

# Controle da iluminância em ambientes corporativos para melhor desempenho energético

Leandro Fernandes de Pinho

Universidade Anhembi Morumbi

**Resumo** — Atualmente, o tema sustentabilidade, no mundo, tem promovido inúmeros debates, estudos e avanços tecnológicos nas mais diversas áreas da engenharia. Os desafios se apresentam continuamente, e, por consequência, a demanda por soluções. Para a engenharia elétrica, o tema oferece ampla área de atuação, já que a sustentabilidade passa, quase que obrigatoriamente, pelo desenvolvimento de sistemas inteligentes, e autônomos, que gerenciem o consumo de energia elétrica nos mais variados casos. Este trabalho abordará, especificamente, soluções para o monitoramento e o controle da iluminação, de forma autônoma, em espaços corporativos, como salas de reuniões e *staffs*, por exemplo, onde a finalidade é a otimização do uso da energia elétrica e a redução nos valores das tarifas pagas às concessionárias que distribuem essa energia.

**Palavras-Chave** — Automação. Sustentabilidade. Eficiência energética. *Green buildings*.

## I. INTRODUÇÃO

QUANDO mencionado o conceito de construções verdes, ou *Green Building*, é inevitável que venha à mente o controle eficiente, e autônomo, da iluminação dos ambientes dessas construções. A ideia inicial é racionalizar o uso da luz natural e da luz artificial, promovendo, em primeiro plano, redução no consumo de energia elétrica. No âmbito corporativo, em salas de reuniões, por exemplo, o controle inteligente da iluminação do ambiente, oferece, além do melhor aproveitamento energético, conforto aos usuários dessas salas e, ainda, é matéria fundamental para que o empreendimento pleiteie certificações relacionadas à sustentabilidade.

Segundo dados do USGBC (United States Green Building Council), entidade responsável pela certificação LEED (Leadership in Energy and Environmental Design), em abril do corrente ano, entre 180 países, o Brasil ocupava a quinta colocação com mais edificações classificadas como *green building* [1].

De acordo com o site GRIHub, o Brasil possui mais de 1,5 mil construções sustentáveis, sendo que mais de 42% desse

total possuem algum nível de certificação LEED [2].

As certificações, não só a LEED, mas também a inglesa BREEAM, a alemã DGNB, a suíça Minergie, entre outras, dizem à sociedade, e ao mercado imobiliário, o quão engajado um empreendimento está em questões relacionadas à sustentabilidade, de forma geral, pois o ativo imobiliário deve atender diversos requisitos para alcançar uma dessas certificações, entre eles, uma melhora de no mínimo 10% na performance energética (LEED), quando comparado a outro de mesmo porte, sem qualquer certificação.

O conteúdo deste trabalho abordará questões relacionadas à cadeia energética, ao conceito, características e certificações baseadas em prédios eficientes.

## II. EFICIÊNCIA vs CONFORTO

O termo *Green Building* remete ao uso otimizado dos recursos naturais em edificações, além do emprego de técnicas que tenham por objetivo reduzir os impactos ambientais decorrentes do uso desses recursos, como por exemplo, a eficiência no uso da água, dentro da construção e no seu entorno, a eficiência no uso da energia elétrica, a eficiência do sistema de climatização, o uso de produtos que reduzam o impacto ambiental quando descartados etc.

Indo além da questão ambiental, o uso de inteligência lógica no controle energético de uma construção também foca no viés econômico, pois com a redução do consumo de energia elétrica, proporcionalmente, há redução nos valores pagos às distribuidoras que fornecem essa energia, seja no Mercado Cativo, seja no Mercado Livre de Energia.

Um dos grandes desafios de sistemas de gerenciamento energético em construções comerciais é aliar o controle das cargas de iluminação, tendo como objetivo a melhor eficiência e consequente economia, com o conforto dos ocupantes dessa construção. A NR-17 [3] e a NHO 11 [4], inclusive, tratam das normas que se aplicam aos ambientes de trabalho, em relação à iluminação, e devem, portanto, ser observadas pelo gerenciamento energético.

### III. CONSUMO E GERAÇÃO ENERGÉTICA NO BRASIL

No Brasil, segundo o balanço energético 2022, ano base 2021, produzido pela EPE, Empresa de Pesquisa Energética, o consumo de energia elétrica está segmentado conforme apresentado na Figura 1.

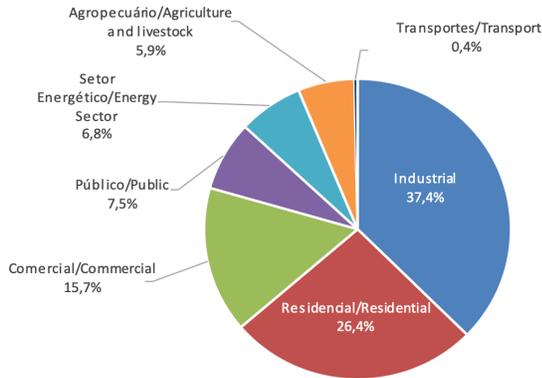


Fig. 1. Participação setorial no consumo de eletricidade 2022. Fonte: EPE

Os setores residencial, industrial e comercial, respondem, juntos, por 79,5% de toda a energia elétrica consumida, onde o consumo final no ano de 2020 foi de 570,8 TWh, 5,7% maior que em 2019 [5].

A matriz hidráulica continua sendo a maior fonte geradora de energia elétrica, como mostra a imagem da Figura 2.

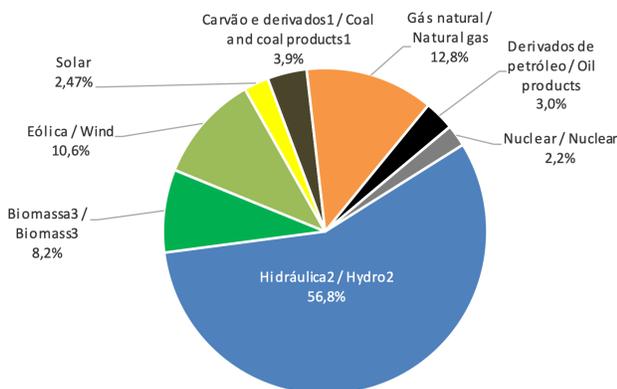


Fig. 2. Oferta interna de energia elétrica por fonte. Fonte: EPE

O Brasil possui três das dez maiores usinas hidrelétricas espalhadas pelo mundo, são elas: Itaipu Binacional, com capacidade de 14 GW, Belo Monte, com seus 11,2 GW de capacidade instalada, e Tucuruí, com 8,4 GW de capacidade instalada [6]. A maior usina hidrelétrica do mundo, Três Gargantas, fica na China, e possui capacidade para produzir 22,5 GW [7]. O Brasil, atualmente, ocupa a segunda colocação no ranking global de países com as maiores capacidades hidrelétricas instaladas, ficando atrás somente da China, e à frente de Estados Unidos, Canadá e Rússia [8], entre outros. Este estudo não abordará as vantagens e desvantagens do uso majoritário da matriz hidráulica para geração de energia elétrica

em um país.

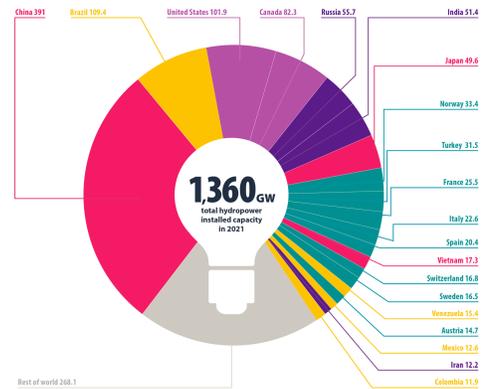


Fig. 3. Capacidade hidrelétrica instalada, por países, em 2021. Fonte: International Hydropower Association

O Brasil também se destaca quando o assunto é o aproveitamento de fontes renováveis para a geração de energia elétrica, tema frequentemente abordado no cenário global. De acordo com Empresa de Pesquisa Energética (EPE), fontes renováveis são as consideradas inesgotáveis, já que se renovam de maneira constante, como a hídrica, a solar, a eólica, a geotérmica, a oceânica e o uso de biomassa. Em contraste com as fontes não renováveis, as renováveis recebem a classificação de fontes limpas, já que atenuam consideravelmente a emissão de gases que provocam o efeito estufa, o que promove amplo debate na comunidade científica e estudos nas mais diversas áreas do conhecimento humano [9].

O Brasil está em terceiro no ranking de países com maior capacidade instalada de geração elétrica oriunda de energias renováveis [10], com destaque para o crescimento das matrizes solar e eólica, de acordo com a Figura 4.

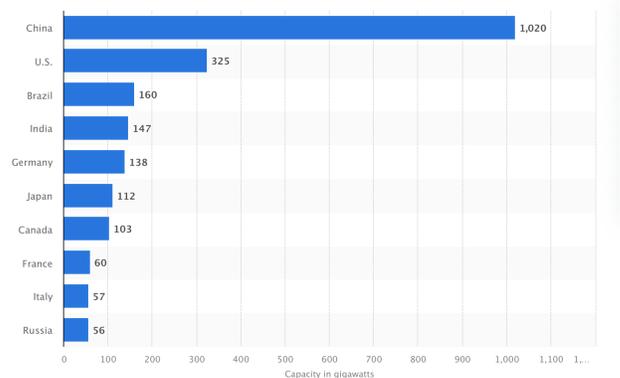


Fig. 4. Leading countries in installed renewable energy capacity worldwide in 2021. Fonte: Statista Statistics

O balanço energético no Brasil dividido por região e fonte energética, no dia 05 de novembro de 2022, segundo o Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), está representado na figura 5, em MW [11].

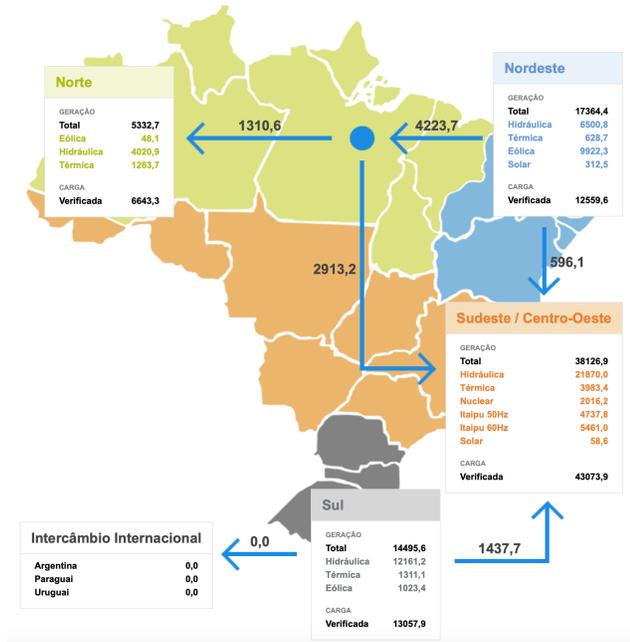


Fig. 5. Balanço energético brasileiro em 5 de novembro de 2022. Fonte: ONS

Segundo o Boletim Mensal de Energia, referência Julho de 2022, produzido pelo Ministério de Minas e Energia, no corrente ano a Oferta Interna de Energia (OIE) deverá crescer menos que o Consumo Final de Energia (CFE), sendo esperado um aumento de 0,9% na OIE contra 2,7% de aumento no CFE, porém, a Oferta Interna de Energia Elétrica (OIEE) deverá sofrer um acréscimo de 2,1% em comparação com o ano de 2021, totalizando 693,8 TWh, com as fontes renováveis sendo responsáveis por 84% desta geração. Fazendo um comparativo entre junho de 2021 e junho de 2022, o consumo de energia elétrica do setor comercial, fatia na qual os ambientes corporativos, alvo deste estudo, estão inseridos, teve acréscimo de 9,9% [12].

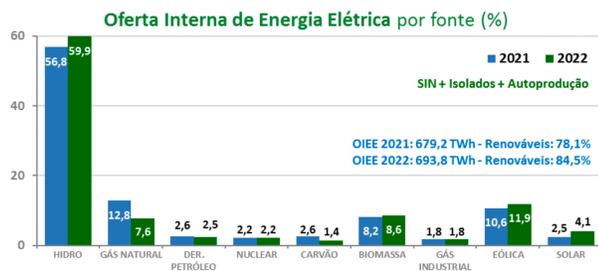


Fig. 6. OIEE Fonte: Ministério de Minas e Energia

A Oferta Interna de Energia Elétrica (OIEE) deverá sofrer um acréscimo de 2,1% em comparação com o ano de 2021, totalizando 693,8 TWh, com as fontes renováveis sendo responsáveis por 84% desta geração.

#### IV. EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Segundo a Empresa de Pesquisa Energética (EPE), eficiência significa fazer mais, ou a mesma coisa, com menos, mantendo a qualidade e o conforto [13]. A eficiência energética, voltada para o universo elétrico, tem como objetivo a redução do consumo de energia elétrica em um dispositivo, entregando este dispositivo o mesmo resultado, ou resultado superior, de outro que consome maior quantidade de energia elétrica, afinal, para classificarmos um dispositivo como menos ou mais eficiente é necessária uma comparação. Um exemplo são as lâmpadas. Existe um movimento de transformação na iluminação dos ambientes domésticos e corporativos, que antes usavam, majoritariamente, lâmpadas incandescentes e fluorescentes, e hoje adotam cargas compostas por LEDs. Nas lâmpadas incandescentes a corrente elétrica trafega por um filamento de tungstênio, gerando calor (efeito Joule) e luz, porém, a conversão dessa energia em luz visível é estimada em apenas 20%, enquanto a maior parte é dissipada em forma de calor. Nas lâmpadas fluorescentes o princípio de funcionamento envolve a ionização de gases dentro de um tubo revestido com um material à base de fósforo. A ionização desses gases produz radiação ultravioleta, que é convertida em luz visível quando entra em contato com o material que reveste o interior do tubo de vidro. Em comparação com as lâmpadas incandescentes, as lâmpadas fluorescentes consomem menos energia elétrica para produzir a mesma intensidade luminosa, o que torna essa tecnologia mais eficiente que a primeira, porém, existem diversas questões ambientais relacionadas ao descarte das lâmpadas fluorescentes, já que utilizam materiais nocivos ao meio ambiente. A tecnologia mais recente, buscando eficiência energética, está empregada nas lâmpadas compostas por LEDs, ou Diodos Emissores de Luz, onde a corrente elétrica que atravessa um semicondutor produz fótons. Além de consumir menos energia elétrica que as duas tecnologias anteriormente citadas, para produzir o mesmo fluxo luminoso, as lâmpadas compostas por LEDs têm vida útil maior e apresentam maior versatilidade, o que proporciona seu emprego em diversas áreas. Em ambientes corporativos, citando um exemplo, há a possibilidade de controlar a temperatura de cor do fluxo luminoso emitido por essas cargas, proporcionando conforto aos usuários desses espaços, buscando, também, a máxima produtividade desses indivíduos, pois a temperatura de cor possui grande influência no ciclo circadiano [14]. De acordo com a Tabela I, que mostra uma comparação entre essas três tecnologias, é seguro, então, afirmar que uma tecnologia é mais eficiente que outra, quando o objetivo é gerar uma determinada quantidade de intensidade luminosa.

TABELA I  
TABELA DE EQUIVALÊNCIA  
ABILUMI 2020 [15]

Lumens	Incandescente	Fluorescente	LED
600	40W	10W	7W
850	50W	15W	9W
1200	75W	20W	12W
1500	100W	25W	15W
1000	-	Tubular 20W	Tubular 9W
2000	150W	Tubular 50W	Tubular 18W

A. O Programa de Eficiência Energética (PEE)

O PEE, Programa de Eficiência Energética, foi criado pela ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica, e tem como objetivo promover o uso eficiente da energia elétrica em todos os setores da economia, sendo as ações elegíveis definidas conforme mostra a Figura 7. De acordo com a Lei nº 9.991, de 24 de julho de 2000, as concessionárias e permissionárias de serviços público de distribuição de energia elétrica são obrigadas a aplicar anualmente um montante (0,5%) de sua receita líquida em pesquisa e desenvolvimento do setor elétrico [16]. As diretrizes do PEE estão alicerçadas em quatro tópicos:

- Maximizar os benefícios públicos da energia economizada e da demanda evitada;
- Promover a transformação do mercado de eficiência energética;
- Estimular o desenvolvimento de novas tecnologias;
- Criação de hábitos e práticas racionais de uso da energia elétrica.

As Chamadas Públicas para a submissão de projetos que pleitearão recursos do PEE acontecem uma vez por ano.

**O Programa de Eficiência Energética  
Regulado Pela ANEEL - PEE**

**AÇÕES ELEGÍVEIS**

◆ Aquecimento Solar  
 ◆ Reciclagem de Resíduos Sólidos

UTILIZAÇÃO DO AUTO ESCORRE NA RECOLEÇÃO DE RESÍDUOS  
 Placa solar para produção de energia residencial

**AÇÕES ELEGÍVEIS**

- ◆ Educacional
- ◆ Setor Industrial
- ◆ Setor Comércio e Serviço
- ◆ Setor Rural
- ◆ Setor Residencial
- ◆ Baixa Renda
- ◆ Poder Público
- ◆ Serviços Públicos
- ◆ Iluminação Pública
- ◆ Gestão Energética Municipal

Fig. 7. PEE Ações elegíveis  
Fonte:ANEEL

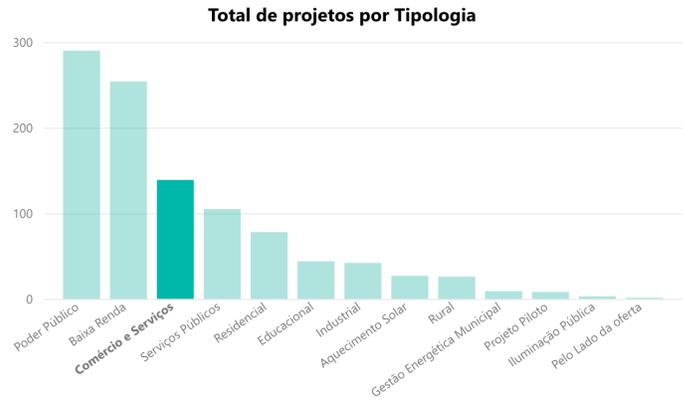


Fig. 8. PEE Total de projetos por tipologia  
Fonte:ANEEL

B. Diagnóstico Energético

Como identificar se uma determinada construção, ou instalação, pode ter sua performance energética aprimorada? Quais os parâmetros devem ser observados e quais soluções podem ser adotadas? Este levantamento é ofertado, por exemplo, por empresas especializadas, que abordam a questão levando em consideração os mais variados aspectos e padrões dessa instalação. Aqui, também existe uma comparação primária a ser realizada, como no exemplo das lâmpadas: construções do mesmo porte, e com padrões de uso semelhantes, que estejam catalogadas na base de dados dessas empresas. De forma geral, “diagnóstico energético é o levantamento realizado com o objetivo de obter maior eficiência no uso da energia elétrica e, assim, reduzir custos e contribuir para a sustentabilidade” [17], ou seja, é um documento que reúne todas as informações relacionadas ao consumo de energia elétrica de determinada instalação e aponta caminhos que contribuirão para a máxima eficiência energética neste ambiente. O levantamento abordará, por exemplo, as rotinas habituais de consumo, os desperdícios de energia, o valor pago na energia elétrica consumida, a eficiência dos sistemas dessa instalação, como motores, sistemas de refrigeração e de iluminação, qualidade dos materiais empregados nas instalações, entre outras variáveis. Após esse levantamento, são definidas as prioridades e os recursos necessários para viabilizar o escopo inicial. O diagnóstico avança, basicamente, em três direções: equipamentos, iluminação e relação demanda versus consumo.

A avaliação dos equipamentos leva em conta a eficiência do sistema de climatização, e bombas, por exemplo. Cabe aqui ressaltar que, em ambientes corporativos, o sistema de climatização responde por grande parte da energia consumida. De acordo com um estudo do SINDRATAR SP, Sindicato da Indústria de Refrigeração, Aquecimento e Tratamento de Ar, a climatização em um edifício comercial é responsável por 30% a 40% do consumo total de energia elétrica [18].

O estudo da iluminação não fica restrito apenas à eficiência das cargas instaladas, se aprofunda na inspeção dos condutores elétricos empregados na instalação, no tipo de tecnologia empregada para controle dessas cargas, faz a análise de pontos onde o uso da luz natural pode ser otimizado, realiza o levantamento de ambientes que não necessitam de iluminação

contínua, e segue nessa linha.

Por fim, as questões relacionadas à demanda e ao consumo de energia são analisadas. Nessa etapa, são identificados os horários de pico no consumo elétrico e o valor pago pela energia elétrica, de maneira detalhada. Em alguns casos a sugestão é migrar para o Mercado Livre de Energia, regime no qual a negociação é feita de forma direta com o fornecedor, e envolve prazo de fornecimento elétrico, valor, volume e forma de pagamento, de acordo com o perfil de consumo traçado pelo diagnóstico energético. Empresas especializadas estimam que é possível alcançar uma redução de até 35% no valor da conta de luz, aumentando assim a eficiência energética da instalação [19].

**O que é diagnóstico energético e como é feito.**

O diagnóstico energético é uma análise feita para identificar um padrão de consumo de uma empresa ou instalação.

Com ele é possível propor ações que proporcionem um melhor aproveitamento da energia.

**Para a realização do diagnóstico energético, é preciso:**

- Fazer uma análise completa da empresa ou instalação
- Documentar oportunidades de melhoria encontradas
- Propor ações para que a otimização energética seja alcançada
- Listar recursos necessários para colocar as ações em prática
- Definir prioridades

Fig. 9. Diagnóstico energético  
Fonte: Esfera

### C. Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica

Em 30 de dezembro de 1985, através da portaria interministerial nº 1.877, foi instituído o Procel, Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica, com o propósito de combater o desperdício de energia elétrica e incentivar o uso eficiente dessa energia. De acordo com o site Procelinfo, “as ações do Procel contribuem para o aumento da eficiência dos bens e serviços, para o desenvolvimento de hábitos e conhecimentos sobre o consumo eficiente da energia e, além disso, postergam os investimentos no setor elétrico, mitigando, assim, os impactos ambientais e colaborando para um Brasil mais sustentável” [20].

O Procel atua em algumas áreas, sendo elas equipamentos, edificações, iluminação pública, indústria e comércio, poder público e conhecimento. Nas edificações, alvo do presente artigo, o Procel incentiva o uso eficiente e a conservação dos recursos naturais, como a água, a ventilação natural e a luz natural, e em parceria com o Inmetro, Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia, é responsável pelo programa de Etiquetagem de Eficiência Energética em Edificações, promovendo a avaliação da eficiência energética das edificações. Desde 2009, mais de 4500 empreendimentos

imobiliários receberam a Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) para edificações, a Etiqueta PBE Edifica. Segundo o Procelinfo, edificações novas construídas segundo os critérios adotados pela Etiquetagem PBE Edifica podem alcançar economia de até 50% e edificações já existentes que sofrem *retrofit* significativo, 30% [21].

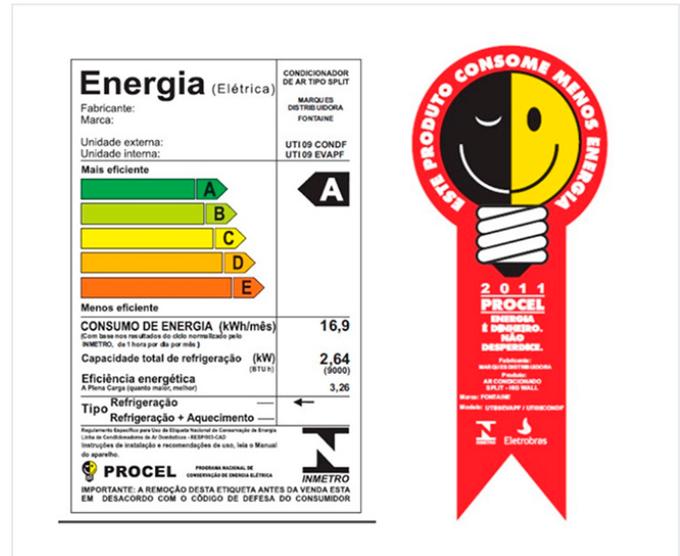


Fig. 7. Selo Procel  
Fonte: Procelinfo

### V. A SUSTENTABILIDADE EM AÇÃO

A bandeira da sustentabilidade tem sido levantada pelos mais diversos setores. É um tema que gera debates e aponta tendências no comércio, nos serviços, nas indústrias, no marketing e na construção civil, entre outros. Participar de programas associados à sustentabilidade, e possuir uma certificação relacionada a ela, cria uma imagem positiva, atraindo investimentos e visibilidade. A sigla ESG, do inglês *environmental, social and governance*, reflete a relevância do tema sustentabilidade no mercado financeiro, pois as questões ambientais, sociais e de governança se tornaram cruciais nas análises de riscos e nas decisões de investimentos. Um artigo publicado no site GBC Brasil, diz que as práticas de ESG e de construções sustentáveis tiveram um sólido crescimento ao longo dos últimos anos [22], e estão diretamente interligadas, já que o conceito de construção sustentável passa, obrigatoriamente, por projetos que visam mais eficiência, menos poluição e maior conforto para seus ocupantes.

Mas como medir, e respaldar, no mundo real, o resultado prático das ações relacionadas à sustentabilidade em um determinado empreendimento imobiliário? Como esse empreendimento pode alcançar o título de construção sustentável, ou *green building*? Uma das maneiras é ostentar uma certificação. A certificação atesta que um empreendimento foi construído seguindo padrões que focam nos pilares mencionados anteriormente, ou, ainda, garante que um empreendimento já em uso, depois de análises como o diagnóstico energético, realizou mudanças significativas em sua infraestrutura e ao redor, alcançando os índices propostos por essas certificações.

A. Selo Procel Edificações e Etiqueta PBE Edifica

Os primeiros passos para a criação de programas de avaliação energética, no Brasil, foram dados pelo INMETRO, em 1984, e a princípio esses programas teriam como alvo a indústria automobilística, sendo a crise do petróleo, nos anos 70, a maior motivadora de estudos sobre eficiência energética, porém, o projeto foi ampliado e batizado como Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE). Hoje em dia, o PBE é composto por 38 Programas de Avaliação da Conformidade e abrange produtos da linha branca, veículos e edificações, sendo coordenados pelo CONPET, Programa Nacional da Racionalização do Uso dos Derivados do Petróleo e do Gás Natural, e pelo PROCEL, que incentiva o uso consciente da energia elétrica em edificações.

Em 2003, A Eletrobrás, por meio do PROCEL, instituiu o PROCEL EDIFICAÇÕES, onde as ações relacionadas à energia elétrica foram somadas a outras, tendo como escopo primário a otimização no uso dos recursos naturais (água, luz, ventilação etc.), buscando sempre reduzir o desperdício desses recursos e os impactos sobre o meio ambiente. Em 2009, foi publicada a metodologia para a classificação do nível de eficiência de uma edificação e em 2010 essa metodologia foi revisada, passando a contemplar, também, as edificações residenciais. Em construções novas a etiqueta é concedida na fase de projeto e após a construção da edificação. Edifícios já construídos também podem obter a etiqueta mediante inspeção local. Os sistemas avaliados nas construções públicas e comerciais são os seguintes: envoltória, iluminação e condicionamento de ar. Edifícios da Administração Pública Federal são, desde 2014, obrigados a se submeterem ao PBE Edifica [23]. Para a obtenção do selo PROCEL EDIFICA, o empreendimento deve, primeiro, conquistar a Etiqueta PBE Edifica, classe A, para os três sistemas [24].



Fig. 9. Selo Procel Edificações  
Fonte: Procelinfo

B. Certificação LEED

Leadership in Energy and Environmental Design, ou em sua forma abreviada, LEED, é um sistema de certificação usado em mais de 160 países. Essa certificação tem por objetivo incentivar a transformação de projetos, obra e operação das edificações, buscando sempre a máxima eficiência no quesito sustentabilidade.

A certificação LEED foi criada, em 1993, pelo United States Green Building Council, organização sem fins lucrativos sediada em Washington D.C., e no Brasil, o órgão responsável pela certificação LEED é o Green Building Council Brasil.

Obter a certificação LEED é uma das maneiras disponíveis para que os gestores de uma edificação sinalizem à sociedade, e aos investidores, suas preocupações com o meio ambiente e com o conforto dos usuários que utilizam os espaços desta edificação, fazendo com que as ações efetuadas, de fato, para minimizar os impactos ambientais e sociais sejam conhecidas.

O sistema LEED está baseado em pontuação, de 40 a 110, onde o nível da certificação dependerá do score alcançado pela construção:

- Nível Certificado – 40 a 49 pontos;
- Nível Silver – 50 a 59 pontos;
- Nível Gold – 60 a 79 pontos;
- Nível Platinum – 80 ou mais pontos.

A pontuação é incrementada à medida que pré-requisitos (práticas obrigatórias) e créditos (recomendações) são atendidos [25].



Fig. 8. Etiqueta PBE Edifica  
Fonte: PBE



Fig. 10. Níveis Certificação LEED  
Fonte: GBC Brasil

A certificação LEED está aberta para projetos em qualquer fase de construção, seja essa construção nova ou um *retrofit*, e está dividida em diferentes tipologias:

- BD+C – Novas construções;
- ID+C – Design de interiores;
- O+M – Edifícios existentes;
- ND – Bairros.

As avaliações estão divididas nas seguintes categorias:

- Processo integrado;
- Localização e transporte;
- Terrenos sustentáveis;
- Eficiência hídrica;
- Energia e atmosfera;
- Materiais e recursos;
- Qualidade do ambiente interno;
- Inovação;
- Prioridade regional.

O Brasil possui mais de 600 empreendimentos com algum nível de certificação LEED, de acordo com a consultoria Sienge [26].

### C. Interações entre certificações

O Selo Procel Edificações permite sua utilização para comprovação de pré-requisito de desempenho energético mínimo na busca de um nível de certificação LEED. A equivalência pode ser adotada em projetos de edificações comerciais, públicas de serviços, que estejam dentro do território nacional, porém, não pode ser relacionado em projetos destinados à assistência médica, instalações industriais, data centers, laboratórios e armazéns.

Já a Etiquetagem de Edificações – PBE Edifica, é observada pela certificação AQUA, Alta Qualidade Ambiental.

AQUA, é uma certificação internacional, com foco na homologação de construções sustentáveis, residenciais ou não, desenvolvida com base na certificação francesa Démarche HQE (Haute Qualité Environnementale). A fundação Vanzolini tem a exclusividade da aplicação desta certificação no Brasil.

Existem outras certificações semelhantes à LEED e à AQUA, porém, este trabalho não as contemplará, por não terem a mesma relevância que estas, no Brasil.

## VI. ILUMINAÇÃO EM AMBIENTES CORPORATIVOS

Diante do exposto até aqui, é perceptível o quão importante é o planejamento e a implantação de sistemas que busquem a máxima eficiência energética dentro de uma construção.

Dentre os vários sistemas que compõem o projeto de um edifício corporativo, o de iluminação tem grande importância, já que, na maioria dos casos, durante o expediente, precisa atuar de maneira ininterrupta, oferecendo aos usuários não somente condições de executarem suas tarefas, mas também proporcionando conforto visual, pois existem normas que precisam ser respeitadas.

No Brasil, a Norma Regulamentadora 17 (NR-17), aprovada pelo Ministério do Trabalho em 1978, e a Norma de Higiene Ocupacional nº 11 (NHO 11), da Fundacentro, norteiam os parâmetros relacionados, também, à iluminação em ambientes corporativos.

Diz a NR-17:

**17.8.1** *Em todos os locais e situações de trabalho deve haver iluminação, natural ou artificial, geral ou suplementar, apropriada à natureza da atividade.*

**17.8.2** *A iluminação deve ser projetada e instalada de forma a evitar ofuscamento, reflexos incômodos, sombras e contrastes excessivos.*

**17.8.3** *Em todos os locais e situações de trabalho internos, deve haver iluminação em conformidade com os níveis mínimos de iluminamento a serem observados nos locais de trabalho estabelecidos na Norma de Higiene Ocupacional no 11 (NHO 11) da Fundacentro - Avaliação dos Níveis de Iluminamento em Ambientes Internos de Trabalho, versão 2018.*

A NHO 11 tem como objetivo estabelecer critérios e procedimentos para a avaliação dos níveis de iluminamento em ambientes internos, e, também, indicar os principais parâmetros que interferem nos aspectos quantitativos e qualificativos relacionados à iluminação interna dos ambientes de trabalho.

O nível de iluminância mínima é estabelecido de acordo com a tarefa a ser executada.

TABELA II  
REQUISITOS MÍNIMOS DE ILUMINÂNCIA EM ESCRITÓRIOS  
FONTE: NHO 11

Tarefa	E (lux)	IRC/Ra
Arquivamento, cópia, circulação etc.	300	80
Escrever, teclar, ler e processar dados.	500	80
Desenho técnico	750	80
Estação de projeto assistido por computador	500	80
Sala de reunião e conferência	500	80
Recepção	300	80
Arquivo	200	80

### A. Lúmens e Lux

O fluxo luminoso de uma lâmpada, por exemplo, é dado em lúmens (lm) não em lux (lx). Lux, é usado na medição do fluxo luminoso por área, ou seja, é a densidade da intensidade luminosa, também chamada de iluminância. 1 lux é igual a 1 lúmen / m<sup>2</sup>.

### B. Nível de iluminamento mínimo (E)

Valor de iluminância mínimo, exigido, para a realização de determinada tarefa. É dado em lux. A NHO 11 trata esses valores de maneira individual, para cada segmento e tarefa. A tabela II mostra o nível de iluminamento mínimo para diversas tarefas em escritórios, onde nem todos possuem o mesmo valor.

### C. Índice Geral de Reprodução de Cor (IRC/Ra)

Criado em 1965 pela Comissão Internationale de l'Eclairage (CIE), o IRC diz respeito à competência que uma fonte luminosa tem para reproduzir fielmente as cores de um objeto. Possui uma escala de 0 a 100, onde o valor mais alto, referenciado na luz solar, indica maior competência. A NHO 11 não recomenda um IRC menor que 80 em locais onde as pessoas trabalhem por um longo período. Contudo, o IRC é superado por outro método de avaliação, denominado TM-30. Levando em conta o IRC, uma lâmpada tubular fluorescente pode alcançar o mesmo IRC de uma carga composta por LEDs, porém, o LED consegue reproduzir um espectro de cores mais fiel à luz natural [27].



Fig. 11. IRC  
Fonte: Aladin Iluminação

## VII. EM BUSCA DA EFICIÊNCIA

Em uma edificação, não é tarefa fácil desassociar eficiência e processos automatizados. Os processos automatizados são utilizados mesmo em sistemas menos complexos que o controle operacional em um edifício, como, por exemplo, no ar-condicionado de um veículo ou de uma residência. Em sistemas menos sofisticados, onde não existe um mecanismo que realize a comparação entre a temperatura ambiente e a temperatura selecionada pelo usuário e atue buscando manter o *set point*, mesmo quando este ambiente alcança uma temperatura confortável para este indivíduo o insuflamento não se altera, e um novo ajuste precisa ser realizado, manualmente, caso contrário o conforto térmico estará ameaçado. Em sistemas mais sofisticados, existe uma constante comparação entre a temperatura ambiente, a temperatura selecionada pelo usuário e

a temperatura do insuflamento, sendo essas informações utilizadas para o controle automático da unidade de ar-condicionado, mantendo o *set point* constante. São objetivos primários desse controle o máximo conforto térmico oferecido ao usuário e a máxima eficiência energética, já que o sistema pode diminuir sua carga de trabalho, automaticamente, quando menos exigido.

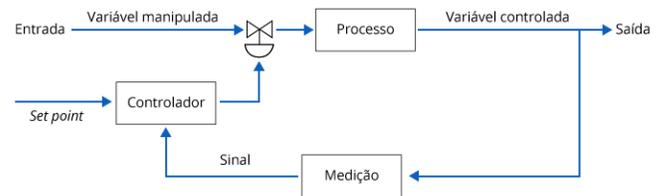


Fig. 12. Controle realimentado  
Fonte: Instituto Metr pole Digital

Não   raro encontrar solu es onde diversos sistemas estão integrados. Por exemplo, um sistema pode controlar as cortinas de uma sala, evitando a incidência acentuada de luz solar, reduzindo, assim, a temperatura deste ambiente e a demanda do sistema de climatiza o, em contrapartida, se a intensidade de luz natural diminui   necessário um incremento nos níveis de ilumina o artificial desta sala, caso o sistema permita.   necessário realizar um levantamento técnico para determinar a maneira mais eficiente de atua o desses sistemas.

O controle inteligente da ilumina o artificial em um ambiente corporativo, buscando a máxima eficiência energética, proporcionando o ingresso deste empreendimento nos processos de certifica o, e observando as normas que regulam as atividades profissionais nesses espaços, requer o emprego de lógicas automatizadas e hardware compatível com o tipo de controle desejado.

A evolu o das lâmpadas colaborou para o aumento da eficiência energética, pois antes, em ambientes corporativos, havia o predomínio de instala es que faziam uso de lâmpadas fluorescentes, e hoje, as instala es buscam as lâmpadas que utilizam LEDs. São isso já representa um salto na eficiência energética, e pode ser comprovado quando comparamos os parâmetros da Tabela I. O uso de lâmpadas compostas por LEDs   uma realidade, também, no ambiente doméstico e na ilumina o pública, e isso colabora para que se tornem cada vez mais acessíveis. Porém, quando o foco está na máxima eficiência que se pode alcançar em uma instala o apenas isso não basta. Uma sala de reuniões sem pessoas em seu interior continuará demandando energia elétrica se a ilumina o desta sala continuar ligada depois que as pessoas se ausentarem dela, não importa se a lâmpada   hal gena, fluorescente ou LED, o consumo elétrico será reduzido, dependendo do tipo de lâmpada empregado neste ambiente, mas, ainda assim, continuará existindo.

Um outro aspecto abordado em instala es corporativas diz respeito ao aproveitamento da luz natural para manter os níveis de iluminamento mínimo, recomendados pela norma NHO 11. De acordo com a Tabela II, uma sala de reuniões necessita de, no mínimo, 500 lux de iluminamento. Se existe incidência de luz natural nesta sala, fornecendo 300 lux, a ilumina o

artificial poderá ser ajustada para adicionar 200 lux a este ambiente, tornando a instalação altamente eficiente.

**A. Automação Predial**

A automação predial, ou *Building Management System* (BMS), pode ser ter seu conceito resumido como um conjunto de ferramentas tecnológicas que atuam de forma autônoma, porém com parâmetros programados, integrando sistemas na busca por maior eficiência operacional e energética. A automação predial permite que vários componentes dentro de um edifício, como sistemas de iluminação, sonorização, climatização, alarmes e segurança, atuem com o mínimo de intervenção humana, aliando conforto, eficiência e praticidade [28].



Fig. 12. Automação Predial  
Fonte: Kosten-Haus

De acordo com a Allied Market Research, o mercado mundial de automação predial, em 2027, deve alcançar valores em torno de US\$ 215 bilhões, e isso indica uma crescente demanda por produtos e serviços que satisfaçam as necessidades dos projetos BMS.

**B. Estrutura Necessária**

Basicamente, a estrutura de um sistema de automação predial conta com um computador central, responsável por receber e gerenciar os dados enviados por controladoras periféricas. A comunicação entre os sistemas é realizada com a utilização de protocolos comuns a esses sistemas, trafegando em redes TCP, KNX, Modbus, RS-485, Zigbee, LoRaWAN, BACnet entre outras.

Os dados para análise e controle são, geralmente, coletados por sensores dos mais variados tipos, como luminosidade, presença, crepuscular, temperatura, pressão, anemômetros, hidrômetros etc. Esses dados são enviados para as controladoras que atuam de acordo com a lógica programada, e repassados ao computador central, para que um outro subsistema seja

acionado, se necessário. Por exemplo, em um sistema de alarme, quando o detector de fumaça é acionado, uma informação é enviada à controladora desse sistema, que então executa os procedimentos programados para este caso, essa mesma informação pode ser enviada, pelo computador central, ao sistema de sonorização do prédio, que então emitirá um alerta sonoro aos ocupantes dessa instalação. Ao mesmo tempo, se acionado pelo computador central, o sistema de iluminação criará o melhor cenário, do ponto de vista da luminosidade, para que esses ocupantes encontrem as rotas de fuga com maior agilidade possível. O computador central também poderá disparar avisos para a administração do prédio, para a central remota de monitoramento e para o quartel do Corpo de Bombeiros mais próximo, agilizando o atendimento.

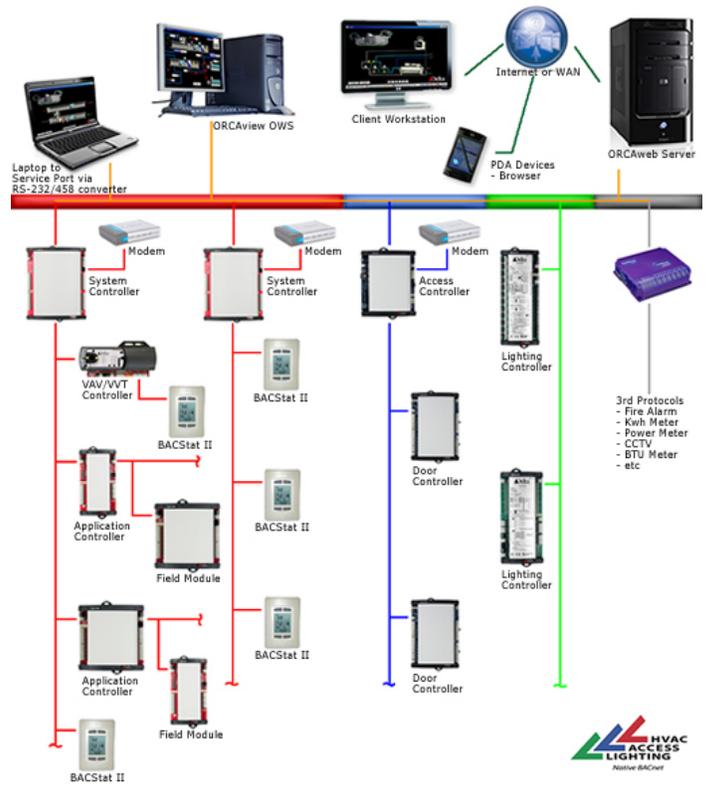


Fig. 13. Típica distribuição BMS  
Fonte: Delta Controls

**VIII. DO PAPEL À REALIDADE**

As demandas técnicas de cada edificação são únicas, pois fatores como localização geográfica do empreendimento, rotina de uso, objetivos energéticos, materiais empregados na construção etc., não se repetem de maneira integral, portanto, o desafio da engenharia é analisar cada caso para então construir um escopo de atuação que atenda a esses requisitos individuais, e esse fator é determinante para que novas tecnologias sejam estudadas e desenvolvidas, viabilizando projetos altamente eficientes, do ponto de vista energético.

Nessa sessão, estarão listados alguns casos de sucesso, onde a eficiência energética foi alcançada com o uso de dispositivos inteligentes.

### A. Escritório Abree, São Paulo

O escritório da Associação Brasileira de Reciclagem de Eletroeletrônicos e Eletrodomésticos, localizado em São Paulo, contava com lâmpadas do tipo fluorescente distribuídas de forma irregular, não possuindo uniformidade de iluminância adequada para seus usuários. As luminárias fluorescentes foram substituídas por LEDs e o escritório recebeu um novo projeto luminotécnico, reduzindo em 17,5% os níveis considerados para a certificação LEED [29].

### B. Escritório Petrobras, São Paulo

O escritório da Petrobras, no Edifício São Paulo, Avenida Paulista, recebeu um *retrofit* com o objetivo de melhorar a eficiência energética do sistema de iluminação.

O sistema de iluminação anterior era composto somente por luminárias tubulares fluorescentes

Usando um sistema de luminárias inteligentes, com sensores que fazem a medição em tempo real da iluminância e da ocupação e ajustam os níveis de luz artificial de forma autônoma, utilizando para isso o protocolo DALI (Digital Addressable Light Interface), o resultado alcançado foi de 40% de redução no consumo de energia elétrica, oferecendo, ainda, maior conforto visual para seus usuários.

A título de curiosidade, o prédio do Edifício São Paulo foi o primeiro no Brasil a conseguir a certificação LEED [30].

### C. Zurich North America Headquarter, Illinois

O escritório da Zurich, em Illinois, Estados Unidos, é considerado uma obra de arte da arquitetura contemporânea. O projeto prioriza o uso da luz natural e conta com grandes áreas envidraçadas.

Para o controle da iluminância dos ambientes colaborativos, foi adotado um software de controle dedicado, atuando em conjunto com sensores de ocupação e luminosidade, que decidem o ponto ideal de luminosidade para cada luminária, objetivando o maior conforto visual para seus usuários e o melhor cenário energético. O sistema de controle também atua sobre as persianas, desenvolvidas especialmente para preservar parte da vista externa.

O prédio da Zurich alcançou o nível Platinum de certificação LEED [31].

### D. Birmann 32, São Paulo

30 pavimentos, distribuídos em 125m de altura. O prédio, cujo projeto, assinado pelo escritório Pei Partnership Architects, de Nova York, está avaliado em mais de 1 Bilhão de Reais, e é um dos destaques corporativos da cidade de São Paulo. É conhecido por ter a famosa escultura da baleia prateada às suas portas.

O empreendimento está na lista Triple A, e possui certificação LEED Platinum, atestando alto nível de especificações técnicas.

A energia elétrica consumida pelo edifício pode ser adquirida através da concessionária ENEL ou do Mercado Livre de Energia, visando o menor custo, ou pode ser gerada usando gás ou diesel, em emergências.

O prédio conta com tratamento de água e esgoto e é autossuficiente em relação aos recursos hídricos.

Os vidros insulados, que trabalham em conjunto com cortinas automatizadas que acompanham a trajetória do sol, garantem conforto térmico para seus usuários e proporcionam maior eficiência para o sistema de iluminação e de climatização. A iluminação é composta majoritariamente por LEDs, e conta com um sistema inteligente de ajuste, de acordo com o *setpoint* de iluminância adotado. O sistema de climatização realiza o insuflamento do ar pelo piso, garantindo uniformidade na temperatura ambiente e alta eficiência. Fazem parte do sistema de gerenciamento sensores de CO<sub>2</sub> nos ambientes de trabalho e de CO nas garagens [32].

## IX. CONCLUSÃO

Sustentabilidade e eficiência energética, como visto neste artigo, são temas intimamente ligados, e os desafios para suprir a demanda de equipamentos e serviços nessas áreas, são apresentados, para as engenharias, de maneira dinâmica. Existe um amplo espaço para estudos relacionados ao controle eficiente de sistemas operacionais em um edifício. O sistema de iluminação é certamente alvo de muitos desses estudos, com atuação de empresas de grande porte, como Lutron, Schneider Electric, ABB, Mitsubishi, entre outras.

Um campo de estudos promissor envolve a iluminação de ambientes com luminárias *tunable white*. Essa tecnologia permite o controle da temperatura de cor, proporcionando aos usuários distintas sensações em diferentes partes do dia. Quando o objetivo é o máximo rendimento dos profissionais a temperatura de cor tende ao branco azulado e quando o objetivo é proporcionar um certo nível de relaxamento, ao final do expediente, por exemplo, a temperatura de cor tende ao branco amarelado, fazendo uso de técnicas que envolvem o ciclo circadiano. Nesta tecnologia a luminária possui dois tipos de LEDs, um que emite a cor branca e outro que emite a cor amarela, sendo necessário um driver de controle que possua dois canais, como, por exemplo, drivers que dispõem da tecnologia DALI (Digital Addressable Lighting Interface).

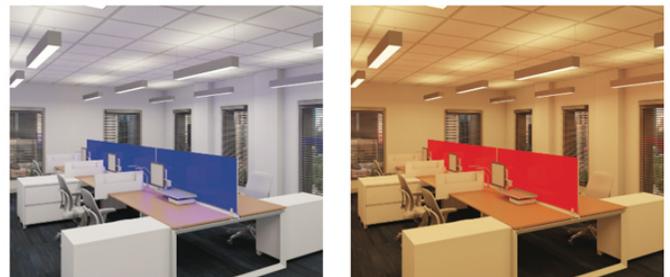


Fig. 15. Ciclo Circadiano em Escritórios  
Fonte: Illuminet.

Este, é somente um exemplo onde a engenharia encontra um amplo campo de atuação, inovando e contribuindo para um planeta mais eficiente.

## REFERÊNCIAS

- [1] <https://www.cushmanwakefield.com/en/brazil/insights/2022-04-sustainable-building>
- [2] [https://www.griclub.org/news/real-estate/brasil-e-o-quinto-pais-com-mais-empreendimentos-sustentaveis\\_1537](https://www.griclub.org/news/real-estate/brasil-e-o-quinto-pais-com-mais-empreendimentos-sustentaveis_1537)
- [3] <https://www.gov.br/trabalho-e-previdencia/pt-br/composicao/orgaos-especificos/secretaria-de-trabalho/inspecao/seguranca-e-saude-no-trabalho/normas-regulamentadoras/nr-17-atualizada-2021.pdf>
- [4] [http://arquivosbiblioteca.fundacentro.gov.br/exlibris/aleph/a23\\_1/apache/media/33PMBTUV2X3HFYSPGFENQ6VSHA35H.pdf](http://arquivosbiblioteca.fundacentro.gov.br/exlibris/aleph/a23_1/apache/media/33PMBTUV2X3HFYSPGFENQ6VSHA35H.pdf)
- [5] <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-675/topico-638/BEN2022.pdf>
- [6] <https://www.alemdaenergia.engie.com.br/brasil-tem-tres-das-dez-maiores-hidreletricas-do-mundo/>
- [7] <https://www.portal-energia.com/maiores-centrais-hidroeletricas-mundo/>
- [8] <https://www.hydroreview.com/hydro-industry-news/installed-global-hydropower-capacity-could-reach-1200-gw-in-2022-report-says/#gref>
- [9] <https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/fontes-de-energia>
- [10] <https://www.statista.com/statistics/267233/renewable-energy-capacity-worldwide-by-country/>
- [11] <http://www.ons.org.br/paginas/energia-agora/balanco-de-energia>
- [12] <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/spe/publicacoes/boletins-mensais-de-energia/2022-2/portugues/1-boletim-mensal-de-energia-julho-22.pdf/view>
- [13] <https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/eficiencia-energetica>
- [14] <https://hoarelea.com/2019/01/15/the-ultimate-guide-to-circadian-lighting/>
- [15] <https://www.abilumi.org.br/tabela-de-equivalencia-abilumi-2020/>
- [16] <https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/eficiencia-energetica/pee>
- [17] <https://esferaenergia.com.br/blog/gestao-empresarial/o-que-diagnostico-energetico/>
- [18] <https://www.fiesp.com.br/sindratar/noticias/o-uso-do-ar-condicionado-e-o-consumo-de-energia-eletrica/>
- [19] <https://esferaenergia.com.br/blog/gestao-empresarial/o-que-diagnostico-energetico/>
- [20] <http://www.procelinfo.com.br/main.asp?Team=%7B505FF883%2DA273%2D4C47%2DA14E%2D0055586F97FC%7D>
- [21] <http://www.procelinfo.com.br/main.asp?View=%7BD3C90184-7BCF-454B-A22E-31B8F2E1EE3C%7D&Team=&params=itemID=%7BC28C2387-3172-4D9F-B769-EB386F0961E5%7D;LumisAdmin=1;&UIPartUID=%7BD90F22DB-05D4-4644-A8F2-FAD4803C8898%7D>
- [22] <https://www.gbcbrasil.org.br/transformando-o-mercado-da-construcao-green-buildings-e-o-esg/>
- [23] <https://pbeedifica.com.br/sobre>
- [24] <http://www.procelinfo.com.br/main.asp?View={E85A0ACC-8C62-465D-9EBD-47FF3BAECDAAE}#1>
- [25] <https://www.gbcbrasil.org.br/certificacao/certificacao-leed/>
- [26] <https://www.sienge.com.br/blog/o-que-e-certificacao-leed/>
- [27] <https://www.lumicenteriluminacao.com.br/reproducao-de-cores-irc-e-tm-30/>
- [28] <https://kostenhaus.com.br/artigo/automacao-predial>
- [29] <https://www.lighting.philips.com.br/casos/cases/office/abree>
- [30] <https://www.lighting.philips.com.br/casos/cases/office/petrobras>
- [31] [https://assets.lutron.com/a/documents/3684880zurichcasestudy\\_english.pdf](https://assets.lutron.com/a/documents/3684880zurichcasestudy_english.pdf)
- [32] [https://abrava.com.br/wp-content/uploads/2021/11/Lamina-HeatingCooling\\_Destaques2021FinalAprovada.pdf](https://abrava.com.br/wp-content/uploads/2021/11/Lamina-HeatingCooling_Destaques2021FinalAprovada.pdf)