

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
CAMPUS LITORAL NORTE
DEPARTAMENTO INTERDISCIPLINAR
ENGENHARIA DE GESTÃO DE ENERGIA

LUCAS MARTINS WOLKER

**PROPOSTA DE UMA FERRAMENTA DE APOIO À GESTÃO
ENERGÉTICA MUNICIPAL PARA AVALIAÇÃO DO CONSUMO DE
ENERGIA, DESEMPENHO E CONFORTO TÉRMICO E VISUAL DAS
ESCOLAS DE ENSINO BÁSICO DE IMBÉ.**

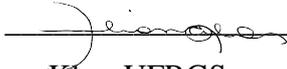
Tramandaí

2020

LUCAS MARTINS WOLKER

PROPOSTA DE UMA FERRAMENTA DE APOIO À GESTÃO ENERGÉTICA MUNICIPAL PARA AVALIAÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA, DESEMPENHO E CONFORTO TÉRMICO E VISUAL DAS ESCOLAS DE ENSINO BÁSICO DE IMBÉ.

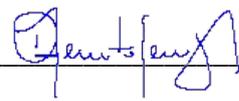
Este trabalho foi julgado adequado para fazer jus aos créditos da atividade de ensino “Trabalho de Conclusão de Curso”, do Departamento Interdisciplinar e aprovado em sua forma final pelo(a) Orientador(a) e pela Banca Examinadora.

Orientador(a): 
Prof. Dra. Juliana Klas, UFRGS
Doutora pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Flávio Vanderlei Zancanaro Júnior, UFRGS
Doutor pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Porto Alegre, Brasil

Prof. Dr. Maurício Carvalho Ayres Torres, UPC
Doutor pela Universitat Politècnica de Catalunya - Espanha

Coordenador COMGRAD-EGE: 
Prof. Dr. Renato Gonçalves Ferraz

Tramandaí-RS, 23 de novembro de 2020.

PROPOSTA DE UMA FERRAMENTA DE APOIO À GESTÃO ENERGÉTICA MUNICIPAL PARA AVALIAÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA, DESEMPENHO E CONFORTO TÉRMICO E VISUAL DAS ESCOLAS DE ENSINO BÁSICO DE IMBÉ.

Lucas Martins Wolker – lucas.wolker@gmail.com

Profª. Dra. Juliana Klas – juliana.klas@ufrgs.br

Universidade Federal do Rio Grande do Sul - Departamento Interdisciplinar

Resumo. Este trabalho descreve o desenvolvimento de uma Ferramenta de Apoio à Gestão Energética Municipal (FAGEM) para avaliação do consumo de energia, desempenho e conforto térmico e visual das escolas de ensino básico do município de Imbé, através da construção de indicadores que reflitam o consumo de energia nas escolas e que avaliem desempenho e o conforto térmico e visual dos usuários dessas edificações. A metodologia empregada neste trabalho é baseada inicialmente em uma revisão bibliográfica sobre Gestão de Energia, programas governamentais de desempenho e eficiência energética e métodos de avaliação do consumo de energia, desempenho e conforto térmico de edificações. A ferramenta foi desenvolvida a partir de uma pesquisa de campo realizada em duas escolas do município, com o levantamento dos dados arquitetônicos/construtivos, ocupação e aplicação de questionários de conforto aos usuários destas edificações, resultando na estruturação e aplicação da ferramenta, desenvolvida em Visual Basic (VBA) no software Excel. Inicialmente a ferramenta apresenta janelas de entradas de dados como consumo de energia elétrica, conforto e desempenho dos ambientes. O tratamento de dados resulta em telas de resumo da edificação, que contém informações gerais e arquitetônicas/construtivas, geração de indicadores de consumo de energia e indicadores térmicos e visuais. A ferramenta ainda disponibiliza, de forma condensada, os dados no painel do gestor para uma avaliação objetiva. Ao final deste trabalho constatou-se que a ferramenta cumpriu o objetivo geral proposto, servindo como suporte à gestão energética municipal, através da construção de indicadores que refletem o consumo de energia nas escolas e que permitem a avaliação do desempenho e o conforto térmico e visual dos usuários das edificações.

Palavras-chave: Gestão de Energia, Gestão Energética Municipal e Indicadores de Consumo, Desempenho e Conforto.

INTRODUÇÃO

A energia elétrica é um recurso fundamental e estratégico para o desenvolvimento das sociedades contemporâneas, envolvendo aspectos econômicos, sociais, políticos e ambientais. De acordo com o relatório final do Balanço Energético Nacional (BEN), ano base 2018, o consumo de energia elétrica no Brasil, entre 2009 e 2018 cresceu aproximadamente 25,67%. No setor público, que atualmente representa 8,2% da energia elétrica consumida no País, para o mesmo período, o crescimento foi de 12,3% (EPE, 2019).

De acordo com a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), responsável pela metodologia de cálculo e fixação das tarifas de energia elétrica, para a classe de consumo Poder Público, o Estado do Rio Grande do Sul possui uma tarifa de 525,55 R\$/MWh, ligeiramente superior à média Nacional. Além disso, no período de dez anos, a tarifa de energia para esta modalidade de consumo praticamente dobrou. (ANEEL, 2018).

Aliado ao aumento da tarifa de energia, o aumento populacional acarreta ao setor público necessidades de investimento em infraestrutura, tais como construção de escolas, unidades de saúde e prédios administrativos para atender às demandas da população. De acordo com dados do Instituto de Geografia e Estatística (IBGE), entre 2009 e 2019, a população no Brasil cresceu aproximadamente 9,75% e no Estado do Rio Grande do Sul o aumento foi de 4,3%. No Município de Imbé, objeto de estudo deste trabalho, o número de habitantes para este mesmo período cresceu aproximadamente 40%. (IBGE, 2009a-b, 2019).

Na esfera pública, a energia elétrica está diretamente ligada ao custo e à qualidade de serviços essenciais à população, como saúde, educação, segurança e lazer. Lamberts (2014), mostra que nos prédios públicos municipais, os maiores vetores de consumo de energia elétrica são os equipamentos de ar condicionado (48%), iluminação artificial (23%) e demais cargas tais como, equipamentos de escritórios e eletrodomésticos em geral (29%). Dessa forma, é apresentada uma proposta para o desenvolvimento e a implementação de uma ferramenta simplificada, que possa ser utilizada pelos gestores públicos, para a avaliação do consumo de energia elétrica nas edificações escolares do município, como forma de apoio à Gestão Energética Municipal (GEM). Além do

consumo de energia a ferramenta possibilita a avaliação o conforto térmico e luminotécnico dos usuários dessas edificações.

O desenvolvimento e implementação de ferramentas de gestão de recursos energéticos podem reduzir esses custos e aumentar a eficiência e a qualidade na prestação destes serviços, auxiliando os gestores a identificar oportunidades de melhoria e facilitando a tomada de decisão, além de reforçar a ideia de um desenvolvimento sustentável, reduzindo os impactos causados pelo consumo ineficiente de recursos. Para realizar a gestão energética municipal é necessário a criação de uma Unidade de Gestão Energética Municipal (UGEM), formada por representantes da prefeitura, que é responsável por organizar os dados de consumo de energia das edificações do poder público, realizar o gerenciamento e o planejamento do consumo e elaborar o Plano Municipal de Gestão de Energia (PLAMGE). O PLAMGE é uma das ferramentas que possibilita aos gestores municipais, atingir metas de economia nos principais centros de consumo dos municípios, através de um diagnóstico detalhado da situação energética (IBAM, 2019).

Motivação e justificativa

A motivação para este trabalho, surge a partir da realização do estágio obrigatório do curso de Engenharia de Gestão de Energia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, realizado na Prefeitura Municipal de Imbé. Durante o período de estágio, percebeu-se a carência de ferramentas de apoio a gestão de energia e de critérios para o dimensionamento e avaliação das instalações elétricas, dos sistemas de iluminação e dos sistemas de ar condicionado. Um dos insumos que, nos últimos anos, vem representando significativo aumento nas despesas públicas é a energia elétrica. Em relação aos custos fixos da PMI, a energia elétrica detém o segundo lugar, com um custo médio mensal superior a meio milhão de reais, ficando atrás apenas da folha de pagamento dos servidores públicos, incluindo-se médicos, professores e contratos. Atualmente a PMI conta com treze secretarias: administração, desenvolvimento social, educação e cultura, fazenda, limpeza urbana, meio ambiente, mulher e direitos humanos, obras e viação, planejamento urbano, saúde, segurança pública, transportes e turismo.

A partir do desenvolvimento de uma ferramenta simples, com a construção de indicadores de consumo e conforto térmico e visual, os gestores municipais poderão identificar pontos de melhoria e economia nas edificações escolares, além de avaliar se as instalações escolares proporcionam aos alunos da rede básica de ensino e aos servidores municipais, ambientes confortáveis para o desenvolvimento de suas atividades.

Objetivos gerais

Desenvolver uma ferramenta, para apoiar a gestão de energia municipal, através da construção de indicadores que reflitam o consumo de energia nas escolas e que avaliem o desempenho e o conforto térmico e visual dos usuários dessas edificações.

Objetivos específicos

- Identificar a percepção dos usuários em relação ao conforto térmico e visual no ambiente escolar;
- Propor a criação de um sistema de *benchmarking* entre as escolas do município;
- Instituir boas práticas de Gestão de Energia nas escolas do município.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Gestão de energia

O termo gestão de energia, pode possuir diversos significados dependendo do contexto em que este é utilizado. Caperhart, Turner e Kennedy (2011) entendem que é o uso eficiente e eficaz da energia para maximizar os lucros (minimizar os custos) e melhorar posições competitivas. Além disso, para os autores, cujo objetivo primário da gestão de energia é maximização dos lucros, existem alguns objetivos secundários com programas de gestão de energia, tais como, aumento da eficiência e redução do uso de energia, redução nas emissões dos gases de efeito estufa, cultivar boas práticas em questões energéticas. Vesma (2009) também entende a gestão de energia com um viés econômico, ele versa que a gestão de energia visa reduzir o custo de energia utilizada por uma organização com o adicional de minimizar as emissões de carbono.

Uma definição mais abrangente e contemporânea em relação a gestão de energia está relacionada com o uso sistemático da gestão e da tecnologia para elevar a performance das organizações. A gestão de energia precisa ser integradora e proativa, incorporando o processo de compra/aquisição de energia, eficiência energética e energias renováveis, para que possa ser realmente efetiva. (CARBON TRUST, 2011).

A gestão de energia, neste trabalho, será tratada como uma ferramenta que pode ser aplicada a qualquer tipo de organização, edificação, sistema e processo, visando a redução de custos, aumento da eficiência e redução dos impactos causados pelo uso intensivo de energia.

Outro entendimento acerca da gestão energética municipal, consiste no conhecimento, planejamento e gerenciamento do uso da energia elétrica de forma eficiente nos centros de consumo dos municípios (IBAM, 2019). Para Trindade e Nunes (2019) a GEM é um conjunto de ações coordenadas e articuladas que visa a redução de custos da energia elétrica nas unidades consumidoras ligadas à prefeitura.

Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL)

O Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL) é um programa do governo criado pela Eletrobras em parceria com o Ministério de Minas e Energia (MME), instituído em 1985 com a finalidade de promover a utilização eficiente da energia elétrica e reduzir o desperdício. Os resultados do programa, além do benefício econômico ao setor elétrico, contribuem para a redução dos impactos ambientais e com o aumento da eficiência dos bens e serviços em diversos setores da economia brasileira (ELETROBRAS, 2019).

Entre os anos de 1986 e 2018, a Eletrobras investiu R\$ 3,11 bilhões nas ações de eficiência energética do Procel, distribuídas em diversos programas, gerando uma economia de energia acumulada de aproximadamente 151,6 bilhões de kWh. Em 2018, a economia de energia representou 4,87% do consumo total de eletricidade no Brasil. O montante economizado de energia foi de 22,99 kWh, o que corresponde ao consumo anual de 12,12 milhões de residências. Além disso, foram evitadas emissões de 1,701 milhões de tCO₂ na atmosfera (ELETROBRAS, 2019).

Os programas desenvolvidos pelo Procel, que fazem parte do escopo desta pesquisa, são brevemente descritos a seguir, são eles:

PROCEL Educação

O Procel Educação desenvolve suas atividades junto às comunidades acadêmica e escolar, desenvolvendo e compartilhando conhecimento científico relacionado à eficiência energética. No ano de 2018, o Procel nas Escolas em parceria com as concessionárias de energia e com a ANEEL, beneficiou 237.995 alunos em 569 escolas através do fornecimento de kits educacionais sobre eficiência energética. Além disso esse programa tem parcerias com laboratórios e centros de excelência de diversas universidades do País, para o desenvolvimento de ensino e pesquisa, resultando na produção e publicação de teses, dissertações, trabalhos de conclusão, artigos e eventos acadêmicos (ELETROBRAS, 2019).

PROCEL Selo

O Selo Procel, instituído em 1993 é o responsável pela maior parte da economia de energia alcançada nas ações do Procel. O programa atua em parceria com laboratórios, universidades e centros de excelência, além de auxiliar o Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO) na condução do Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE). O objetivo principal desse programa é desenvolver critérios e normas técnicas para testes e ensaios para eficiência energética de equipamentos. Através das ações do Selo Procel, desde sua instituição, foram comercializados mais de 34 milhões de equipamentos com Selo de eficiência no Brasil (ELETROBRAS, 2019).

PROCEL Edifica

O principal objetivo principal do Procel Edifica é estimular a aplicação de conceitos de eficiência energética em edificações, visando a redução do consumo de energia. As edificações também podem receber um selo de eficiência energética através do Programa Brasileiro de Etiquetagem de Edificações (PBE Edifica), coordenado pela Eletrobras. O processo de certificação de edificações leva em consideração diversos critérios técnicos que serão tratados nos capítulos posteriores deste trabalho, tais como envoltória, zonas bioclimáticas, sistema de iluminação, sistemas de condicionamento de ar e etc. Desde de 2009 foram emitidas 224 etiquetas para edificações comerciais, de serviço e públicas, além de 5.356 etiquetas para edificações residências. A estimativa de economia de energia, desde 2015, através das ações do Procel Edifica é de 18,93 GWh (ELETROBRAS, 2019).

PROCEL GEM: Gestão Energética Municipal

O Procel GEM, através dos Planos Municipais de Gestão de Energia Elétrica (PLAMGES) e do SIEM, tem por objetivo reduzir os custos com energia elétrica nas UCs da esfera pública, auxiliando os gestores e os ordenadores de despesas a identificar as oportunidades de melhoria e monitorar o consumo de energia em suas

edificações. Como resultado desse processo, os recursos destinados à energia elétrica podem ser investidos em outras áreas essenciais para a sociedade. Desde sua instituição, em 1998, o programa beneficiou diretamente ou indiretamente mais de 519 municípios do País, proporcionando uma economia de energia da ordem de 128,86 milhões de kWh. (ELETROBRAS, 2019). Em junho de 2020 houve um leilão para a contratação do serviço de atualização do Procel GEM e suas ferramentas.

Programa Brasileiro de Etiquetagem de Edificações

Em 1984, o Inmetro iniciou um programa com a finalidade de fornecer aos consumidores informações sobre a eficiência energética de cada produto, estimulando uma comercialização mais consciente. De acordo com o INMETRO, em conformidade com a lei nº 10.295, que estabelecia de forma voluntária programas de etiquetagem, o mesmo passou a estabelecer programas de avaliação da conformidade compulsórios na área de eficiência energética. Assim criaram-se os programas brasileiros de etiquetagem. O PBE Edifica é uma junção do Procel Edifica e do PBE. Dependendo do critério a ser avaliado, a etiqueta fornecida recebe nomes diferentes, por exemplo, quando o foco é a eficiência energética de um produto ou edificação, ela se chama Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE), conforme mostrado na figura 1.

Figura 1 - Modelo de etiqueta ENCE.



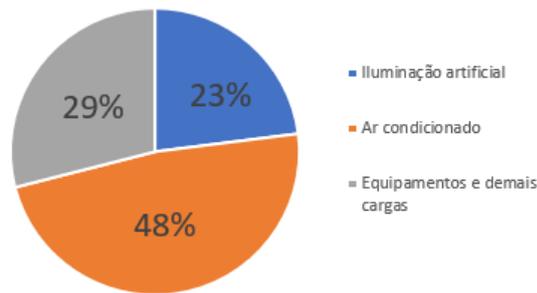
Fonte: Procel (2019)

O Regulamento Técnico da Qualidade de edificações Comerciais, de Serviço e Públicos (RTQ-C), classifica as edificações através da eficiência energética, em um sistema de 5 níveis que varia de A, cujo equivalente numérico é 5, para os edifícios mais eficientes até E para os menos eficientes com um equivalente numérico de 1. A etiqueta, avalia a envoltória da edificação, o sistema de iluminação e sistema de condicionamento de ar. Além disso, existem critérios de bonificação para elevar o nível de eficiência e pré-requisitos que podem limitar a eficiência energética da edificação. (ELETROBRAS, 2013).

Avaliação do Consumo de Energia de Edificações

Conforme visto na seção 1, o consumo de energia em edificações públicas é, em geral, decorrente da iluminação artificial, climatização de ambientes e demais cargas, que englobam equipamentos de escritório, eletrodomésticos e etc. A figura 2 mostra os percentuais de cada carga na composição total do consumo de energia por uso final.

Figura 2 – Consumo de energia por uso final em edificações públicas.



Fonte: Adaptado do PROBEN (2017).

Morales (2007), faz uma ampla revisão de indicadores de consumo de energia elétrica como ferramentas de apoio à gestão e enfatiza que estes indicadores podem auxiliar a identificação de pontos de economia e a entender comportamento de consumo dos usuários das edificações. O autor divide indicadores em dois grupos: indicadores globais, utilizados na fase inicial da caracterização da instalação, para avaliar o consumo de energia elétrica de maneira geral e indicadores específicos, que avaliam a utilização de energia elétrica de determinada edificação levando em consideração aspectos construtivos, de ocupação e usos finais.

Souza (2005), traz dois índices amplamente utilizados para comparar o uso de energia em edificações, que desenvolvem os mesmos tipos de serviços ou atividades. Porém a autora ressalva que para fins de comparação, o uso de energia deve ser reduzido para uma base comum. O Índice de Uso de Energia por Área (IUEA), avalia o uso de energia na edificação, por um determinado período em função da área em m². O Índice de Uso de Energia por Pessoa (IUEP) avalia a quantidade de energia consumida na edificação, em um determinado período, por usuário da edificação.

Para que os gestores municipais possam avaliar o consumo de energia nas edificações, de forma objetiva, é necessário que os indicadores desenvolvidos possam relacionar o uso de energia com variáveis relevantes e aplicadas à realidade da edificação. Além disso, diversos aspectos do projeto arquitetônico das edificações, quando mal dimensionado ou aplicados para regiões com climas diferentes do local do projeto, podem trazer impactos no consumo energético dos sistemas de ar condicionado e iluminação.

AVALIAÇÃO DO CONFORTO TÉRMICO DE AMBIENTES

Para Lamberts (2014) a sensação de conforto dos usuários de determinada edificação está relacionada com a temperatura do ambiente, nível de iluminância e níveis de ruído. Devido à forte relação entre o nível de conforto e o consumo de energia em edificações o estudo dessas condições torna-se bastante relevante.

O conforto térmico é uma condição da mente, subjetiva, relacionada com a satisfação do ser humano com a temperatura ambiente. A condição de conforto ou o sentimento de satisfação é um processo cognitivo que envolve diversos aspectos e é influenciado pelas condições físicas, fisiológicas e psicológicas dos indivíduos. (ASHRAE, 2017).

Lamberts (2014) entende que o conforto térmico, é um conceito subjetivo pois engloba diversos fatores e variáveis. Pesquisadores buscam formas de estudar e simplificar este conceito para que se possa compreender e até prever quando haverá conforto ou desconforto em determinado ambiente.

Um dos métodos mais conhecidos e aceitos, utilizado para identificar a sensação térmica das pessoas e que foi adotado pela norma ISO 7730 (2005), trata das condições de conforto térmico para ambientes termicamente moderados, é o *Predicted Mean Vote* (PMV) ou Voto Médio Predito (VMP). Este método foi desenvolvido a partir de uma experiência com 1300 pessoas, relacionando-se as variáveis ambientais e as condições dos indivíduos. Dessa experiência, o pesquisador desenvolveu uma equação para estimar a sensação térmica média de um determinado grupo de pessoas Fanger (1982). A escala dos votos de sensações térmicas é a seguinte:

- + 3 – muito calor
- + 2 – calor
- + 1 – leve calor
- 0 – Conforto
- 1 – leve frio
- 2 - frio
- 3 - muito frio

O PMV é um equivalente numérico que traduz a sensibilidade humana ao frio e ao calor. O modelo foi desenvolvido por meio de experimentos realizados em laboratório na década de 1970 e tem como propósito prever a sensação térmica média dos usuários de um determinado ambiente e o percentual de insatisfeitos com as condições térmicas deste (*Predicted Percentage Dissatisfied* – PPD).

AVALIAÇÃO DO CONFORTO VISUAL DE AMBIENTES

O conforto visual é outro ponto importante a ser considerado, em termos de iluminação interna das edificações, pois está diretamente relacionado com o desempenho das atividades realizadas nestes ambientes. Analogamente à questão térmica, a condição de conforto visual é um conjunto de condições, em determinado ambiente, no qual pode-se realizar uma determinada tarefa visual, com o máximo de acuidade, precisão e menor esforço, além de reduzir o risco de acidentes. Algumas das condições a serem consideradas quando o conforto visual é avaliado, são: iluminância suficiente, distribuição de iluminâncias, ausência de ofuscamento, proporção de luminâncias (Lamberts, 2014).

No cenário brasileiro, existem algumas normas que tratam dos requisitos de iluminação de ambientes. A NBR 15.215 (2005) descreve os procedimentos de cálculo para a determinação da quantidade de luz natural incidente em um determinado ponto em um plano horizontal, através das aberturas presentes na edificação, tanto para a etapa de projeto como para a avaliação de edificações existentes. A NBR 15.575 (2013), voltada apenas para edificações habitacionais/residenciais, estabelece requisitos tanto para a iluminação natural, quanto para a artificial, definindo níveis mínimos de iluminância por ambiente e critérios de avaliação na etapa de projeto e após a ocupação. A ABNT NBR ISO/CIE 8995-1 (2013), voltada para ambientes de trabalho, especifica os requisitos de iluminação para ambientes dos internos, para que as pessoas desempenhem tarefas visuais de maneira eficiente, com conforto visual e segurança durante todo o período de trabalho.

Uma boa iluminação, permite que as pessoas vejam, se movam com segurança e desempenhem suas tarefas visuais de maneira eficiente, precisa e segura. A iluminação pode ser de fonte artificial, natural ou uma combinação de ambas. A fim de satisfazer as condições de conforto visual, alguns dos principais parâmetros que contribuem para uma boa iluminação e que devem ser avaliados em projetos construtivos são: iluminância, ofuscamento, direcionalidade da luz, luz natural, manutenção e etc.

De acordo com a ABNT NBR ISO/CIE 8995-1 (2013), o planejamento dos ambientes, das tarefas e das atividades desempenhadas nos ambientes internos deve ser realizado em função da iluminância, limitação de ofuscamento e da qualidade da cor. A Iluminância (Em), medida em LUX, deve ser medida em pontos específicos em áreas pertinentes à tarefa e as leituras não podem ser inferiores às calculadas ou simuladas. O índice de ofuscamento (UGRL) deve ser fornecido pelo fabricante da luminária, assim como o índice de reprodução de cor (IRC). A tabela 2, exemplifica os valores de projeto de iluminância (Em), índice de ofuscamento global limite (UGRL) e índice de reprodução de cor (IRC ou Ra) solicitados pela norma para edificações escolares.

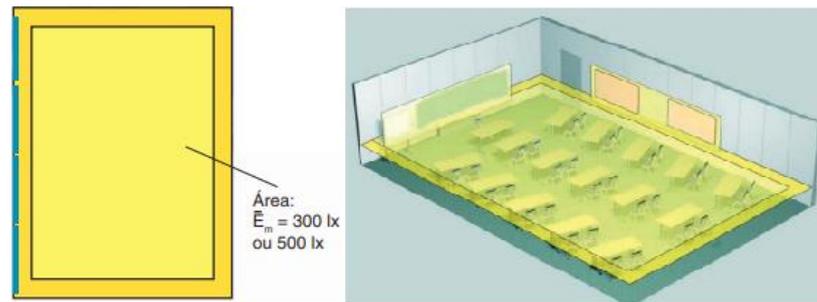
Tabela 2 – Valores de projeto para iluminância e IRC.

Construções educacionais	Em (LUX)	UGRL	Ra	Observações
Brinquedoteca	300	19	80	
Berçário	300	19	80	
Sala dos profissionais do berçário	300	19	80	
Salas de aula, salas de aula particulares	300	19	80	Recomenda-se que a iluminação seja controlável
Salas de aulas noturnas, classes e educação de adultos	500	19	80	

Fonte: adaptado da ABNT NBR ISO/CIE 8995-1.

A área de iluminação em uma sala onde o arranjo das mesas e a localização das áreas de tarefa é desconhecida na etapa de projeto está indicada a figura 4, com a planta baixa a esquerda e a perspectiva a direita. Uma faixa marginal de largura 0,5 m é ignorada. Os valores de iluminância mantida são de 300 lux para escolas primárias e secundárias e 500 lux para aulas noturnas e educação de adultos.

Figura 4 – Exemplo de estudo luminotécnico de uma sala de aula.



Fonte: ABNT NBR ISO/CIE 8995-1.

O estudo realizado por Barrett *et al.* (2015), mostra que, das condições ambientais o nível de iluminação, ou conforto visual, é o que representa maior impacto no desempenho e desenvolvimento das atividades escolares. O trabalho foi desenvolvido, estudando-se diversas variáveis tais como, nível de iluminação natural das salas de aulas, cores das paredes, presença de ruído, qualidade das instalações das escolas (banheiros, refeitório, área de lazer), e o impacto dessas condições do ambiente no progresso acadêmico dos alunos.

METODOLOGIA E DESENVOLVIMENTO DA FERRAMENTA

Delimitações do estudo

A ferramenta foi desenvolvida, inicialmente, para avaliar edificações escolares, cujos perfis de consumo e ocupação são bem definidos, porém, pode servir de base para avaliar edificações fora do escopo da educação, todavia os resultados devem ser avaliados criteriosamente pois podem divergir de situações reais.

Contexto do Município de Imbé

Em 1988, através da Lei nº8.600, promulgada pelo então Senhor Governador Pedro Simon, cria-se o município de Imbé, que inicialmente era parte integrante do município de Tramandaí. Em 15 de novembro de 1988 foi eleito o primeiro prefeito de Imbé Sr. João Carlos Wender, e o vice-prefeito Sr. Pedro Jurandir Vedovato. A instalação do novo município ocorreu em 01 de janeiro de 1989. De acordo com o Censo IBGE 2016, o município possui 20.294 habitantes em um território de 15km de extensão com uma área aproximada de 39.549 km², que através da Lei Municipal 118/91, divide-se em 26 bairros. A economia do município é baseada em atividades de turismo e construção civil.

O Centro Administrativo Municipal, sede do poder público municipal, concentra as atividades tributárias, jurídicas, administrativas e de planejamento realizadas pela PMI. Desde sua fundação, a prefeitura municipal expandiu suas atividades e atualmente conta com mais de 60 edificações que desenvolvem atividades para poder público municipal, que correspondem aos serviços de educação, saúde, segurança, dentre outros.

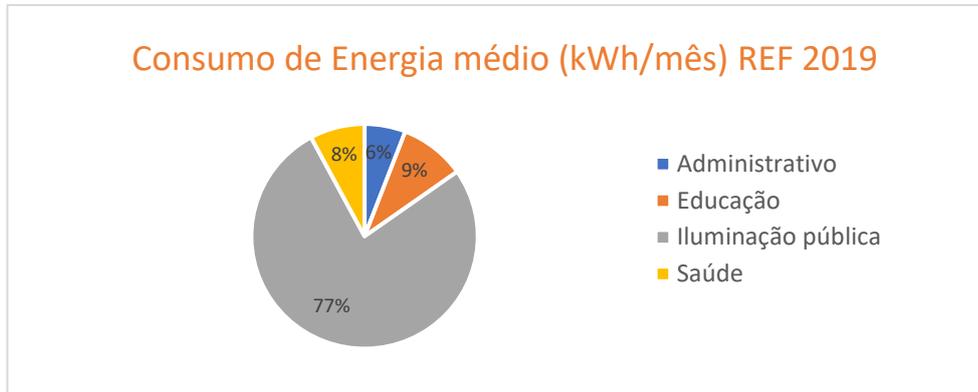
Consumo de energia por serviço oferecido pelo Município

A partir do levantamento das faturas de energia elétrica das Unidades Consumidoras (UCs), na base de dados da concessionária de energia elétrica, cadastradas em nome da PMI, é possível identificar a parcela de consumo e consequentemente o custo com energia ao erário municipal em função dos serviços básicos desenvolvidos. A tabela 3 e a figura 5, mostram a média dos dados coletados utilizando-se como referência o ano de 2019.

Tabela 3 – Consumo de energia médio (kWh-méd./Mês) em função dos serviços oferecidos, Ref. 2019.

Consumo de Energia municipal médio (kWh/mês). REF 2019	
Administrativo	34.788,57
Educação	55.672,50
Iluminação pública	456.684,07
Saúde	46.521,14

Figura 5 – Distribuição percentual do consumo de energia por serviços oferecidos.



Percebe-se que o serviço de educação é responsável por 9% do custo médio mensal com energia para a PMI, o que representa um custo anual ligeiramente superior a meio milhão de reais. Cabe salientar, que este valor está relacionado apenas com o consumo de energia elétrica, não sendo considerado custo com demanda contratada, multas e adicionais de bandeira.

Estrutura da ferramenta

A figura 6 mostra a estrutura geral da ferramenta desenvolvida, identificando o fluxo de entrada, programação, saída e gestão dos dados. Ao longo deste capítulo cada um dos itens mostrados neste diagrama é abordado com maiores detalhes.

Figura 6 – Diagrama da estrutura do fluxo de dados da ferramenta.



Descrição da metodologia e avaliação dos parâmetros

Este trabalho foi baseado em pesquisa bibliográfica e pesquisa de campo. A pesquisa bibliográfica se deu a partir de consultas em artigos, teses, publicações de órgãos governamentais e documentações de ferramentas e softwares de análise de consumo de energia e simulações termo energéticas. A pesquisa de campo foi realizada junto as escolas Jardelino Peroni e Norberto Cardoso, do município de Imbé, realizando-se o levantamento dos dados da edificação, como arquitetura e aspectos construtivos, localização e posição solar, contas de energia elétrica, ocupação e equipamentos elétricos.

A avaliação do consumo de energia, neste trabalho, tem como objetivo identificar quais são os principais elementos de consumo de energia nas edificações e utilizar os indicadores de consumo citados anteriormente para permitir a identificação das atividades/processos que utilizam a maior parcela de energia elétrica e desenvolvimento de estratégias de redução de custos e efficientização das edificações. Para tanto, foram executadas as seguintes etapas:

- Realizar o levantamento das faturas de energia elétrica (histórico de consumo de energia, demanda de potência, tipo de consumidor e tensão de fornecimento).

- Realizar o levantamento dos equipamentos (tipo, potência e estimativa de tempo de uso)
- Verificar e comparar o consumo de energia elétrica entre as escolas através dos indicadores desenvolvidos.

Os indicadores desenvolvidos são:

- **Consumo de energia por área total da edificação**

O consumo de energia por área total de edificação poderá ser utilizado como um indicador geral de consumo que engloba todas as atividades desenvolvidas na escola, permitindo aos gestores a criação de ranqueamento inicial. Os demais indicadores desenvolvidos podem servir como base para avaliar o consumo de energia em função do desenvolvimento de atividades/processos específicos.

$$CA_t = \frac{\sum E \cdot t}{A_t}, kWh/m^2 \quad (1)$$

Onde:

CA_t é o indicador consumo de energia por área total da edificação;

E é a energia consumida;

t é o período de tempo analisado; e

A_t é a área total da edificação.

- **Consumo de energia por área das salas de aula**

$$CA_e = \frac{\sum E \cdot t}{A_s}, kWh/Sala \quad (2)$$

Onde:

CA_e é o indicador consumo de energia por área da edificação utilizada para o ensino;

E é a energia consumida;

t é o período de tempo analisado; e

A_s é a área das salas de aula.

- **Consumo de energia por aluno**

$$CA = \frac{\sum E \cdot t}{N_a}, kWh/Aluno \quad (3)$$

Onde:

CA é o indicador consumo de energia por aluno;

E é a energia consumida; e

t é o período de tempo analisado; e

N_a é o número de alunos atendidos durante o período t.

- **Consumo de energia por servidor**

$$CS = \frac{\sum E \cdot t}{N_s}, kWh/Servidor \quad (4)$$

Onde:

CS é o indicador consumo de energia por servidor;

E é a energia consumida; e

t é o período de tempo analisado; e

N_s é o número de servidores presentes na edificação ao longo do período t.

- **Consumo de energia por turma**

$$CS = \frac{\sum E \cdot t}{N_t}, kWh/Turma \quad (5)$$

Onde:

CS é o indicador consumo de energia por turma;

E é a energia consumida; e

t é o período de tempo analisado; e

N_t é o número de servidores presentes na edificação ao longo do período t.

- **Consumo de energia por uso de iluminação artificial**

$$C_{si} = \frac{\sum E.t}{lm}, kWh/Win \quad (6)$$

Onde:

C_{si} é o indicador consumo de energia por potência luminosa instalada;

E é a energia consumida; e

t é o período de tempo analisado; e

lm é a potência luminosa total instalada na edificação

• **Consumo de energia por uso de ar condicionado**

$$C_{sa} = \frac{\sum E.t}{BTU}, kWh/BTU \quad (7)$$

Onde:

C_{sa} é o indicador consumo de energia por capacidade instalada em BTU;

E é a energia consumida; e

t é o período de tempo analisado; e

BTU é potência de refrigeração total instalada na edificação.

• **Consumo de energia por área de aberturas**

$$C_{aa} = \frac{\sum E.t}{A_{ab}}, kWh/m^2 \quad (8)$$

Onde:

C_{aa} é o indicador consumo de energia por área de abertura nas fachadas;

E é a energia consumida; e

t é o período de tempo analisado; e

A_{ab} é a área total de aberturas presentes nas fachas da edificação.

Neste trabalho, a avaliação do conforto e do desempenho térmicos nas escolas, tem por objetivo identificar e proporcionar aos gestores e responsáveis, como os usuários (professores, funcionários e alunos), se sentem em relação à infraestrutura das edificações em termos de conforto e como este quesito pode ser melhorado. Além disso a avaliação, não tem como objetivo prever o nível de conforto dos usuários, mas verificar a percepção destes, em relação ao nível de conforto proporcionado quando inseridos nesses ambientes, através de uma pesquisa *in loco*, que resulte em indicadores de qualidade. A partir destes indicadores, pode-se desenvolver estratégias de melhoria de conforto baseadas na comparação com as edificações que desenvolvem atividades semelhantes. Para tanto, foram utilizados os seguintes métodos:

- Verificar se o percentual de aberturas das fachadas possui relevância no nível de conforto dos usuários.
- Verificar em cada ambiente, caso climatizado artificialmente, a temperatura média programada nos equipamentos de ar condicionado e verificar o nível de satisfação dos ocupantes.
- Utilização de uma adaptação da escala de conforto térmico da Ashrae, no questionário aplicado, para construção de um ranqueamento entre as edificações escolares a fim de identificar as prioridades da gestão municipal em termos de atuação nessas edificações.
- Verificar a satisfação dos usuários, em termos de conforto térmico, para verificar quais edificações escolares possuem o menor e o maior percentual de pessoas satisfeitas ou insatisfeitas, respectivamente.
- Em conjunto com a avaliação do consumo de energia dos sistemas de ar condicionado, o desempenho dos sistemas também será avaliado em função da eficiência dos equipamentos, conforme a descrição da metodologia utilizada o manual do RTQ-C do Procel Edifica.

A avaliação do conforto visual dos ambientes escolares, neste trabalho, tem como objetivo identificar quais dos parâmetros citados anteriormente tem maior ocorrência como causador de desconforto nos usuários das edificações e como os usuários se sentem em relação ao nível de conforto visual do ambiente em que estão inseridos. A partir dessa avaliação, serão desenvolvidos indicadores de desempenho e conforto dos sistemas de iluminação, que servirão de base para estratégias de melhoria das edificações e aumento do conforto das salas de aula da rede de ensino municipal. Para tanto, foram executadas as seguintes etapas:

- Verificar nos ambientes iluminados artificialmente, se em dias nublados a quantidade de lâmpadas/luminárias, é capaz de tornar o ambiente adequado às normas de iluminação.

- Avaliar se as aberturas presentes na edificação, são suficientes para permitir a entrada de iluminação natural do ambiente e se a iluminação natural é suficiente para tornar o ambiente agradável.
- Verificar quais parâmetros relacionados ao conforto visual são os motivos de desconforto mais recorrentes.
- Avaliar, através de indicadores, a tecnologia utilizada, eficiência e o consumo de energia do sistema de iluminação.

Coleta de dados de equipamentos e ocupação.

A coleta de dados foi realizada, *in loco*, inicialmente, em duas escolas na rede de ensino, a E.M.E.I Jardelino Peroni e a E.M.E.F Manoel Mendes. O formulário para o levantamento de dados dos equipamentos e o questionário de avaliação do conforto dos ambientes, foram desenvolvidos através de uma adaptação, do trabalho desenvolvido por Souza (2015), publicado pela ANEEL e constantes nos anexos deste trabalho.

Para a construção da ferramenta, as informações solicitadas no formulário de levantamento de dados dos equipamentos e ocupação são:

- Número de usuários da edificação (Professores, servidores e alunos);
- Área construída, área das fachadas, área de aberturas;
- Tipos de Cobertura, paredes e aberturas;
- Equipamentos de uso geral, por ambiente: (Finalidade, potência ativa e estimativa de tempo de uso);
- Equipamentos de Ar Condicionado, por ambiente: (Modelo, Capacidade de refrigeração, Eficiência, Tensão, Corrente e Consumo estimado);
- Sistema de Iluminação, por ambiente: (Tecnologia/Tipo, potência, Eficiência luminosa, Fator de Potência, Índice de Reprodução de Cor, Temperatura de Cor Correlata).

Coleta de dados para conforto térmico e visual.

Os dados de entrada para a avaliação do conforto térmico e visual das edificações, obtidos através dos questionários, são:

Conforto térmico

- Classificação do ambiente em termos de conforto térmico, através de uma escala;
- Verificar se o ambiente possui condicionamento artificial de ar e a temperatura que geralmente é programada o equipamento;
- Verificar, através do questionário, se o ambiente possui ventilação natural e se a ventilação natural é suficiente para tornar o ambiente agradável;
- Verificar se o usuário da edificação sente algum tipo de desconforto térmico e coletar uma breve descrição sobre o desconforto;

Conforto Visual

- Classificação do ambiente em termos de iluminação, através de uma escala de nível de iluminação;
- Verificar se o ambiente iluminado artificialmente é confortável;
- Verificar, através do questionário, se há iluminação natural e se esta é suficiente para tornar o ambiente agradável;
- Verificar a quantidade e posição das lâmpadas
- Verificar a existência e quantidade de janelas e cortinas e como se relacionam com o conforto do ambiente;
- Verificar se o usuário da edificação sente algum tipo de desconforto visual e coletar uma breve descrição sobre o desconforto;

Desenvolvimento da ferramenta em Visual Basic

A ferramenta foi desenvolvida no software Microsoft Excel, através da linguagem de programação *Visual Basic for Applications* (VBA), essa linguagem permite utilizar diversos recursos de programação, em aplicações no Microsoft Office por exemplo. A escolha pelo VBA se deu pela abundância de documentação disponível em fóruns e manuais, acesso ao software Excel e por se tratar de um método amigável e intuitivo. A figura 7, mostra a modelagem do objetivo da Ferramenta de Apoio a Gestão Energética Municipal.

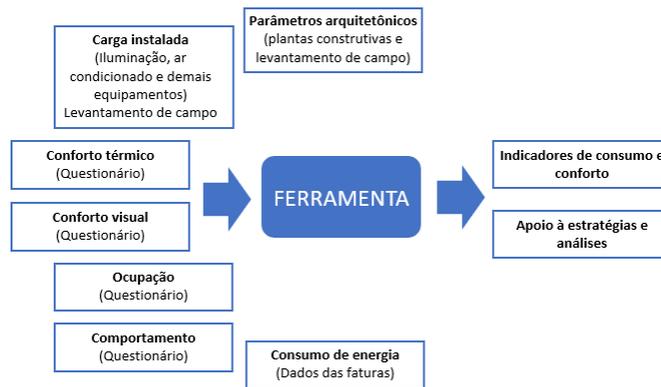


Figura 7 – Modelagem da ferramenta.

RESULTADOS

Cadastro de informações

O cadastro das informações é realizado através de um *userforms* (janela de entrada de dados), o usuário insere as informações desejadas e seleciona algum dos botões disponíveis. Inicialmente são inseridas algumas informações básicas para o cadastramento da edificação, conforme a figura 8.

```

Private Sub UserForm_Initialize ()
Planilha1.Select
End Sub
Private Sub fecha_cadastro_Click()
Unload Cadastro
Planilha4.Select
End Sub
Private Sub grava_cadastro_Click()
linha = Range("A100").End(xlUp).Row + 1
Cells(linha, 1) = TUC.Value
Cells(linha, 2) = TNOME.Value
Cells(linha, 3) = TEND.Value
Cells(linha, 4) = TRESP.Value
If OPEDU.Value = True Then
Cells(linha, 5) = "Educação"
End If
If OPS.Value = True Then
Cells(linha, 5) = "Saúde"
End If
If OPA.Value = True Then
Cells(linha, 5) = "Administrativo"
End If
End Sub
    
```

Figura 8 – Userforms para cadastro das informações iniciais.

O código executado por este *userforms*, indica como é o funcionamento da ferramenta. Ao abrir o cadastro da edificação, uma determinada planilha é selecionada, os valores preenchidos nas caixas de entrada de dados, são gravados em lugares pré-determinados dessa planilha, tomando a forma de um banco de dados. Dessa forma o acesso e a manipulação destes dados são bastante simplificados. Um ponto negativo do VBA é a quantidade de linhas necessárias para que a ferramenta execute determinada tarefa, diferentemente de linguagens de mais alto nível. Um exemplo é a programação que foi realizada nos *userforms* dos indicadores gerados pela ferramenta somando mais de 200 linhas de código para cada um deles.

A segunda etapa de cadastro das informações é oriunda dos questionários e dos levantamentos de campo realizados conforme a figura 9. Esta seção foi dividida em informações gerais e informações arquitetônicas/construtivas, cujos dados são utilizados na construção dos indicadores e no auxílio do desenvolvimento de estratégias de melhorias. Além disso, este *userforms* permite a seleção da cor das fachadas, cobertura e tipos de paredes e vidros, que são características presentes nas plantas construtivas das edificações.

As informações de cores, tipos de paredes, coberturas e vidros, são importantes para posteriores modelagens termo-energéticas, pois de acordo com a seleção do usuário, para cada edificação existem valores vinculados de absorvâncias, transmitâncias térmicas e capacidades térmicas dos materiais.

Insira as informações da edificação.

Selecione a edificação:

Informações gerais

Rede de ensino: Ensino infantil Ensino básico

Número de servidores: Número de alunos:

Número de salas de aula: Número de turmas:

Número de dias letivos: Horas de funcionamento (dia):

Informações arquitetônicas/construtivas

Área total da edificação (m²): Área total de aberturas:

Área total da fachada (m²): Norte Sul Leste Oeste

Área de abertura por fachada (m²): Norte Sul Leste Oeste

Cor das fachadas:

Cor da cobertura:

Parede tipo:

Cobertura tipo:

Vidro tipo:

Figura 9 – Cadastro das informações da edificação.

Cadastro do consumo de energia elétrica

O consumo de energia mensal em kWh, é cadastrado nesta etapa e servirá como base para a criação dos indicadores comparativos entre as edificações. Além disso, com os dados de tarifa, classe de consumo e tensão de fornecimento, o gestor pode avaliar mudanças no contrato de fornecimento que apresentem vantagens econômicas para a Prefeitura Municipal. A figura 10 mostra o a etapa de cadastramento destas informações.

Consumo de energia

Insira o consumo de energia mensal da edificação e o valor da tarifa.

Selecione a edificação: Ano:

Classe de consumo: Tensão de fornecimento:

(Ex: 178,6kWh - 0,856 R\$/kWh)

Janeiro	<input type="text"/>	Tarifa	<input type="text"/>	Julho	<input type="text"/>	Tarifa	<input type="text"/>
Fevereiro	<input type="text"/>	Tarifa	<input type="text"/>	Agosto	<input type="text"/>	Tarifa	<input type="text"/>
Março	<input type="text"/>	Tarifa	<input type="text"/>	Setembro	<input type="text"/>	Tarifa	<input type="text"/>
Abril	<input type="text"/>	Tarifa	<input type="text"/>	Outubro	<input type="text"/>	Tarifa	<input type="text"/>
Maior	<input type="text"/>	Tarifa	<input type="text"/>	Novembro	<input type="text"/>	Tarifa	<input type="text"/>
Junho	<input type="text"/>	Tarifa	<input type="text"/>	Dezembro	<input type="text"/>	Tarifa	<input type="text"/>

Figura 10 – Etapa de cadastro das informações de consumo de energia elétrica.

4.3 Cadastro dos equipamentos

Na etapa de cadastramento dos equipamentos, conforme as figuras 11 e 12, o usuário seleciona a edificação, insere o nome do ambiente e todos os equipamentos de uso geral presentes. Essa etapa tem o objetivo de auxiliar na estimativa de consumo e criar uma base de dados para as simulações termo-energéticas tanto para cálculo de consumo quando para cálculo de carga térmica. As etapas de cadastramento dos equipamentos de ar condicionado e do sistema de iluminação são análogas ao cadastramento de equipamentos.

A avaliação dos indicadores do sistema de ar condicionado tem como base a capacidade de refrigeração total da edificação e da eficiência das máquinas. No sistema de iluminação, além da carga instalada e da eficiência luminosa (lm/W) pode-se avaliar as quantidades de lâmpadas/luminárias de cada tipo, LED, fluorescente e etc. Estes dados são importantes para as avaliações do conforto destes ambientes, bem como base de dados para modelagens e simulações termo energéticas e luminotécnicas.

Cadastre os equipamentos presentes nas edificações.

Nessa seção, você cadastrará os equipamentos presentes nas edificações que posteriormente serão utilizados para calcular consumo estimado e carga instalada.

(Ex: Computadores, impressoras, televisores, refrigeradores e etc...)

Selecionar a edificação: Nome do ambiente:

Equipamento: Potência (kW): Tempo estimado de uso (h/dia): Selo de eficiência:

Figura 11 – Etapa de cadastro dos equipamentos gerais.

Cadastre os equipamentos de Ar Condicionado.

Nome da edificação:

Nome do ambiente:

Equipamento:

Capacidade (BTU): Área do ambiente (m²):

Potência etiquetada: (kW) Corrente: (A)

Consumo estimado: COP: Selo de eficiência:

¹ Consumo obtido através das tabelas do INMETRO

Cadastre os tipos de lâmpadas presentes nas edificações.

Nessa seção, você cadastrará os tipos de lâmpadas presentes nas edificações que posteriormente serão utilizadas para calcular consumo estimado, carga instalada e desempenho visual dos ambientes.

Nome da Edificação: Ambiente:

Tipo: Lâmpada Luminária Refletor Tecnologia:

Uso: Temperatura de cor: IRC:

Potência (W): Quantidade: FP: Fluxo luminoso (lm):

Figura 12 – Etapa de cadastro dos equipamentos de ar condicionado e iluminação.

Questionários de Conforto Térmico e Conforto Visual

Conforme visto anteriormente, os questionários para a coleta de dados foram baseados na dissertação de Souza (2015). A intenção de utilizar-se um modelo adaptado para a coleta de dados, publicado pela ANEEL, órgão responsável por desenvolver e implementar programas de gestão de energia e eficiência energética traz um embasamento sólido ao desenvolvimento desta ferramenta. O questionário indica dados objetivos através respostas do tipo “sim ou não”, identifica através de uma escala de valores o desconforto dos usuários e verifica o que os usuários entendem como desconforto através de breves descrições de como os mesmos se sentem em relação a temperatura e sensação térmica quando inseridos nestes ambientes.

Espera-se que os resultados da ferramenta, no quesito conforto, possam mostrar aos gestores, as condições de trabalho/ensino das edificações escolares e que a partir dessas informações, seja possível desenvolver, por escola ou até mesmo por ambiente, estratégias para mitigar o desconforto, melhorando assim o desenvolvimento das atividades em sala de aula.

Relatório Geral

O relatório geral é a primeira etapa de visualização dos dados. Esta tela é gerada automaticamente e é atualizada sempre que o usuário deseja ter uma visão global de todas as edificações cadastradas. Os valores mostrados são bastante objetivos e coerentes com a finalidade da ferramenta, exibindo o montante total de servidores, alunos, consumo e custo com energia elétrica, quantidades de equipamentos, potências e capacidades instaladas e dados relacionados às tarifas de energia elétrica.

Resumo da edificação

Com todas as informações cadastradas anteriormente é possível gerar um resumo específico para cada edificação. Dessa forma os gestores podem visualizar algumas características das escolas, bem como os quantitativos de consumo médio e custo médio com energia, quantidade de alunos e servidores, classe de consumo, tensão de fornecimento e um pequeno resumo das cargas instaladas. Além disso, no quadro de resumo energético é possível identificar a estimativa de consumo, que no caso das edificações cadastradas inicialmente, apresentam erros percentuais aproximados de 5% a 15%, sendo que estimativa de consumo é baseada nos dados coletados da ocupação (equipamentos, potência ativa (W) e tempo de uso em horas).

Indicadores gerais da edificação

Os indicadores gerais, formulados a partir da etapa de cadastro dos dados das faturas de energia elétrica, relacionam o consumo de energia com algumas variáveis conforme a figura 13. Os resultados das três etapas de geração de indicadores, relacionadas com os dados energéticos, térmicos e luminotécnicos, irão compor uma *dashboard* que auxiliará aos gestores a identificação de oportunidades de redução de custos e de melhora nas condições de trabalho e ensino das edificações escolares.

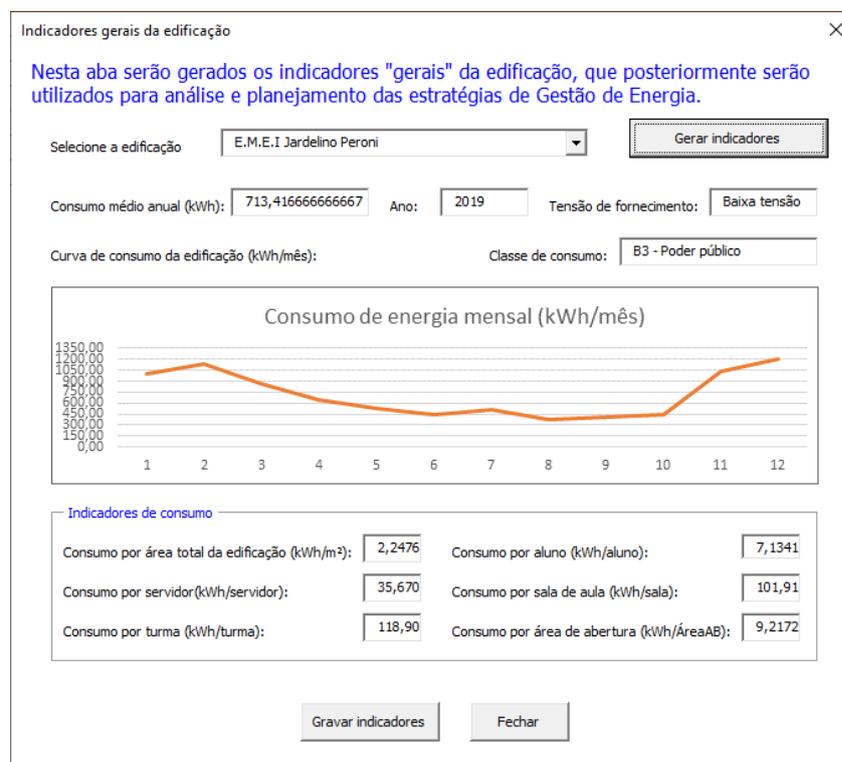


Figura 13 – Geração dos indicadores de consumo de energia.

Indicadores de Conforto e Desempenho Térmico

Os indicadores, desta etapa, são divididos na tela, conforme a figura 14, mostrando ao usuário da ferramenta um resumo das características arquitetônicas/construtivas, relacionadas ao desempenho térmico da edificação, tais como Transmitância térmica das paredes e coberturas (U), [W/m².K]; Capacidade Térmica das paredes e coberturas (CT), [kJ/m².K]; Fator Solar (FS) dos vidros e as áreas (m²) das fachadas e aberturas para cada direção geográfica. Estes dados podem ser utilizados no desenvolvimento das modelagens das edificações.

Na segunda parte da tela, são mostrados os indicadores de conforto térmico da edificação, tais como sensação térmica dos usuários, percentual de pessoas em desconforto; percentual de ambientes climatizados; temperatura média programada nos equipamentos de ar condicionado; percentual de ambientes que possuem ventilação natural e alguns indicadores de desempenho térmico, como por exemplo, BTU/m²; kWh/BTU, COP médio, Eficiência média do sistema de ar condicionado e etc.

Indicadores de conforto e desempenho térmico

×

Indicadores de conforto e desempenho térmico.

Selecione a edificação:

Resumo arquitetônico/construtivo

Transmitância térmica paredes externas (U); W/m ² .K :	<input type="text" value="1,92"/>	Transmitância térmica cobertura (U); W/m ² .K :	<input type="text" value="1,75"/>
Capacidade térmica paredes externas (CT); KJ/m ² .K :	<input type="text" value="202"/>	Capacidade térmica cobertura (CT); KJ/m ² .K :	<input type="text" value="568"/>
Absortância paredes externas (alpha):	<input type="text" value="36,2"/>	Absortância cobertura (alpha):	<input type="text" value="61,1"/>
Fator solar dos vidros da edificação (FS):	<input type="text" value="0,775"/>		

Área fachadas: (m ²)	Norte	<input type="text" value="73,95"/>	Sul	<input type="text" value="62,1"/>	Leste	<input type="text" value="223"/>	Oeste	<input type="text" value="166"/>
Área aberturas: (m ²)	Norte	<input type="text" value="20,25"/>	Sul	<input type="text" value="15,75"/>	Leste	<input type="text" value="65,25"/>	Oeste	<input type="text" value="63"/>

Indicadores de conforto e desempenho térmico

Sensação térmica geral - percepção dos usuários: (%)	<input type="text" value=""/>	BTU/m ²	<input type="text" value="16,761"/>
Percentual de pessoas em desconforto térmico: (%)	<input type="text" value="93,75"/>	BTU/Servidor	<input type="text" value="466,66"/>
Ambientes com equipamento de ar condicionado: (%)	<input type="text" value="6,25"/>	BTU/Aluno	<input type="text" value="52,5"/>
Ar condicionado inadequado ao ambiente - percepção dos usuários: (%)	<input type="text" value="0"/>	kWh/BTU	<input type="text" value="9,5226"/>
Ambientes com ventilação natural- percepção dos usuários: (%)	<input type="text" value="87,5"/>	COP médio	<input type="text" value="3,23"/>
A ventilação natural torna o ambiente agradável? (%)	<input type="text" value="6,25"/>	Sim	<input type="text" value="1"/>
		Tméd; °C :	<input type="text" value="18"/>

Figura 14 – Geração dos indicadores de conforto e desempenho térmicos.

Indicadores de Conforto e Desempenho Visual

Analogamente à etapa anterior, conforme a figura 15, a ferramenta mostra ao usuário os indicadores de conforto visual, tais como, classificação do ambiente quanto a iluminação; percentual de pessoas em desconforto visual; percentual dos ambientes que possuem iluminação natural através das aberturas e ambientes em que a iluminação artificial se mostra satisfatória em termos de quantidade e posição das lâmpadas/luminárias. Além disso, alguns indicadores de desempenho são mostrados, como por exemplo, densidade de potência em iluminação [kW/m²]; carga instalada em iluminação por aluno e por servidor, quantidade de lâmpadas/luminárias fluorescentes, LED e vapor de sódio e eficiência média do sistema de iluminação [lm/W].

Indicadores de conforto visual e desempenho do sistema de iluminação

X

Indicadores de conforto e desempenho visual.

Selecione a edificação: Gerar indicadores

Indicadores de conforto e desempenho visual

Classificação do ambiente - percepção dos usuários: (%)

Percentual de pessoas em desconforto visual: (%)

Ambientes possuem iluminação natural. (%)

A iluminação natural é suficiente em dias claros. (%)

A iluminação artificial é suficiente em dias nublados. (%)

O número de lâmpadas/luminárias está adequado. (%)

A posição das lâmpadas/luminárias está adequada. (%)

A iluminação permanece sempre ligada. (%)

Ambientes possuem cortinas/persianas. (%)

As cortinas/persianas tornam o ambiente confortável. (%)

kW/m²

kW/aluno

kW/Servidor

LED

Florescente

Vapor de sódio

Eficiência média lm/W

Iluminação artificial

Caso a iluminação artificial seja insuficiente, verifique através do método dos lumens a quantidade de lâmpadas necessárias para o ambiente.

Selecione o ambiente: Abrir a aba de cálculo

Gravar indicadores Fechar

Figura 15 – Geração dos indicadores de conforto e desempenho visuais.

Após todas as etapas de cadastramento das informações, dados de consumo de energia elétrica, conforto e desempenho dos ambientes, o resultado e objetivo principal da ferramenta é condensado no painel do gestor, conforme a figura 16. Esta tela, reúne as informações mais importantes e permite aos gestores a avaliação objetiva dos dados.



Figura 16 – Visão geral do Painel do Gestor, gerado pela FAGEM.

O Painel do Gestor, em forma de *dashboard*, reúne as (1) informações gerais da edificação, (2) os dados das faturas e indicadores de consumo de energia elétrica, indicadores de desempenho (3) térmicos e (4) visuais, (5) consumo estimado por tipo de carga e os (6) indicadores de conforto baseados nos questionários. Neste painel é possível realizar a segmentação dos dados, utilizando-se como filtro, o nome da edificação, ou seja, é possível

realizar a comparação de duas edificações escolares e dessa forma os gestores podem identificar quais são os pontos positivos e negativos de cada uma das escolas. O Painel do Gestor, tem o objetivo de facilitar a visualização de todos os dados cadastrados, de uma forma bastante visual e a partir dessa leitura das informações, na aba de estratégias, é possível cadastrar para cada edificação, as ações de melhoria e as respectivas tarefas para a implementação das ações.

Estratégias

A partir do Painel do Gestor, a ferramenta possibilita o cadastramento das ações de redução de consumo e melhoria no desempenho e conforto das edificações, bem como as tarefas necessárias para a implementação das estratégias. A figura 17, mostra uma parte do Painel do Gestor, para a avaliação e cadastramento de algumas estratégias de Gestão de Energia relacionadas aos indicadores visuais.

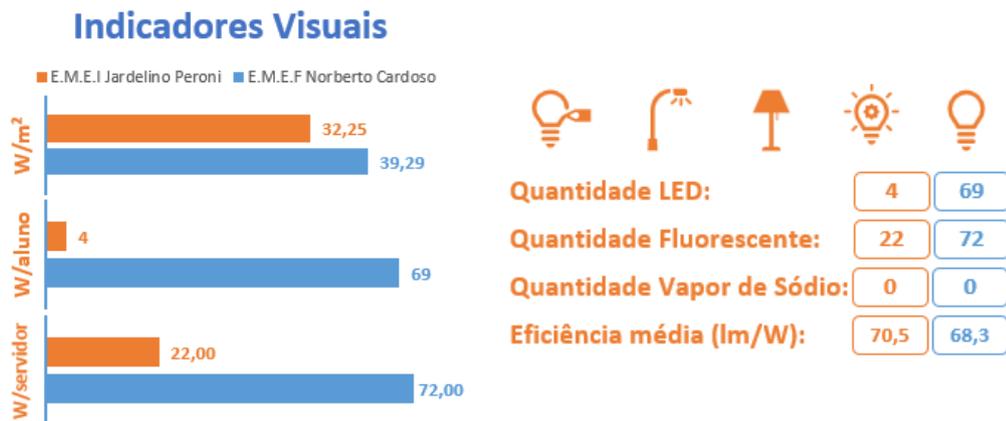


Figura 17 – Quadro de indicadores visuais do Painel do Gestor.

De acordo com os dados mostrados na figura 17, ambas as edificações escolares ainda utilizam tecnologias em iluminação ineficientes e por exemplo, uma das estratégias para reduzir o consumo de energia elétrica e melhorar os indicadores visuais são a substituição das lâmpadas/luminárias fluorescentes por tecnologia LED. A figura 18, mostra alguns exemplos de estratégias para a E.M.E.F Norberto Cardoso.

Nome da edificação	Ação	Tarefa
E.M.E.F Norberto Cardoso	Reduzir o custo de energia com iluminação	Avaliar a substituição de lâmpadas/luminárias antigas por tecnologia LED.
	Melhorar o conforto térmico	Instalar novas cortinas/persianas
	Reduzir custo com energia elétrica	Avaliar migração tarifária para subgrupo A4

Cadastrar estratégia

Atualizar estratégias

Nome da edificação

- E.M.E.F Norberto Cardoso
- E.M.E.I Jardelino Peroni
- (vazio)

Cadastro das estratégias

Cadastre as estratégias de redução de custo com energia elétrica e melhoria das condições de ensino das edificações.

Nome da Edificação: Ação:

Tarefa:

Figura 18 – Etapa de cadastramento das ações e tarefas para redução do consumo e melhoria do desempenho e conforto das edificações escolares.

Uma estratégia simples, que pode reduzir o custo da fatura de energia elétrica, conforme os dados mostrados no Painel do Gestor é a avaliação da migração tarifária para o subgrupo A4, que possui um custo menor por kWh de energia consumida, visto que atualmente a escola está cadastrada como consumidor B3 e a entrada de energia é em 13,8kV (média tensão).

CONCLUSÃO

A Gestão de Energia, no âmbito municipal, possibilita a melhor utilização de recursos energéticos. A ferramenta desenvolvida, destinada ao apoio à gestão energética municipal, com o objetivo de avaliar o consumo de energia, desempenho e conforto térmico e visual das escolas da rede de ensino básico, possibilita aos gestores e ordenadores de despesas a fácil identificação das oportunidades de melhoria, através de indicadores, direcionando-os para o desenvolvimento de estratégias e ações em gestão de energia e consequentemente a redução dos custos relacionados à este insumo. Além disso, a FAGEM, realiza um comparativo entre as edificações escolares, no quesito desempenho e conforto térmico e visual, integrando as possibilidades de redução de custo e a oferta de ambientes de trabalho e ensino, que proporcionem aos servidores e alunos condições ambientais satisfatórias para o desenvolvimento de suas atividades.

Ao final deste trabalho acredita-se que a ferramenta cumpriu o objetivo geral proposto, servindo como suporte a GEM, através da construção de indicadores que refletem o consumo de energia nas escolas e que permitem a avaliação do desempenho e o conforto térmico e visual dos usuários dessas edificações. Além disso, em relação aos objetivos específicos, a FAGEM permite identificar os principais elementos que influenciam no consumo de energia nas escolas do município e a percepção dos usuários em relação ao conforto térmico e visual no ambiente escolar.

A FAGEM, objetiva ser uma ferramenta de uso simples, todavia, tem a pretensão de englobar todos aspectos pertinentes, avaliando as variáveis ambientais e condições e necessidades humanas, proporcionando o melhor uso do recurso financeiro municipal, priorizando recurso humano, traduzindo-se na consolidação do trabalho de um profissional de Gestão de Energia.

Para trabalhos futuros, sugere-se o aprimoramento do Painel do Gestor, com a adição de um módulo de cadastro e avaliação das estratégias, contendo análise financeira e a integração da ferramenta com softwares de modelagens luminotécnicas e termo-energéticas. Este módulo auxiliará os gestores na construção da previsão orçamentária anual em relação ao custo com energia elétrica e manutenções/melhorias nas edificações escolares do município.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO/CIE 8995-1: Iluminação de ambientes de trabalho. Rio de Janeiro, 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15.125: Iluminação Natural. Rio de Janeiro. 2005.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15.575. Desempenho de edificações habitacionais. Rio de Janeiro. 2013.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Boletim de Informações Gerenciais 2018.
- AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. Handbook Fundamentals - Research: Improving the Quality of Life. Atlanta, 2017.
- BARRET, P.S. et al. Clever classrooms: Summary report of the HEAD project. 2015. Monograph Holistic Evidence and Design, University of Salford. Manchester.
- CAPEHART, Barney L. et al. Guide to energy management. 7th ed. Lilburn. The Fairmont Press. 2011.
- CARBOON TRUST. Energy management: a comprehensive guide to controlling energy use. London UK. September 2011.
- ELETROBRÁS. Manual de Aplicação do Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C). Distrito Federal. 2013.
- ELETROBRÁS. Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica: Resultados 2019 – Ano base 2018.
- EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. Balanço Nacional Energético 2019. Ano base 2018. Rio de Janeiro 2019. 292p.
- FANGER, Povl Ole. Thermal comfort: Analysis and applications in environmental engineering. Copenhagen. Danish Technical Press. 1982.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE ADMINISTRAÇÃO MUNICIPAL. Gestão Energética Municipal. 2019. Disponível em: <<http://www.ibam.org.br/projeto/14>>. Acesso em: 4 out. 2020.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Estimativas de População por Município. 2009a. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9103-estimativas-de-populacao.html?edicao=17283&t=downloads>>. Acesso em: 4 out. 2020.

- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Estimativas de População por UF. 2009b. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9103-estimativas-de-populacao.html?edicao=17283&t=downloads>>. Acesso em: 4 out. 2020.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Estimativas de População. 2019. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9103-estimativas-de-populacao.html?edicao=17283&t=downloads>>. Acesso em: 4 out. 2020.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 7730: moderate thermal environments, determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort. Switzerland. 2005.
- LAMBERTS, Roberto; DUTRA, Luciano; PEREIRA, Fernando. Eficiência energética na arquitetura. 3ª Edição. Rio de Janeiro. 2014.
- MORALES, C. Indicadores de consumo de energia elétrica como ferramentas de apoio à gestão: classificação por prioridades de atuação na Universidade de São Paulo. Dissertação (Mestrado em Engenharia)-Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo. 2007.
- PROGRAMA DO BOM USO ENERGÉTICO – Ministério do Meio Ambiente. Guia de Eficiência Energética em Edificações Públicas. 1ª Edição. Brasília. 2017.
- SOUZA, A.P.A. Uso da energia em edifícios: estudo de caso de escolas Municipais e Estaduais de Itabira. Dissertação (Mestrado em matemática)-Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais. Belo Horizonte. 2005.
- TRINDADE, W.J.J.; NUNES, S.H.P. Proposta de implantação da gestão energética no município de Aparecida-PB: um estudo de caso. Instituto Federal da Paraíba (IFPB). 2019.
- VESMA, Vilnis. Energy Management Principles and Practice. British Library Cataloguing in Publication Data. London UK. 2009.

Abstract. *This work describes the development of a support tool for municipal energy management (FAGEM) to assess energy consumption, performance, thermal and visual comfort of elementary schools in the municipality of Imbé, through the construction of indicators that reflect energy consumption at schools and to evaluate the performance and thermal and visual comfort of these buildings' users. The methodology used in this work is based initially on a bibliographic review on Energy Management, governmental programs of energy performance and efficiency and methods of assessing buildings energy consumption, performance and thermal comfort. The tool was developed through occupancy data survey (equipment and people) and thermal and environments visual comfort questionnaires, resulting in the framework and application of the tool, developed in Visual Basic (VBA) in Excel software. The tool has data entry windows such as electricity consumption, comfort and environmental performance of the environments. Data processing results in building summary screens, which contain general and architectural / constructive information, energy consumption, thermal and visual indicators. The tool also provides, in a summarized form, the data on the manager panel for an objective assessment. At the end of this work, it is believed that the tool fulfilled the general proposed objective, serving as support to municipal energy management, through the construction of indicators that reflect energy consumption in schools and that allow the buildings assessment performance and thermal and visual comfort.*

Key words: *Energy Management, Municipal Energy Management and Consumption, Performance and Comfort Indicators.*

Folha de coleta de dados para pesquisa

Nome do ambiente/sala de aula:

Nome do servidor (opcional):

Cargo:

Gênero:

Feminino: Masculino:

Idade (opcional):

anos

Questionário sobre o conforto dos ambientes e salas de aula

Prezado(a), esta pesquisa tem como objetivo avaliar o conforto térmico e visual dos ambientes escolares do município. Sua contribuição é muito importante para que os gestores municipais possam avaliar e identificar as necessidades em infraestrutura das edificações e traçar estratégias para melhorar o desempenho dos ambientes da rede de ensino municipal

1. CONFORTO TÉRMICO

No período de **VERÃO**: Classifique o ambiente em relação à temperatura / sensação térmica:

Muito Frio Frio Levemente frio Neutro Levemente quente Quente Muito quente

O ambiente em que você trabalha possui equipamento de ar condicionado?

SIM NÃO

O ambiente em que você trabalha possui ventilador?

SIM NÃO

O ambiente possui ventilação natural através de janelas e portas?

SIM NÃO

Os ventiladores e a ventilação natural são suficientes para tornar o ambiente agradável?

SIM NÃO

Quando você liga o equipamento de ar condicionado, em geral, qual a temperatura que você programa?

Temperatura: _____ °C

Na sua opinião, o equipamento de ar condicionado está adequado ao seu ambiente de trabalho?

SIM NÃO NÃO SEI RESPONDER

O equipamento de ar condicionado ou ventilador apresenta algum tipo de mau funcionamento?

SIM NÃO NÃO SEI RESPONDER

Descreva brevemente o mau funcionamento (Ex: ruído, demora para resfriar, defeitos no equipamento...):

A manutenção do equipamento de ar condicionado é realizada:

De forma periódica Apenas quando apresenta defeito Não sei responder

Você sente algum desconforto **térmico** no ambiente em que trabalha?

SIM NÃO

Descreva brevemente o desconforto: (Ex: ambiente úmido, abafado, sensação de frio ou calor...):

1. CONFORTO VISUAL

Durante o dia (período das aulas): classifique o ambiente em relação a iluminação

Muito escuro	Escuro	Confortável	Claro	Muito claro
<input type="checkbox"/>				

O ambiente em que você trabalha possui iluminação natural? (janelas e portas)

SIM NÃO

Em dias claros, a iluminação **natural** é suficiente para tornar o ambiente confortável?

SIM NÃO

Em dias nublados, a iluminação **artificial** é suficiente para tornar o ambiente confortável?

SIM NÃO

Na sua opinião, o número de lâmpadas é adequado para o ambiente?

SIM

NÃO, considero necessário mais lâmpadas

NÃO, considero necessário menos lâmpadas

Na sua opinião, a posição das lâmpadas é adequada ao ambiente?

SIM NÃO

Durante o período das aulas, as lâmpadas permanecem sempre acesas?

SIM NÃO

Na sua opinião, a quantidade de janelas é adequada ao ambiente?

SIM NÃO

As janelas do ambiente possuem cortinas/persianas?

SIM NÃO

As cortinas/persianas são suficientes para tornar o ambiente confortável?

SIM NÃO

Você sente algum desconforto **visual** no ambiente em que trabalha?

SIM NÃO

Descreva brevemente o desconforto: (Ex: ofuscamento, dificuldade na leitura, a luz das lâmpadas é muito clara...):

Você tem algum comentário adicional sobre o conforto térmico e visual do ambiente?

ANEXO 2

Folha de coleta de dados da edificação

Nome da escola:	Data da visita	___/___/___
Nome do servidor (opcional):		

Nome do ambiente:

Ar Condicionado	Marca:	Modelo:	
	Marca:	Modelo:	
	Marca:	Modelo:	
Iluminação	Tipo:	Quantidade:	Pot:
	Tipo:	Quantidade:	Pot:
	Tipo:	Quantidade:	Pot:
Diversos	Equipamento:	Marca/Modelo:	
	Equipamento:	Marca/Modelo:	

Nome do ambiente:

Ar Condicionado	Marca:	Modelo:	
	Marca:	Modelo:	
	Marca:	Modelo:	
Iluminação	Tipo:	Quantidade:	Pot:
	Tipo:	Quantidade:	Pot:
	Tipo:	Quantidade:	Pot:
Diversos	Equipamento:	Marca/Modelo:	
	Equipamento:	Marca/Modelo:	

Nome do ambiente:

Ar Condicionado	Marca:	Modelo:	
	Marca:	Modelo:	
	Marca:	Modelo:	
Iluminação	Tipo:	Quantidade:	Pot:
	Tipo:	Quantidade:	Pot:
	Tipo:	Quantidade:	Pot:
Diversos	Equipamento:	Marca/Modelo:	
	Equipamento:	Marca/Modelo:	