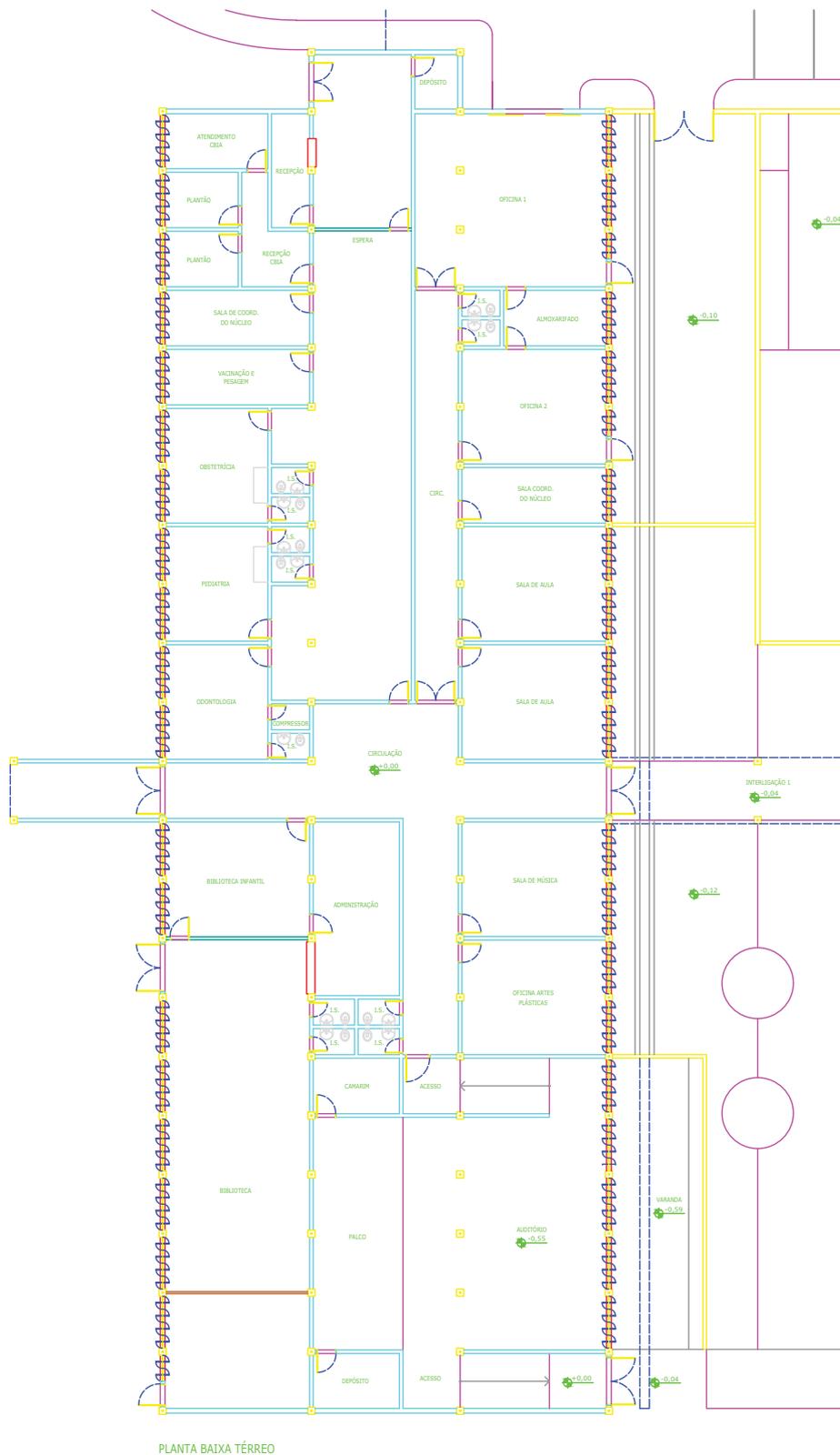
Fonte: elaborado pelo autor (2021).

PAVIMENTO TÉRREO - PRÉDIO DA FRENTE



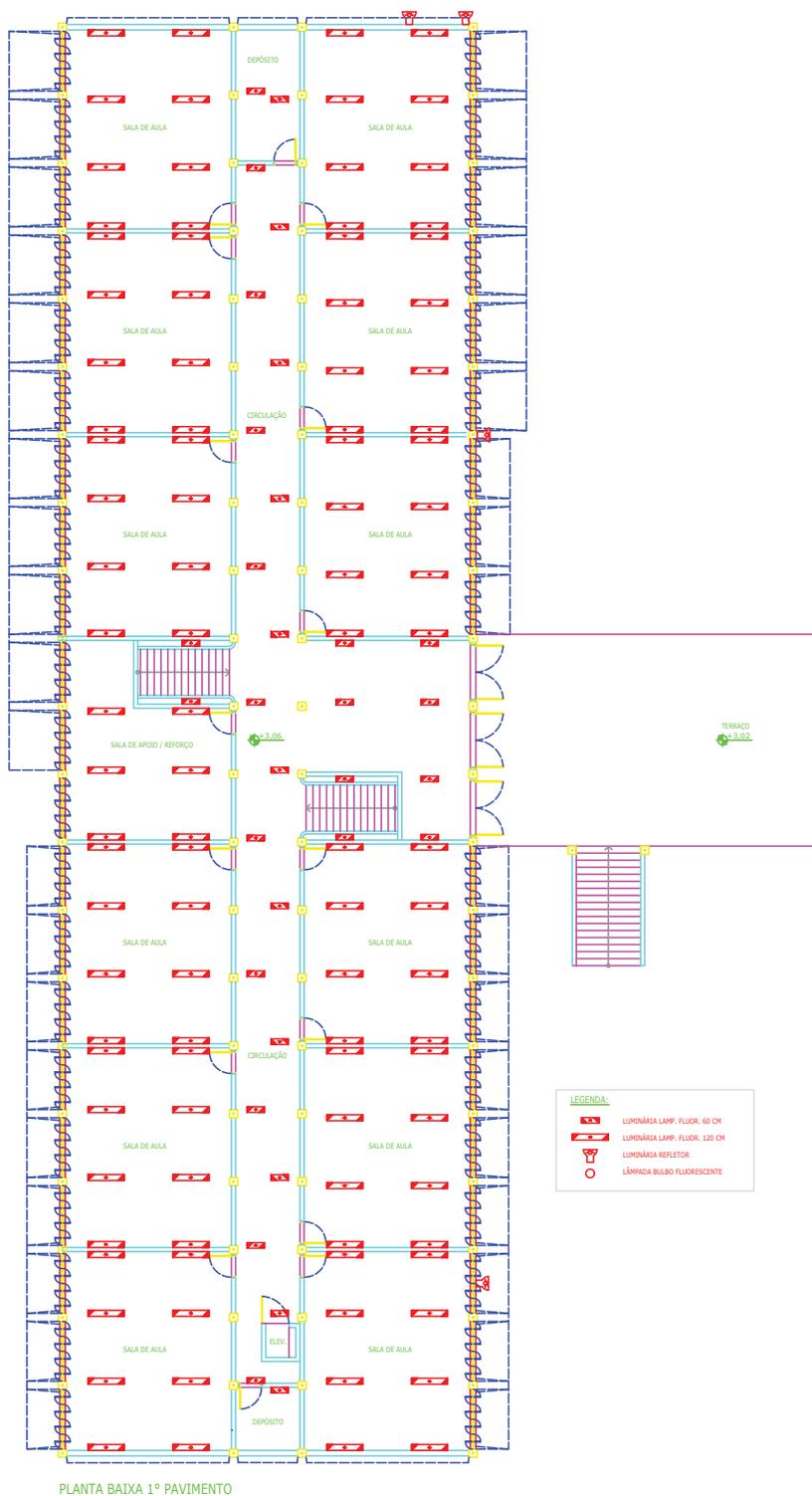
Fonte: elaborado pelo autor (2021).

PAVIMENTO TÉRREO - PRÉDIO DO FUNDO



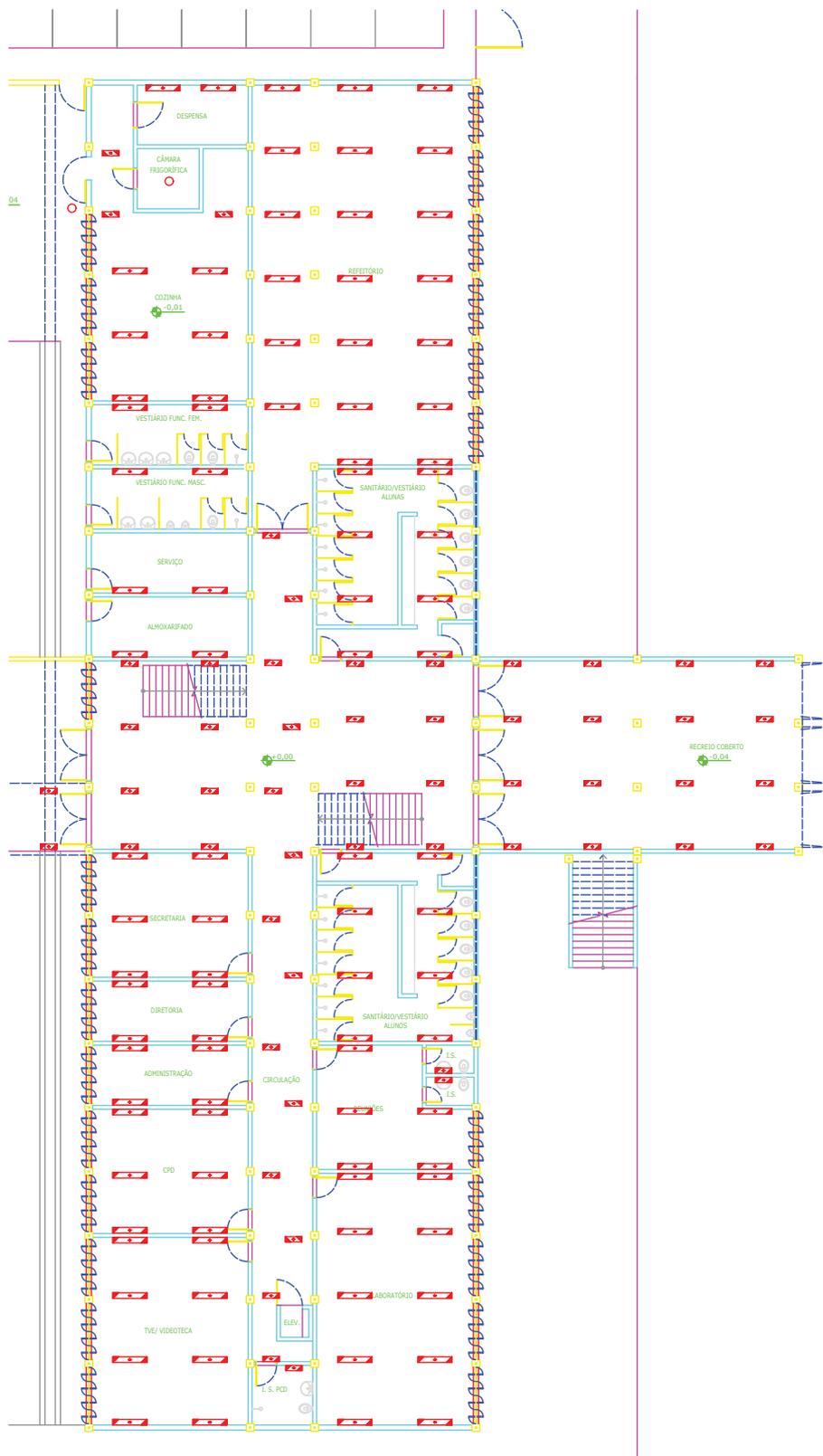
Fonte: elaborado pelo autor (2021).

APÊNDICE B – PLANTA BAIXA LUMINOTÉCNICA VIGENTE
PAVIMENTO SUPERIOR - PRÉDIO DA FRENTE



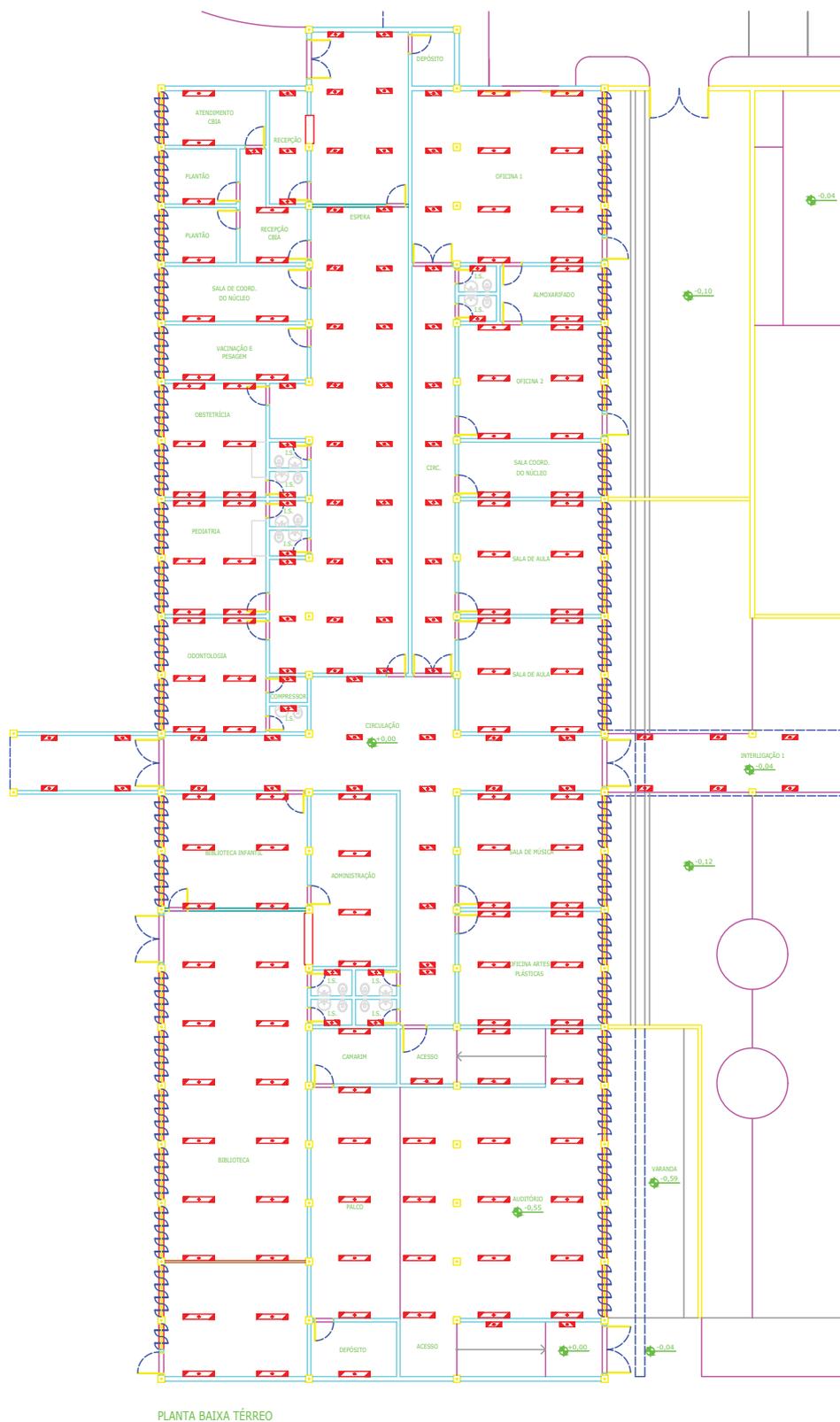
Fonte: elaborado pelo autor (2021).

PAVIMENTO TÉRREO - PRÉDIO DA FRENTE



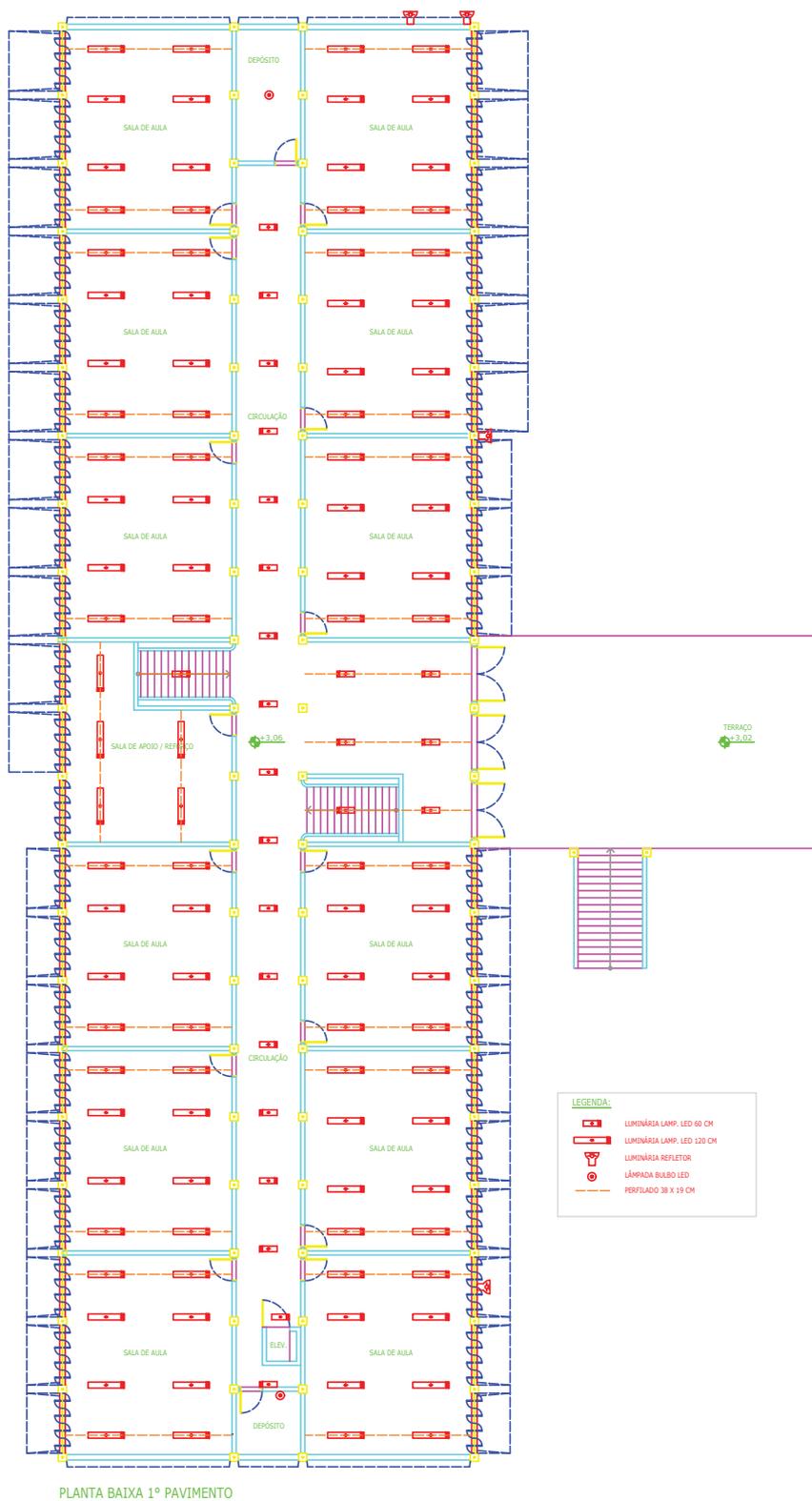
Fonte: elaborado pelo autor (2021).

PAVIMENTO TÉRREO - PRÉDIO DO FUNDO



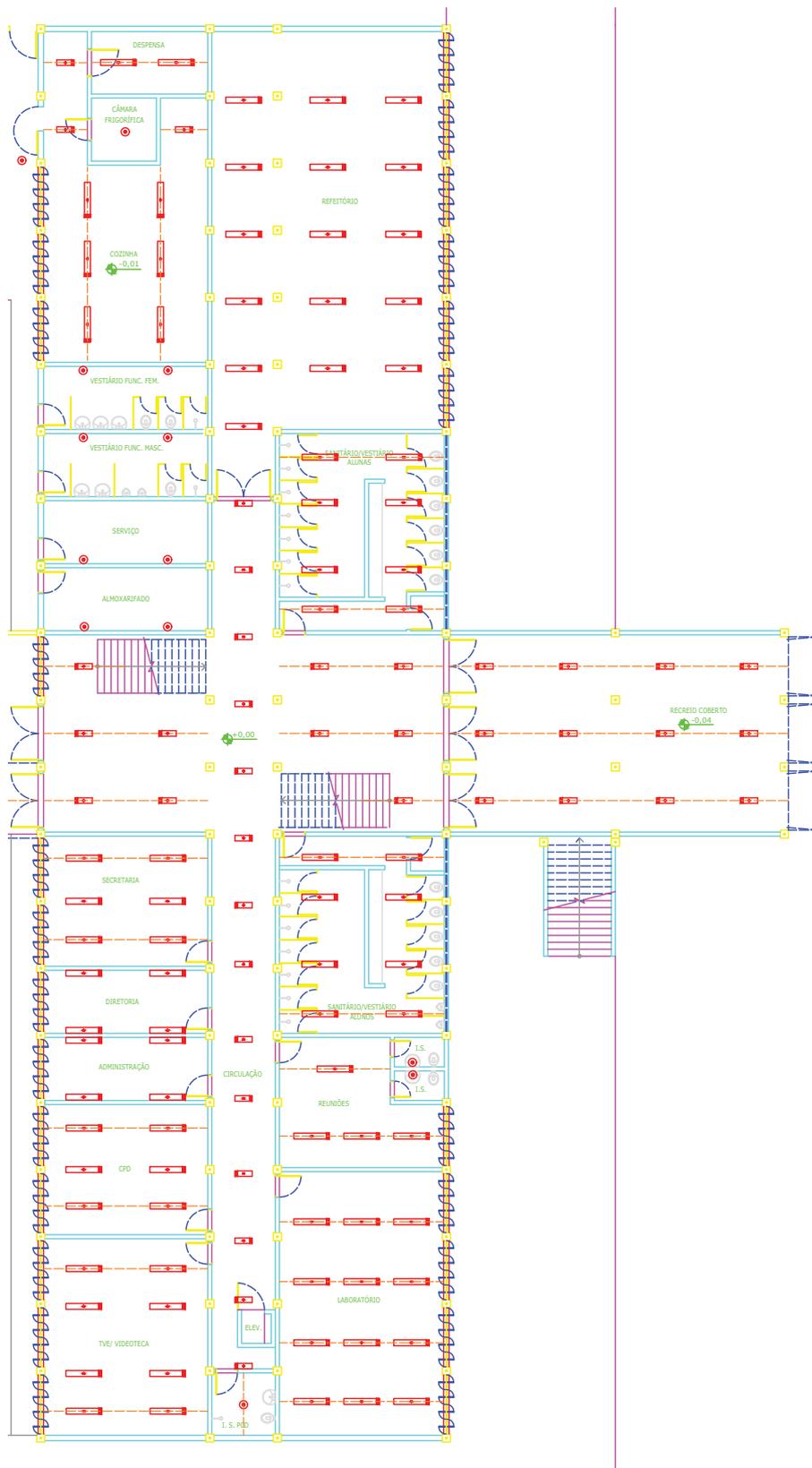
Fonte: elaborado pelo autor (2021).

APÊNDICE C – PLANTA BAIXA LUMINOTÉCNICA PROPOSTA
PAVIMENTO SUPERIOR - PRÉDIO DA FRENTE



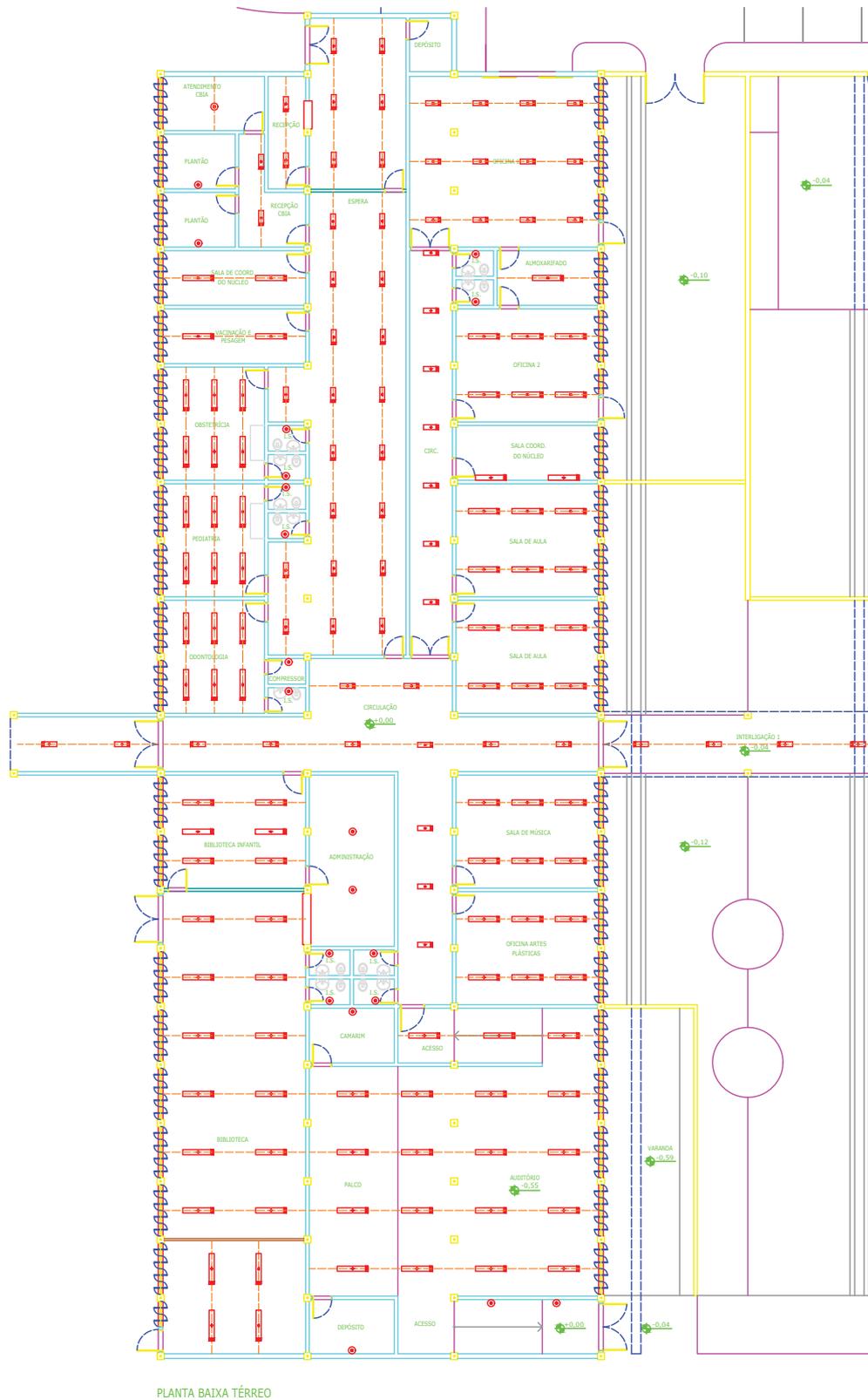
Fonte: elaborado pelo autor (2021).

PAVIMENTO TÉRREO - PRÉDIO DA FRENTE



Fonte: elaborado pelo autor (2021).

PAVIMENTO TÉRREO - PRÉDIO DO FUNDO



Fonte: elaborado pelo autor (2021).

APÊNDICE D – PARÂMETROS DO TETO NO SOFTWARE DOMUS NA SITUAÇÃO VIGENTE

Elem. Construtivos - Cobertura da Sala 10

Camadas dos Elementos

Material +externo	Refino de Malha	Espessura (cm)	Excluir
Laje de concreto (25 cm)	25	25.0	<input type="checkbox"/>
			<input type="checkbox"/>

Material +interno (Sala 10)

Padrões Brasileiros Modelos personalizados

Transmitância Térmica (W/m ² K):	3.54	
Capacitância Térmica (kJ/m ² K):	506.00	
Fator de Calor Solar (FCS)	10.0	
Absortividade Externa (Pintura):	0.73	Tabela
Emissividade Externa:	0.90	
Absortividade Interna (Pintura):	0.40	Tabela
Emissividade Interna:	0.90	

Aplicar a todas as coberturas de todas as zonas

Adicionar/Editar Materiais Cancelar Ok

Fonte: elaborado pelo autor (2021).

APÊNDICE E – PARÂMETROS DO TETO NO SOFTWARE DOMUS NA PROPOSTA COM PINTURA EXTERNA DO TETO

Elem. Construtivos - Cobertura da Sala 9

Camadas dos Elementos

Material +externo	Refino de Malha		Excluir
	25	25.0	
Laje de concreto (25 cm)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Material +interno (Sala 9)

Transmitância Térmica (W/m²K):	<input type="text" value="3.54"/>	
Capacitância Térmica (kJ/m²K):	<input type="text" value="506.00"/>	
Fator de Calor Solar (FCS)	<input type="text" value="5.7"/>	
Absortividade Externa (Pintura):	<input type="text" value="0.40"/>	<input type="button" value="Tabela"/>
Emissividade Externa:	<input type="text" value="0.90"/>	
Absortividade Interna (Pintura):	<input type="text" value="0.40"/>	<input type="button" value="Tabela"/>
Emissividade Interna:	<input type="text" value="0.90"/>	

todas as coberturas

Fonte: elaborado pelo autor (2021).

APÊNDICE F – PARÂMETROS DO TETO NO SOFTWARE DOMUS NA PROPOSTA COM FORRO DE ISOPOR NAS SALAS DE AULA

Elem. Construtivos - Cobertura da Sala 9

Camadas dos Elementos

Material +externo	Refino de Malha		Excluir
	Espessura (cm)		
Laje de concreto (25 cm)	25	25.0	
Camara_Ar_Espessa_Baixa_Emissiv	20	20.0	
EPS	1	2.0	<input checked="" type="checkbox"/>

Material +interno (Sala 9)

Transmitância Térmica (W/m²K):	1.16	
Capacitância Térmica (kJ/m²K):	506.40	
Fator de Calor Solar (FCS)	3.4	
Absortividade Externa (Pintura):	0.73	<input type="button" value="Tabela"/>
Emissividade Externa:	0.90	
Absortividade Interna (Pintura):	0.40	<input type="button" value="Tabela"/>
Emissividade Interna:	0.90	

todas as coberturas

Fonte: elaborado pelo autor (2021).

APÊNDICE G – PARÂMETROS DO TETO NO SOFTWARE DOMUS NA PROPOSTA COM SOLUÇÃO CONJUNTA DE CONDICIONAMENTO

Elem. Construtivos - Cobertura da Sala 9

Camadas dos Elementos

Material +externo	Refino de Malha		Excluir
	Espe	Espe	
	(cm)	(cm)	
Laje de concreto (25 cm)	25	25.0	
Camara_Ar_Espessa_Baixa_Emissiv	20	20.0	
EPS	1	2.0	<input checked="" type="checkbox"/>

Material +interno (Sala 9)

Padrões Brasileiros Modelos personalizados

Transmitância Térmica (W/m²K):	1.16	
Capacitância Térmica (kJ/m²K):	506.40	
Fator de Calor Solar (FCS)	1.9	
Absortividade Externa (Pintura):	0.40	Tabela
Emissividade Externa:	0.90	
Absortividade Interna (Pintura):	0.40	Tabela
Emissividade Interna:	0.90	

Aplicar a todas as coberturas desta zona

Adicionar/Editar Materiais Cancelar Ok

Fonte: elaborado pelo autor (2021).

ANEXOS

ANEXO A – BOLETIM TÉCNICO DA TINTA ACRÍLICA EMBORRACHADA

BOLETIM TÉCNICO



ALESSI ACRÍLICO SUPERIOR EMBORRACHADO 6 EM 1



ALESSI ACRÍLICO SUPERIOR EMBORRACHADO 6 EM 1 foi especialmente desenvolvido para quem busca uma tinta flexível e impermeável que sela, pinta, cobre e previne fissuras, impermeabiliza, tem película elástica, proporciona sensação de maior conforto técnico e acústico aos ambientes que estão sob sua cobertura, podendo ser aplicado em paredes externas em diversas superfícies. Impermeabiliza a superfície impedindo a penetração de umidade evitando problemas como mofo, bolhas e descascamento. Fácil de aplicar, possui ótima cobertura e proporciona aspecto emborrachado, dando a sua casa máxima resistência ao sol, chuva e a maresia com alta durabilidade. É a tinta para quem quer proteger as paredes externas da casa contra as ações do tempo. Por oferecer película elástica, permite que o filme da tinta acompanhe os movimentos de retração e dilatação da parede, evitando que surjam fissuras e deformações. É um produto de alta performance formulado a partir de resinas acrílicas especiais para impermeabilização, proteção e embelezamento de superfícies externas de alvenaria, reboco, blocos e calhas de concreto, telhas de fibrocimento, pré-moldados, tijolos, cerâmicas não esmaltadas, massa acrílica, tubos de PVC dentre outros. **Acabamento:** semi-brilho e fosco.

INFORMAÇÕES TÉCNICAS

CLASSIFICAÇÃO	ABNT 15709 / 11702	TIPO	4.5.8	CATEGORIA	PREMIUM
COMPOSIÇÃO	Emulsão acrílica modificada, pigmentos ativos e Inertes, cargas minerais, coalescente e água.				
CORES DISPONÍVEIS	conforme catálogo de cores além de mais de 1000 cores disponíveis no SISTEMA CORES				
RENDIMENTO	até 51,5m ² para 3,2 litros / até 58m ² para 3,6 litros			m ² /demão/galão	
PESO ESPECÍFICO	1,150 a 1,210			g/cm ³	
SÓLIDOS POR PESO	33 a 44			%	
SÓLIDOS POR VOLUME	22 a 34			%	
VOC	menor que 5			g/litro	
ENSAIO DE TRAÇÃO - FOSCO	até 200			%	
ENSAIO DE TRAÇÃO - SEMIBRILHO	até 800			%	

INFORMAÇÕES DE APLICAÇÃO



APLICAÇÃO

Utilizar rolo de lã, pincel, trincha ou pistola.
Aplicar mínimo 3 demãos de acordo com o estado da superfície



DILUIÇÃO

1º demão - diluir de 20 a 30% com água potável
demais demãos - diluir 10% com água potável



SECAGEM

Ao toque : 2 horas
Entres Demãos: 4 horas
Final : 6 horas

SUAS CARACTERÍSTICAS SERÃO RESGUARDADAS, DESDE QUE SEJA CORRETAMENTE CONSERVADO E UTILIZADO DE ACORDO COM AS INSTRUÇÕES DO FABRICANTE CONSTANTE NA EMBALAGEM. O DESEMPENHO DO PRODUTO, DEPENDE DAS CONDIÇÕES IDEAIS DE PREPARAÇÃO DA SUPERFÍCIE ONDE SERÁ APLICADA E DE FATORES EXTERNOS, ALHEIOS AO CONTROLE DO FABRICANTE, COMO UNIFORMIDADE, ISENÇÃO DE GRAXAS, UMIDADE RELATIVA DO AR, TEMPERATURA E CONDIÇÕES CLIMÁTICAS LOCAIS, CONHECIMENTO TÉCNICO E PRÁTICO DO APLICADOR E EM OUTROS CASOS EXCEPCIONAIS

PREPARAÇÃO DE SUPERFÍCIE

(NORMA ABNT NBR 13245) A SUPERFÍCIE DEVE ESTAR FIRME, COESA, LIMPA, SECA E ISENTA DE POEIRA, GORDURA OU GRAXA, SABÃO, MOFO, FERRUGEM, BRILHO E RESTOS DE PINTURA VELHA. ANTES DE DE INICIAR A PINTURA, OBSERVE AS ORIENTAÇÕES ABAIXO:

Raspe a superfície para remover partes soltas.

Lixe para eliminar o brilho, impurezas e para uniformizar a superfície.

Superfície com graxa ou gordura; limpe com sabão ou detergente neutro, em seguida enxague com água e aguarde a secagem da superfície

Superfície com mofo; Limpe com solução 1/1 de água sanitária com água potável, em seguida enxague com água e aguarde a secagem da superfície

Reboco Novo; Aguardar a secagem total e cura da superfície num prazo mínimo de 28 dias

Reboco Fraco; Aguardar a secagem e cura, aplicar uma demão de Alessi Fundo Preparador de Paredes base água.

Imperfeições na superfície; Corrigir com Alessi Massa Acrílica para área externas

Imperfeições profundas, devesse corrigir com reboco e aguardar a secagem de 28 dias.

Superfícies com umidade; Identificar a origem e trate de maneira adequada para eliminar o problema

Fissuras com até 0,3 mm de abertura: aplicar uma demão como selador o próprio ALESSI ACR SUPERIOR EMBORRACHADO 6EM1 diluído de 20 a 30%

Trinças com abertura maior que 2,5 mm: proceder a abertura da trinca e correção com obra civil. Selar e aplicar acabamento conforme sistema de aplicação.

ADVERTÊNCIA NO USO E MANUSEIO

Manter a embalagem longe do alcance de crianças e animais. Durante a aplicação e secagem, o ambiente deve estar ventilado Evite inalação dos vapores, principalmente na aplicação com pistola, usando mascara protetora, luvas e óculos de segurança apropriados. Ao abrir a embalagem, mexer até a homogeneização.

Manter a embalagem fechada, em local coberto, fresco, seco, ventilado, longe de fontes de calor. Em caso de derramamento, controle com areia. Para obter melhor resultado de aplicação, a Tintas Alessi indica o uso em conjunto de nossa linha de produtos.

Dúvidas e informações acesso nosso site www.alessi.ind.br ou entre em contato através do email: sac@alessi.ind.br

TINTAS ALESSI LTDA

Av. Antônio Taborda, 35 – Bairro Ciman Município de Mandirituba - PR

CEP 83800-000

Caixa Postal: 13075

CNPJ 05.007.043/0001-12

QUÍMICO RESPONSÁVEL: RENATO ARAÚJO CRQ 09200889 – IX Região

REVISÃO

jun/20

Fonte: disponibilizado pela fabricante (2021).