www.revistaft.com.br

Revista FT | ISSN 1678-0817 | v. 30, n. 164, 2026 | DOI: 10.69849/yk969c05

Diagnóstico e plano de eficiência energética, segurança elétrica e geração fotovoltaica: estudo de caso em edificação religiosa

Diagnosis and plan for energy efficiency, electrical safety, and photovoltaic generation: a case study in a religious building

Bianca de Oliveira Gomes[1]
Glayce Viviane Alves de Almeida[1]
Jhessyca Lorrany Souza Melo[1]
Pablo Yuri Soares Silva[1]
Samuel Medeiros dos Reis[1]
Thalys Eduardo Nascimento Soares[1]
Vitor Henrique Muniz Ferreira[1]
Silvana Julia da Silveira Diniz[1]

RESUMO

A eficiência energética é a melhor estratégia para diminuir desperdícios energéticos, preservar os recursos naturais e promover a redução de custos. Este trabalho apresenta um estudo de caso com a finalidade de propor soluções técnicas economicamente viáveis reduzindo os custos com a energia elétrica e elevando a segurança das instalações, para a Igreja Presbiteriana Central de Contagem, em Minas Gerais. Os procedimentos incluíram a análise do histórico de faturas, enquadramento tarifário, além de visitas técnicas para o levantamento das cargas elétricas, inspeção do quadro de distribuição e o dimensionamento da usina fotovoltaica. A economia projetada na fatura e o prazo estimado de retorno do investimento, em três anos, indicaram viabilidade econômica nas condições estudadas. Conclui-se que a adoção conjunta das medidas propostas pode reduzir as despesas com eletricidade e melhorar a segurança das instalações.

Palavras-chave: Eficiência energética. Usina fotovoltaica. Segurança elétrica. Edificação religiosa. Viabilidade econômica.

ABSTRACT

Energy efficiency is the best strategy to reduce energy waste, preserve natural resources, and promote cost reduction. This study presents a case study aimed at proposing economically viable technical solutions to reduce electricity costs and enhance installation safety for the Igreja Presbiteriana Central de Contagem, in Minas Gerais, Brazil. The procedures included the analysis of utility bill history and tariff classification, as well as technical visits for electrical load surveying, distribution board inspection, and photovoltaic power plant sizing. The projected bill savings and the estimated three-year payback period indicated economic viability under the studied conditions. It is concluded that the combined adoption of the proposed measures can reduce electricity expenses and improve installation safety.

Keywords: Energy efficiency. Photovoltaic power plant. Electrical safety. Religious building. Economic viability.

1 Centro Universitário Una – Contagem – Minas Gerais – Brasil.

1 INTRODUÇÃO

O sistema de geração de energia elétrica do Brasil possui uma característica relacionada à energia renovável favorável se comparada ao resto do mundo. Conforme o Anuário Estatístico de Energia Elétrica, as usinas hidrelétricas foram responsáveis pela maior parte da geração em 2025, compondo uma matriz cuja participação total de fontes renováveis atingiu 86,8% (EPE, 2026). Apesar dessa vantagem ambiental, com sua dependência de períodos chuvosos gera-se uma possível instabilidade no sistema, o que encarece a tarifa de energia em períodos de estiagem, o que impacta diretamente o cliente final.

Diante desse cenário, a eficiência energética e a diversificação de fontes tornam-se alternativas estratégicas. A geração distribuída (GD), que é regulamentada pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), regulariza e permite a produção de eletricidade para o consumo próprio do local. A fonte solar fotovoltaica tem se destacado nesse modelo, alcançando um aumento de 34% em sua capacidade instalada em relação a 2024, motivada principalmente pela micro e minigeração distribuída (MMGD) (EPE, 2026). Nesse sistema, a energia produzida supre diretamente a demanda local e, conforme a regulamentação do Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE), eventuais excedentes podem ser convertidos em créditos de energia para a unidade consumidora (BRASIL, 2023).

Para reduzir o desperdício do consumo final e organizar o mercado, o Brasil possui algumas iniciativas voltadas para isso, tal qual o Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE) do Inmetro e o selo Procel. Amparados pela Lei de Eficiência Energética (Lei nº 10.295/2001), esses programas estabelecem padrões mínimos de desempenho para equipamentos e incentivam a modernização das instalações (BRASIL, 2021; BRASIL, 2001).

O impacto das edificações sob este contexto é expressivo: segundo as informações presentes no Atlas de Eficiência Energética (EPE, 2025), elas correspondem a 48% de toda a eletricidade consumida em todo território brasileiro. Dentro desse segmento, os templos religiosos integram o setor de Serviços, onde a eletricidade representa 90% do consumo final. Diferente do que está presente no setor residencial, os pontos de gastos mais altos nessas estruturas estão no funcionamento simultâneo dos sistemas de iluminação, sonorização e climatização utilizados durante os eventos, gerando picos na curva de carga que exigem um dimensionamento adequado para sua operação.

Contudo, a otimização energética em edifícios exige também a adequação da segurança elétrica. Infraestruturas antigas e sem proteção adequada provocam perdas técnicas

e riscos operacionais, inviabilizando a conexão de sistemas fotovoltaicos. Desse modo, a avaliação dos componentes do sistema (como fiação, quadros de distribuição (QDC) e dispositivos de proteção) deve ser pautada pelas normas regulamentadoras (ABNT NBR 5410, 2004), enquanto a análise tarifária surge como o primeiro passo para reduzir custos sem demandar investimentos iniciais.

Considerando que o estado de Minas Gerais se destaca pela maior capacidade instalada e expansão na geração (EPE, 2026), pequenas melhorias tecnológicas e de gestão de demanda em edificações locais produzem um efeito positivo direto na rede. A partir desta premissa, este artigo desenvolve um diagnóstico de eficiência energética focado no estudo de caso da Igreja Presbiteriana Central de Contagem. Sob essa perspectiva, o estudo estrutura-se a partir da seguinte problemática: de que maneira a implementação dessa estratégia, a modernização da infraestrutura e a inserção de fonte renovável podem otimizar os custos com eletricidade na instituição, garantindo viabilidade econômica e segurança operacional?

A escolha do tema justifica-se pela aplicação de um olhar técnico em uma entidade sem fins lucrativos que traz benefícios diretos à gestão do local, gerando a redução de despesas fixas operacionais, além de assegurar o conforto térmico e visual da comunidade. Além disso, o estudo contribui para o avanço da eficiência energética aplicada e para o alinhamento da edificação aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU.

O objetivo geral deste trabalho é identificar e propor estratégias de eficientização e otimização do consumo de energia elétrica na edificação religiosa, mapeando melhorias na infraestrutura elétrica, a modernização de seus equipamentos e o dimensionamento de um sistema fotovoltaico. Para alcançar o objetivo geral, definem-se os seguintes objetivos específicos: (a) analisar os históricos de faturas e o enquadramento tarifário junto à concessionária de energia; (b) mapear as cargas e inspecionar as condições gerais da infraestrutura elétrica segundo a NBR 5410; (c) propor a substituição de equipamentos ineficientes por modelos de maior eficiência energética; (d) dimensionar o sistema fotovoltaico de acordo com a demanda da edificação; e (e) calcular a estimativa de economia financeira e o tempo de retorno do investimento (payback).

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Fundamentos da eficiência energética

A matriz energética de um país engloba o conjunto de recursos disponíveis e empregados nas etapas de transformação, distribuição e consumo de energia, enquanto a

matriz elétrica corresponde especificamente aos recursos destinados à geração de eletricidade (REIS, 2015). Entretanto, a expansão da demanda por energia e os custos associados ao consumo tornam necessário utilizar a eletricidade de forma cada vez mais eficiente.

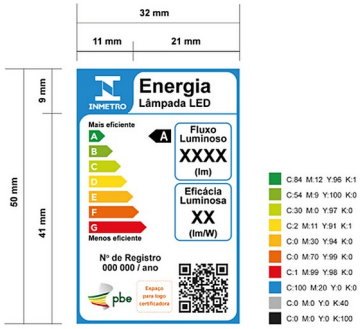
Nesse contexto, a busca por tornar o uso da eletricidade mais eficiente nos conduz ao conceito de Eficiência Energética. Longe de significar uma simples redução no consumo que gere privações, o termo refere-se à utilização racional dos recursos, com foco na eliminação de desperdícios. Conforme aponta Seixas (2020), trata-se de garantir o mesmo serviço ou resultado demandando uma quantidade menor de energia. Essa perspectiva é complementada pelo Instituto Nacional de Eficiência Energética (INEE), que descreve a prática como o uso consciente para manter o desempenho esperado das atividades com o menor gasto possível, o que agrega benefícios tanto econômicos quanto ambientais.

Segundo Seixas (2020), a eficiência energética no Brasil abrange diversos setores e foi impulsionada por políticas públicas históricas. A iniciativa pioneira foi o Programa Conserve, criado pelo Ministério de Minas e Energia (MME) em 1981, com o objetivo de economizar energia na indústria, desenvolver produtos mais eficientes e priorizar as fontes energéticas nacionais em vez das importadas.

No Brasil, essas iniciativas são desenvolvidas desde a criação do Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), em 1984, coordenado pelo Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (Inmetro). O programa tem como finalidade fornecer informações sobre o desempenho energético dos produtos, permitindo a comparação entre diferentes modelos e estimulando a fabricação de equipamentos mais eficientes (BRASIL, 2021).

Gerenciado pela Eletrobras, o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (Procel) ampliou as políticas de conservação ao promover eficiência, capacitação técnica e auditorias. Em parceria com o Inmetro, foi criado o Selo Procel para classificar a energia dos produtos (BRASIL; GIZ, 2019). Dessa forma, enquanto a Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) classifica os equipamentos em faixas de eficiência, o Selo Procel destaca aqueles com o melhor desempenho energético.

Figura 1 – ENCE para luminária com tecnologia LED



Fonte: Inmetro (2026)

No início dos anos 2000, duas leis fortaleceram o arcabouço legal do setor no país. Conforme destacam Brasil e GIZ (2019), a Lei nº 9.991/2000 criou o Programa de Eficiência Energética (PEE), obrigando as concessionárias a investirem em projetos da área, sob a fiscalização da Aneel. Na sequência, a Lei nº 10.295/2001 instituiu um comitê gestor para definir índices mínimos de eficiência para equipamentos e promover práticas sustentáveis na construção civil.

Aliada a esse arcabouço legal, a escolha adequada dos equipamentos de uma edificação é essencial para reduzir o consumo de energia elétrica. A principal estratégia para isso é substituir aparelhos convencionais por tecnologias mais eficientes, garantindo a manutenção ou melhoria da qualidade do serviço.

Nesse sentido, nos sistemas de iluminação, Mamede Filho (2023) destaca a tecnologia LED (Light Emitting Diode) pela sua alta eficiência luminosa e baixo consumo. Segundo o autor, essas lâmpadas são constituídas por diodos semicondutores que, ao receberem corrente elétrica em uma junção P-N, convertem energia elétrica em fluxo luminoso, apresentando características de emissão determinadas pelos materiais utilizados em sua fabricação. Essas lâmpadas oferecem fácil substituição (retrofit), acionamento instantâneo e baixa geração de calor. O autor ressalta ainda a qualidade visual, os benefícios ambientais e a capacidade dos LEDs de economizar até 80% de energia em comparação às lâmpadas incandescentes, vantagens técnicas e econômicas que justificam amplamente seu uso em projetos de eficiência energética.

Para ilustrar as diferenças entre as principais tecnologias, Passini *et al.* (2021) apresentam um comparativo entre diferentes tipos de lâmpadas, conforme demonstrado na figura 2.

Figura 2 – Comparativo entre tecnologias de iluminação

Tipo	Comum	Fluorescente	LED
			
Durabilidade	1 ano	5 anos	15 anos
Consumo	50 W	10 W	5 W
Economia	x	até 80%	até 95%
Emissão de calor	ALTA	MÉDIA	BAIXA
Ecológica	Não contém mercúrio	Contém mercúrio	Não contém mercúrio
Eficiência	Pouca	Mediana	Muita

Fonte: Passini *et al.* (2021)

Conforme evidenciado pelos dados de Passini *et al.* (2021), a superioridade do LED em durabilidade, economia e baixo impacto ambiental consolida a substituição de lâmpadas convencionais como uma estratégia indispensável em projetos de eficiência energética.

2.2 Consumo e tarifação de energia elétrica

As unidades consumidoras são classificadas em dois grupos tarifários, demonstrados na Tabela 1, denominados Grupo A e Grupo B, conforme a classe de tensão de fornecimento de energia elétrica. A partir dessa classificação são definidos os valores das tarifas aplicáveis às unidades consumidoras (BARROS; BORELLI; GEDRA, 2015).

Tabela 1 – Características dos grupos tarifários

Característica	Grupo A	Grupo B
Tensão de fornecimento	Igual ou superior a 2.300 V	Inferior a 2.300 V
Potência instalada	Superior a 75 kW	Até 75 kW
Forma de tarifação	Binômia	Monômia
Cobrança principal	Demanda e consumo	Consumo
Modalidades tarifárias	Horária Azul e Horária Verde	Convencional e Tarifa Branca

Fonte: Elaborado pelos autores com base em Barros, Borelli e Gedra (2015) e ANEEL (2022)

Segundo a ANEEL (2022) e Barros, Borelli e Gedra (2015), os consumidores do Grupo A dividem-se em duas modalidades tarifárias: a Horária Verde, que possui um valor único para a demanda e taxas diferenciadas de consumo nos horários de ponta e fora de ponta;

e a Horária Azul, na qual tanto a demanda quanto o consumo possuem valores variáveis para esses mesmos períodos.

Segundo Barros, Borelli e Gedra (2015), o Grupo B (que inclui residências, comércios e pequenas indústrias) está sujeito a um custo de disponibilidade, cobrado independentemente do consumo. Esse grupo também possui a opção da tarifa branca, criada para incentivar o uso de energia fora dos horários de pico ao dividir as tarifas em três faixas:

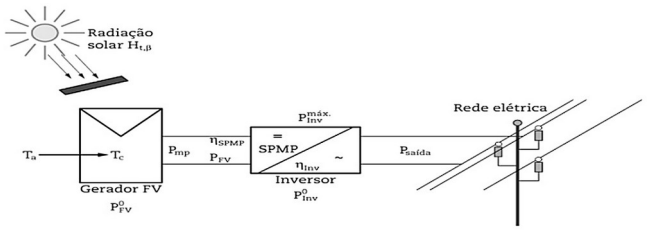
- Ponta: três horas consecutivas de maior demanda.
- Intermediário: períodos imediatamente antes e depois da ponta.
- Fora de ponta: demais horas do dia, incluindo integralmente os finais de semana e feriados nacionais.

O Ministério de Minas e Energia (2026) também apresenta a composição da conta de luz, destacando os custos relacionados à geração, transmissão e distribuição, além dos encargos setoriais e tributos. A fatura também pode incluir o sistema de bandeiras tarifárias, que sinaliza alterações nos custos de geração de energia conforme as condições do sistema.

2.3 A geração fotovoltaica

A configuração básica de um sistema fotovoltaico conectado à rede (SFCR) é formada por três componentes essenciais: o gerador fotovoltaico, que converte a radiação solar em energia de corrente contínua (CC); o inversor, que transforma essa energia em corrente alternada (CA); e a rede elétrica local, onde essa energia é finalmente integrada (ZILLES *et al.*, 2012).

Figura 3 – Diagrama unifilar básico de um SFV



Fonte: Zilles *et al.* (2012)

Segundo Zilles *et al.* (2012), a conversão fotovoltaica baseia-se no efeito fotovoltaico, que ocorre no interior de células semicondutoras. Ao absorver a energia da luz solar (fótons), essas células sofrem o rompimento de ligações químicas, o que transfere energia aos elétrons. Esse processo gera uma movimentação de cargas elétricas (elétrons e lacunas) que resulta na produção de eletricidade.

Os módulos fotovoltaicos consistem na associação em série e paralelo de dezenas de células para obter níveis operacionais de tensão e corrente adequados. O agrupamento de múltiplos módulos compõe o arranjo fotovoltaico.

O inversor fotovoltaico é o centro de controle e conversão eletrotécnica do SFCR. Sua função primária consiste em converter a corrente contínua (CC) variável gerada pelos módulos em corrente alternada (CA) senoidal, em sincronismo de fase e frequência com a rede elétrica da concessionária local (PINHO; GALDINO, 2014).

As principais funções avançadas do inversor fotovoltaico incluem:

- Rastreamento do ponto de máxima potência (MPPT): um algoritmo de controle que ajusta o conversor para extrair continuamente a máxima potência elétrica instantânea do arranjo solar, dada pela Equação (1), adaptando-se em tempo real às variações de temperatura e irradiação.
- Topologia e gerenciamento de strings: conexão otimizada das cadeias de módulos associados em série, acomodando múltiplas entradas MPPT independentes para mitigar perdas por sombreamento parcial ou desalinhamento azimutal.
- Proteção e anti-ilhamento: sistemas de seccionamento automático em caso de falha da rede, atendendo rigorosamente às exigências normativas internacionais e nacionais (IEC 62109-1/2, ABNT NBR 16274 e ABNT NBR 16690).

$$P_{máx} = V_{MPP} \cdot I_{MPP} \quad (1)$$

Na Equação (1), $P_{máx}$ representa a potência elétrica máxima (em W) gerada pelo sistema, que é o produto entre a tensão no ponto de máxima potência (V_{MPP}, em V) e a corrente no ponto de máxima potência (I_{MPP}, em A), valores que o inversor busca atingir constantemente.

A norma ABNT NBR 17193:2025 estabelece requisitos de segurança contra incêndio para sistemas fotovoltaicos, definindo a função de desligamento rápido (FDR) - ou *Rapid Shutdown* - como uma proteção essencial. Esse sistema é necessário porque o simples desligamento do disjuntor de corrente alternada (CA) da edificação não desenergiza os cabos de corrente contínua (CC) entre os painéis no telhado e o inversor, que continuam gerando alta tensão enquanto houver luz solar.

O mecanismo de atuação da FDR/RSD opera conforme as exigências da NBR 17193:2025:

- Fronteira de segurança e tensão máxima: ao ser acionada, a FDR limita a tensão a, no máximo, 30V CC (em até 30 segundos) fora do limite de 1 metro do arranjo fotovoltaico.
- Mitigação de arcos e proteção dos brigadistas: o desligamento a nível de módulo protege as equipes de resgate contra choques elétricos e previne a formação de arcos elétricos (uma das maiores causas de incêndio nestes sistemas).
- Coordenação normativa: o sistema deve operar em conformidade com a ABNT NBR 5410 (para proteção e isolamento em baixa tensão) e com a ABNT NBR 5419 (para proteção contra descargas atmosféricas e aterramento).

A geração solar fotovoltaica impulsiona a descarbonização global reduzindo expressivamente a emissão de gases poluentes ao substituir usinas termelétricas (IPCC, 2022; CASTRO *et al.*, 2024). Além de atender aos ODS 7 e 13 da ONU, a união da geração distribuída com a eficiência energética em países em desenvolvimento expande o acesso à eletricidade, alivia os custos tarifários para populações vulneráveis e reduz a necessidade de grandes investimentos em infraestrutura de transmissão e distribuição (LIMA, 2012; BRASIL, 2020).

2.4 Segurança elétrica

A ABNT NBR 5410 estabelece os requisitos normativos para instalações elétricas de baixa tensão em edificações, buscando assegurar a proteção contra choques elétricos, sobrecorrentes e efeitos térmicos. Como complemento específico para edificações de uso coletivo, a ABNT NBR 13570 especifica regras para locais com afluência de público, visando reduzir riscos de acidentes e combater a propagação de incêndios. A aplicação integrada das diretrizes normativas sobre dimensionamento de condutores, disjuntores de proteção, dispositivos de proteção diferencial-residual (DR) e sistemas de aterramento constitui a base fundamental para a operabilidade e a segurança das instalações.

Diagnósticos operacionais em edifícios públicos revelam vulnerabilidades frequentes relacionadas à ausência de dispositivos DR em áreas de risco, ao subdimensionamento de condutores elétricos e à ligação incorreta entre os condutores de neutro e proteção, o que viola o esquema TN-S recomendado pelas normas de segurança.

Síntese dos principais componentes de segurança (NBR 5410 / NBR 13570):

- Disjuntor: dispositivo encarregado da proteção contra sobrecorrentes (atuando em casos de sobrecarga e curto-circuito) mediante o seccionamento automático do circuito.

- Dimensionamento de condutores: a seção nominal dos cabos é estabelecida de acordo com a capacidade de condução de corrente e os limites de aquecimento sob serviço normal.
- Dispositivo diferencial-residual (DR): provê proteção adicional contra choques elétricos ao seccionar o circuito em caso de identificação de correntes de fuga à terra.
- Dispositivo de proteção contra surto (DPS): equipamento encarregado da proteção contra sobretensões transitórias provocadas por descargas atmosféricas ou manobras na rede elétrica.
- Aterramento: interliga todas as massas e estruturas metálicas expostas a um eletrodo de terra para equipotencialização e escoamento seguro de faltas elétricas.

Em suma, a observância rigorosa das diretrizes de dimensionamento, proteção e aterramento estabelecidas pelas normas ABNT NBR 5410 e ABNT NBR 13570 excede o mero cumprimento burocrático, constituindo o pilar fundamental para a prevenção de choques elétricos, sobrecargas e incêndios. A atuação conjunta e coordenada entre disjuntores adequados, condutores corretamente dimensionados, dispositivos DR e um sistema de aterramento eficiente garante a confiabilidade operacional da instalação, a integridade física dos usuários e a preservação do patrimônio, reforçando a necessidade indispensável de inspeções técnicas e manutenções preventivas periódicas.

3 METODOLOGIA

Essa etapa descreve os procedimentos metodológicos empregados para o atendimento dos objetivos específicos do trabalho. A investigação caracteriza-se como um estudo de caso com pesquisa de campo, realizado na Igreja Presbiteriana Central de Contagem (MG). A pesquisa possui natureza aplicada, finalidade descritiva e abordagem mista (qualitativa e quantitativa), com foco no levantamento de dados técnicos e de consumo elétrico pertinentes à instituição.

O escopo do estudo foi delimitado ao templo principal (salão de celebrações), ambiente que concentra a maior taxa de ocupação simultânea e o maior impacto no consumo de energia da instituição. Adicionalmente, foram incorporadas as áreas de apoio anexas, compostas por banheiros, salas, escritórios, cozinha, lavanderia, garagem e hall de entrada.

Os horários de funcionamento da igreja estão distribuídos ao longo da semana conforme a Tabela 2.

Tabela 2 – Horários de funcionamento da igreja

Dia da semana	Horário de funcionamento
Segunda-feira	Das 08h às 17h
Terça-feira	Das 08h às 17h
Quarta-feira	Das 08h às 17h e das 19h40 às 21h
Quinta-feira	Das 08h às 17h
Sexta-feira	Das 08h às 17h
Sábado	Realização de eventos, sem horário fixo informado
Domingo	Das 09h às 11h30 e das 19h às 21h

Fonte: Elaborado pelos autores, 2026.

Diante dessa rotina de funcionamento, o estudo busca mitigar os custos e otimizar o consumo energético local. O trabalho foi estruturado em cinco etapas interconectadas, conforme ilustrado na Figura 4.

Figura 4 – Fluxograma de operacionalização da pesquisa



Fonte: Elaborado pelos autores, 2026.

A investigação inicial fundamentou-se no diagnóstico técnico do histórico de faturas da edificação, usado como comparativo para todos os cálculos do estudo. O levantamento desses dados foi viabilizado por meio de consulta autorizada aos sistemas de informação da Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG), realizada sob formalização e permissão prévia. Essa coleta direta na base da concessionária permitiu analisar com precisão o histórico

de consumo dos últimos 12 meses, a média anual em quilowatts-hora (kWh) e a conformidade cadastral da instituição. Além disso, avaliou-se o enquadramento no grupo e subgrupo tarifário, a modalidade tarifária vigente, o padrão de atendimento, as bandeiras tarifárias e a composição de tributos incidentes, atestando a adequação tarifária e contratual do local.

Foram realizadas visitas à edificação para a elaboração do diagnóstico energético, contemplando as etapas de levantamento das cargas, inspeção da conformidade elétrica vigente e análise visual da estrutura do telhado. O procedimento envolveu a estruturação de um inventário dos equipamentos ativos no salão principal e nas áreas adjacentes (tais como sistemas de iluminação, sonorização e climatização), aliado à inspeção visual da infraestrutura elétrica (incluindo quadros de distribuição, condutores, dispositivos de proteção e aterramento) frente aos requisitos normativos, a fim de averiguar a necessidade de intervenções corretivas. Foi realizada, com auxílio de drone, uma inspeção aérea para verificação das condições físicas do telhado. Todas as constatações de campo foram devidamente documentadas por meio de registro fotográfico.

A partir das inspeções, calcularam-se as cargas instaladas, permitindo estimar o consumo global da instituição e validar a coerência com o histórico das faturas de energia. Fez-se o levantamento de potência nominal dos equipamentos por meio de seus catálogos, fundamentando a análise do desempenho dos equipamentos instalados, identificando pontos de ineficiência e justificando a proposição de ações de *retrofit* tecnológico. Para os itens em que se constatou a necessidade de substituição e aquisição, foram realizadas cotações com fornecedores especializados para a seleção dos modelos com melhores características técnicas e eficiência.

Para o dimensionamento do sistema fotovoltaico, os dados de irradiação solar foram obtidos na plataforma SunData (CRESESB). A partir das coordenadas geográficas da igreja, levantadas por meio do Google Maps, a ferramenta fornece a irradiação solar diária média (kWh/m²·dia) dos pontos de grade mais próximos da localização informada, no plano horizontal e na inclinação ótima dos painéis. Desse modo, o dimensionamento da usina fundamentou-se na literatura técnica da área, correlacionando o perfil de consumo da fatura e os parâmetros levantados.

Para o cálculo eletrotécnico da usina de geração distribuída, aplicaram-se as seguintes equações:

A potência de pico do gerador (P_{kWp}) foi calculada pela Equação (2):

$$P_{kWp} = \frac{E_{diário}}{HSP \times PR} \quad (2)$$

- $E_{diário}$: consumo médio diário da edificação ($\mathrm{kWh/dia}$);
- HSP: horas de sol pleno diárias obtidas no SunData ($\mathrm{kWh/m^2 \cdot dia}$);
- PR: taxa de desempenho global (*Performance Ratio*), adotando-se o valor típico de $0,75$ a $0,80$ para compensar perdas ôhmicas, térmicas, sujidade e eficiências do inversor

A quantidade de módulos ($N_{módulos}$) foi determinada pela Equação (3):

$$N_{módulos} = \frac{P_{kWp} \times 1000}{P_{módulo}} \quad (3)$$

- $P_{módulo}$ é a potência nominal unitária do painel comercial selecionado, em watts-pico (Wp)
- O fator 1000 converte kWp em Wp, compatibilizando o resultado com a potência nominal informada pelo fabricante. O resultado é arredondado para o número inteiro imediatamente superior, para garantir o atendimento da demanda.

Na seleção do inversor, especificou-se um equipamento com rastreamento do ponto de máxima potência (MPPT) e com a função de desligamento rápido (FDR / *Rapid Shutdown*), conforme os requisitos da ABNT NBR 17193:2025, além da conformidade com a ABNT NBR 16274 e a ABNT NBR 16690, para garantir o seccionamento automático em casos de emergência.

A análise econômica foi realizada por meio da comparação entre os custos atuais com energia elétrica e a projeção de gastos para eficientização. O investimento inicial contemplou os gastos com adequação elétrica do edifício, aquisição dos novos equipamentos, compra e instalação do kit fotovoltaico (módulos, inversor, estruturas e instalação).

Para estimar o *payback* simples, utilizou-se a equação (4):

$$Payback\ simples\,(anos) = \frac{Investimento\ total\,(R\$)}{Economia\ anual\ estimada\,(R\$/ano)} \quad (4)$$

A interpretação conjunta das informações qualitativas e quantitativas permitiu estabelecer prioridades para as intervenções propostas, considerando os benefícios energéticos, econômicos e operacionais. Dessa forma, buscou-se apresentar soluções compatíveis com as características da edificação, contribuindo para a redução dos custos operacionais, a segurança das instalações e a sustentabilidade ambiental.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Avaliação do perfil tarifário e do faturamento energético

A investigação inicial do perfil energético fundamentou-se na análise do histórico de faturamento da unidade consumidora (UC 6.017.163.018-00), obtido junto à distribuidora local (CEMIG). A Tabela 3 apresenta os dados da fatura de outubro de 2026, que permitiram analisar as características do fornecimento, o enquadramento tarifário e o comportamento recente do consumo da edificação. No período de referência, correspondente a 32 dias de faturamento, foram registrados 880 kWh de consumo, resultando em uma média diária de 27,50 kWh.

Tabela 3 – Dados de faturamento e composição tarifária da unidade consumidora (outubro/2026)

Parâmetro/Item	Especificação/Valor
Classe/Subclasse	Comercial/Templos religiosos
Alimentação	Trifásica em baixa tensão (127/220 V)
Modalidade tarifária	Convencional B3 (trifásico)
Consumo faturado (out./2026)	880 kWh
Tarifa unitária de energia	R$ 0,91035875/kWh
Preço unitário faturado (com tributos)	R$ 0,96313875/kWh
Contribuição de iluminação pública (CIP)	R$ 49,68
Valor total da fatura	R$ 897,22 (com bandeira amarela inclusa)

Fonte: Elaborado pelos autores com base em dados da CEMIG (2026).

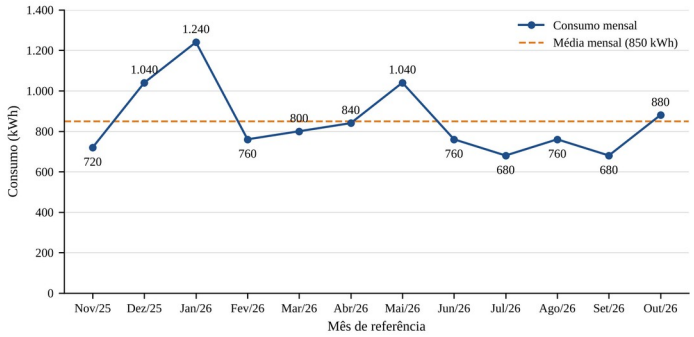
Nota-se, a partir dos dados, a incidência dos tributos sociais PIS (0,98% = R$ 8,30) e COFINS (4,50% = R$ 38,13) sobre o valor faturado da energia (R$ 847,54), estando a edificação isenta de ICMS. A tarifa unitária total cobrada, incluindo impostos e CIP, resulta em um custo médio efetivo de R$ 1,0196/kWh.

Para ampliar a análise, foram considerados os 12 meses compreendidos entre novembro de 2025 e outubro de 2026. Nesse intervalo, o consumo acumulado foi de 10.200 kWh, correspondendo a uma média mensal de 850 kWh, conforme a Equação (5):

$$E_{méd} = \frac{\sum_{i=1}^{12} E_i}{12} = \frac{10.200}{12} = 850,00\, kWh/mês \quad (5)$$

Em que $E_{méd}$ é o consumo médio mensal (kWh/mês) e E_i é o consumo registrado em cada um dos 12 meses (kWh). O comportamento mensal do consumo nesse período é apresentado na Figura 5.

Figura 5 – Histórico mensal de consumo de energia elétrica (novembro/2025 a outubro/2026)



Fonte: Elaborado pelos autores com base nas faturas da CEMIG (2026).

A análise da Figura 5 revela que janeiro de 2026 apresentou o maior consumo, com 1.240 kWh, o que pode ser explicado pela oscilação sazonal, com picos nos meses mais quentes e de maior demanda por climatização, enquanto julho e setembro de 2026 registraram os menores valores, ambos de 680 kWh. Além disso, observou-se que o faturamento mensal é também influenciado pela ativação do sistema de bandeiras tarifárias em períodos de restrição hídrica (como a incidência da bandeira amarela em setembro), o que reforça a vulnerabilidade da instituição a custos extras.

Inicialmente, o projeto previu a avaliação da migração tarifária da instituição para a Tarifa Branca. No entanto, após a análise, verificou-se a inviabilidade dessa transição. Como os cultos e reuniões principais ocorrem no horário de ponta (ex.: quartas-feiras das 19h40 às 21h e domingos das 19h às 21h), a aplicação de tarifas elevadas no período noturno aumentaria o custo operacional, confirmando a plena conformidade técnica, regulatória e fiscal da instalação.

4.2 Inspeção elétrica, auditoria de cargas e eficientização energética

4.2.1 Inventário de cargas

Durante a visita técnica, foi realizado o levantamento das cargas elétricas no salão principal e nas áreas adjacentes (cozinha, hall de entrada, banheiros, salas, lavanderia,

garagem, recepção e escritórios). A partir dos *datasheets* dos equipamentos e da rotina operacional da igreja, determinou-se a quantidade, a potência instalada, a potência aparente e a estimativa de consumo mensal, conforme discriminado na Tabela 4.

Tabela 4 – Levantamento de cargas

Categoria	Quantidade	Potência instalada (W)	Potência aparente (VA)	Consumo estimado (kWh/mês)
Iluminação (lâmpadas e refletores)	404	8.567	11.126	441,6
Equipamentos de uso geral	53	5.832	8.332	336,9
Equipamentos de uso específico	7	7.991	9.292	240,1
Tomadas sem carga associada	102	–	10.200	0,0
Total	566	22.390	38.950	1.018,6

Fonte: Elaborado pelos autores com base no levantamento dos equipamentos.

Entre os equipamentos de uso geral, foram identificados ventiladores, caixas de som, projetor, mesa de som digital, processador digital de áudio, eletrodomésticos, televisão, interfone e fechadura eletrônica. Entre os equipamentos de uso específico, foram identificados módulo amplificador de som, eletrodomésticos específicos, plataforma elevatória, máquina de lavar e motor do portão da garagem.

4.2.2 Proposta de eficientização (retrofit)

No que tange às propostas de eficientização energética, entre os equipamentos mapeados no diagnóstico de cargas, apenas os ventiladores foram considerados para fins de substituição por modelos de maior eficiência nominal. Tal direcionamento fundamenta-se na análise da relação custo-benefício (RCB) dos demais ativos: os sistemas de sonorização exigem um elevado investimento inicial (CAPEX), tornando sua substituição inviável sob a ótica do retorno financeiro e da conservação de energia; já os eletrodomésticos inventariados ou já apresentam padrão satisfatório de eficiência energética ou possuem regime de funcionamento descontínuo e de curta duração, atrelado à rotina operacional do templo, resultando em impacto irrisório no consumo global.

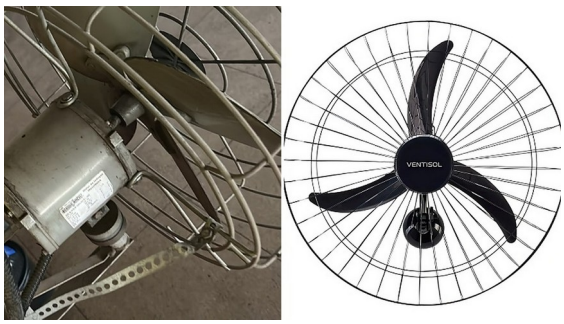
O levantamento de campo revelou que 100% dos pontos luminosos de toda a edificação já se encontram convertidos para a tecnologia LED, conforme ilustrado na Figura 6. Essa constatação evidencia um cenário prévio altamente favorável em termos de eficiência energética, uma vez que o imóvel dispensa a ação de *retrofit* nesta categoria. A Figura 7 apresenta um dos ventiladores existentes e o modelo considerado para a substituição.

Figura 6 – Lâmpadas e luminárias LED instaladas na edificação



Fonte: Acervo dos autores, 2026.

Figura 7 – Ventilador existente (à esquerda) e modelo proposto para substituição (à direita)



Fonte: Acervo dos autores (ventilador existente) e Mercado Livre (2026) (modelo proposto).

Os ventiladores atualmente instalados possuem potência mecânica nominal de 91,94 W. Por se tratarem de modelos de fabricação antiga, apresentam baixo rendimento elétrico, em razão das perdas por efeito Joule no estator e no rotor. Adotando-se um rendimento elétrico médio de 57%, a potência elétrica ativa de cada ventilador foi estimada pela Equação (6):

$$P_{el} = \frac{PMN}{\eta} = \frac{91,94}{0,57} = 161,3\,W \qquad (6)$$

em que P_{el} é a potência elétrica ativa (W), PMN é a potência mecânica nominal (W) e η é o rendimento elétrico. O modelo proposto, Ventisol Profissional, possui potência elétrica

ativa nominal máxima de 147 W e de 110 W na velocidade média, valor adotado na comparação. Considerando os 22 ventiladores operando simultaneamente, na mesma velocidade, durante 728 horas por ano, conforme a rotina de funcionamento da igreja, obtiveram-se os resultados apresentados nas equações (7), (8) e (9) abaixo:

$$D_{antigo} = 22 \times 0{,}161 \text{ kW} = 3{,}542 \text{ kW} \quad (7)$$

$$D_{novo} = 22 \times 0{,}110 \text{ kW} = 2{,}420 \text{ kW} \quad (8)$$

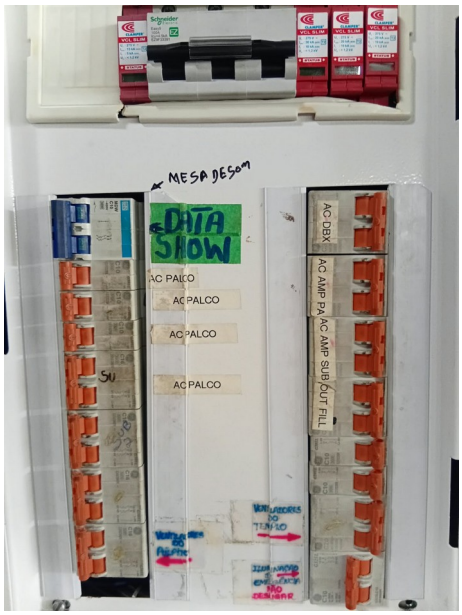
$$\Delta D = 3{,}542\,kW - 2{,}420 \text{ kW} = 1{,}122 \text{ kW} \quad (-31{,}68\%) \quad (9)$$

Verifica-se que a substituição reduz em 31,68% a demanda do conjunto de ventiladores, sem prejuízo da ventilação dos ambientes.

4.2.3 Inspeção visual do quadro de distribuição

Durante a visita técnica, também foi realizada a inspeção visual do quadro de distribuição de circuitos (QDC) da edificação, apresentado na Figura 8. Observou-se que os circuitos estavam bem distribuídos e separados no quadro e que havia espaço disponível para possíveis ampliações e novas instalações. Os cabos aparentavam estar em bom estado de conservação, sem sinais visíveis de desgaste, e o quadro estava instalado em local de fácil acesso, o que facilita as inspeções e manutenções.

Figura 8 – Quadro de distribuição de circuitos da edificação



Fonte: Acervo dos autores, 2026.

Por outro lado, constatou-se a ausência do dispositivo diferencial-residual (DR), equipamento de suma importância para a garantia da proteção contra choques elétricos. A

instalação desse dispositivo constitui, portanto, uma das adequações elétricas consideradas no investimento inicial.

Com base nessas observações, elaborou-se a proposta de adequação do QDC, aproveitando o espaço livre existente no quadro. A proposta inclui dois dispositivos DR tetrapolares de 30 mA.

4.2.4 Dimensionamento do disjuntor geral do QDC

Para avaliar o nível de segurança elétrica da edificação, realizou-se a verificação do dimensionamento do disjuntor geral do quadro de distribuição de circuitos (QDC).

A determinação da corrente de projeto (I_b) do QDC seguiu a metodologia de cálculo de demanda estipulada pela norma técnica ND 5.1 da Cemig (Fornecimento de energia elétrica em tensão secundária). As cargas instaladas foram agrupadas por categorias de equipamentos (iluminação, tomadas, equipamentos de uso geral e equipamentos de uso específico), aplicando-se os respectivos fatores de demanda (F_d) previstos nas Tabelas 11 e 13 da norma da concessionária. A potência demandada total resultante foi utilizada para o dimensionamento do disjuntor geral e dos condutores alimentadores, cuja verificação de segurança seguiu as diretrizes da ABNT NBR 5410. A demanda máxima de cada categoria foi obtida pela Equação (10):

$$D_{máx} = C_{inst} \times F_d \tag{10}$$

em que $D_{máx}$ é a demanda máxima da categoria, C_{inst} é a carga instalada da categoria (VA) e F_d é o fator de demanda. Para igrejas, o fator de demanda considerado para a iluminação e para as tomadas é igual a 1,0; para os 53 equipamentos de uso geral, é igual a 34%; e para os 7 equipamentos de uso específico, é igual a 60%. Os resultados são apresentados nas equações (11), (12), (13) e (14).

$$D_{máx_{iluminação}} = 11126 \times 1,0 = 11126\,W \tag{11}$$

$$D_{máx_{tomadas\ não\ utilizadas}} = 10200 \times 1,0 = 10200\,W \tag{12}$$

$$D_{máx_{equipamento\ uso\ geral}} = 8332 \times 0,34 = 2833\,W \tag{13}$$

$$D_{máx_{equipamento\ uso\ espec}} = 9292 \times 0,60 = 5575\,W \tag{14}$$

A corrente de projeto foi calculada pela Equação (15), considerando a demanda máxima total, a tensão de linha de 220 V e o fator de potência de 0,92:

$$I_b = \frac{D_{total}}{\sqrt{3} \times V \times \cos\varphi} = \frac{29.734}{\sqrt{3} \times 220 \times 0,92} = 84,82\ A \quad (15)$$

em que I_b é a corrente de projeto (A), D_{total} é a demanda máxima total, V é a tensão de linha (V) e cos φ é o fator de potência. Para a verificação da proteção, aplicou-se o critério de coordenação entre condutores e dispositivo de proteção da ABNT NBR 5410, expresso pela Equação (16):

$$I_b \leq I_n \leq I_z \rightarrow 84,82\ A \leq 100\ A \leq 128\ A \quad (16)$$

em que I_n é a corrente nominal do disjuntor (A) e I_z é a capacidade de condução de corrente dos condutores (A). Considerando os condutores de 35 mm² e o disjuntor geral de 100 A, trifásico, curva C, existentes na instalação, a condição é atendida.

Com base nos cálculos acima, verificou-se que o disjuntor atualmente utilizado na instituição está de acordo com as normas e diretrizes de segurança estabelecidas.

4.3 Dimensionamento do sistema fotovoltaico conectado à rede (SFCR)

4.3.1 Gerador fotovoltaico

A partir das coordenadas geográficas da igreja, os dados da plataforma SunData indicaram, para o município de Contagem (MG), irradiação solar diária média anual de 5,37 kWh/m²·dia no plano inclinado a 20° N, ângulo igual à latitude local (CRESESB, 2026), conforme a Figura 9. Esse valor corresponde às horas de sol pleno (HSP) adotadas no dimensionamento.

Figura 9 – Irradiação solar diária média mensal em Contagem (MG) para diferentes inclinações

Cálculo no Plano Inclinado

Estação: Contagem
Município: Contagem , MG - BRASIL
Latitude: 19,901° S
Longitude: 44,049° O
Distância do ponto de ref. (19,901° S; 44,049° O) :,0 km

#	Ângulo	Inclinação	Irradiação solar diária média mensal [kWh/m².dia]													
			Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média	Delta
☑	Plano Horizontal	0° N	5,79	6,00	5,17	4,82	4,20	4,05	4,30	5,16	5,55	5,65	5,30	5,62	5,13	1,94
☑	Ângulo igual a latitude	20° N	5,27	5,72	5,27	5,36	5,03	5,10	5,32	6,00	5,86	5,51	4,90	5,06	5,37	1,10
☑	Maior média anual	20° N	5,27	5,72	5,27	5,36	5,03	5,10	5,32	6,00	5,86	5,51	4,90	5,06	5,37	1,10
☑	Maior mínimo mensal	18° N	5,34	5,77	5,28	5,32	4,97	5,01	5,24	5,94	5,86	5,55	4,96	5,14	5,36	,98

Fonte: CRESESB (2026).

Com base no consumo médio de 850 kWh/mês, obtido pela Equação (5), o consumo diário médio foi determinado pela Equação (17):

$$E_{diário} = \frac{850}{30} = 28,33\, kWh/dia \tag{17}$$

Aplicando-se a Equação (2), apresentada na seção 3, e adotando-se o valor conservador de 0,75 para a taxa de desempenho global (PR), de modo a contemplar as perdas térmicas, por sujidade e de conversão no inversor, obteve-se a potência de pico requerida para o gerador fotovoltaico, conforme a Equação (18):

$$P_{kWp} = \frac{E_{diário}}{HSP \times PR} = \frac{28,33}{5,37 \times 0,75} = 7,03\, kWp \tag{18}$$

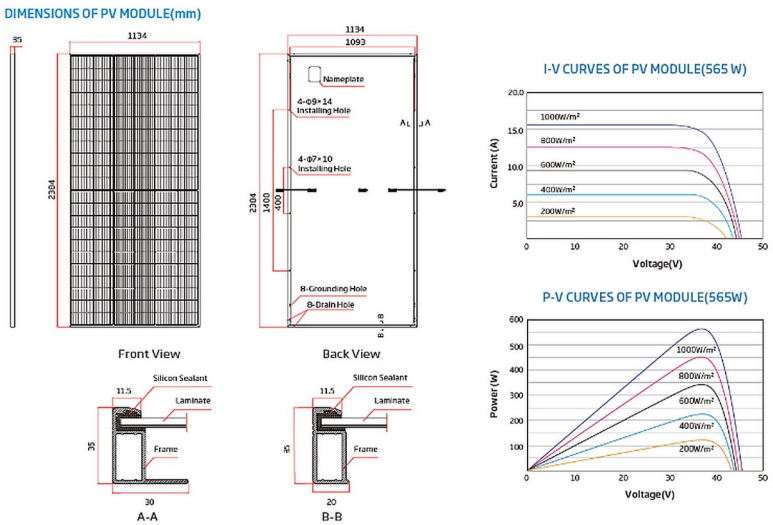
Para o atendimento dessa demanda, foram adotados módulos de silício monocristalino de 565 Wp da marca Trina Solar, modelo TSM-DE19R. O número de módulos foi calculado pela Equação (3), conforme a Equação (19):

$$N_{módulos} = \frac{P_{kWp} \times 1000}{P_{módulo}} = \frac{7,03 \times 1000}{565} = 12,44 \rightarrow 13\, módulos \tag{19}$$

Arredondando-se o resultado para o número inteiro superior, o arranjo é composto por 13 módulos, cuja potência instalada efetiva é dada pela Equação (20):

$$P_{efetiva} = N_{módulos} \times P_{módulo} = 13 \times 565\ \text{Wp} = 7,35\ \text{kWp} \tag{20}$$

Figura 10 – Dimensões e curvas características do módulo fotovoltaico TSM-DE19R



Fonte: Datasheet Trina Solar TSM-DE19R.

As dimensões e as curvas características do módulo adotado são apresentadas na Figura 10. Observa-se que a potência máxima de 565 W, sob irradiância de 1.000 W/m²,

corresponde ao ponto de máxima potência da curva P-V, obtido pelo produto entre a corrente e a tensão em cada ponto da curva I-V.

4.3.2 Inversor e segurança contra incêndio

O inversor selecionado foi o modelo Deye SUN-6K-G05, conectado à rede, que admite sobredimensionamento CC/CA de até 1,5 (150%) e possui eficiência máxima de 97,5% (DEYE, 2024). Adotando-se um fator de dimensionamento do inversor (FDI) correspondente a um sobredimensionamento CC/CA de 1,22 (122%), a potência nominal do inversor foi obtida pela Equação (21):

$$P_{inv} = \frac{P_{efetiva}}{FDI} = \frac{7,35}{1,22} = 6,02\,kW \quad (21)$$

em que P_{inv} é a potência nominal do inversor (kW), $P_{efetiva}$ é a potência instalada dos módulos (kWp) e FDI é o fator de dimensionamento adotado. Dessa forma, um inversor de 6 kW opera com sobredimensionamento de 22%, o que favorece a geração em dias nublados e nos períodos de menor irradiância, com perdas por limitação de potência (*clipping*) pouco significativas nos horários de pico.

Em atendimento à ABNT NBR 17193:2025, será integrado à usina o sistema de Desligamento Rápido (FDR / Rapid Shutdown) da marca Tigo Energy. Quando o disjuntor CA é acionado ou ocorre a interrupção da rede da concessionária, a FDR reduz a tensão dos circuitos CC no telhado a menos de 30 V, em até 30 segundos, fora dos limites do arranjo, garantindo a proteção contra choques elétricos e prevenindo a ocorrência de arcos elétricos.

4.3.3 Disposição dos módulos no telhado

Para a análise da distribuição dos módulos no telhado, utilizaram-se imagens obtidas por drone para a verificação das condições físicas da cobertura e a ferramenta de medição do Google Maps para o levantamento dimensional, conforme ilustrado na Figura 11. A face frontal da cobertura metálica (estrutura piramidal) apresenta formato triangular com base de 23,46 m e altura projetada de 12,64 m, resultando em uma área plana projetada de 148,27 m², conforme equação (22). Devido à impossibilidade de aferir em campo a inclinação real da água do telhado até o topo da cúpula, adotaram-se as medidas projetadas do Google Maps como premissa conservadora. Considerando que a área real é determinada pela razão entre a área projetada e o cosseno do ângulo de inclinação, a área física disponível será superior à calculada, confirmando que o espaço é suficiente para a instalação do arranjo de módulos fotovoltaicos.

$$A = \frac{b\,x\,h}{2} = \frac{23,46\,x\,12,64}{2} = 148,27\,m^2 \quad (22)$$

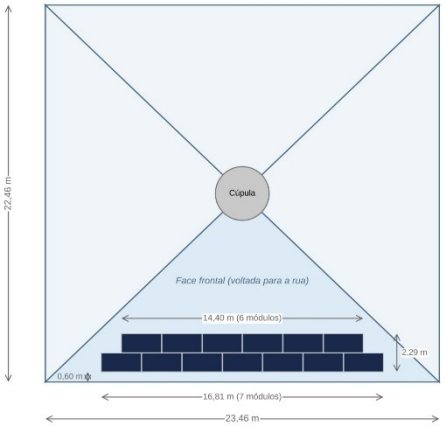
Figura 11 – Vista aérea da cobertura e medição das dimensões do telhado



Fonte: Acervo dos autores e Google (2026).

Durante a visita técnica, o responsável pelo local informou sobre uma recente reforma no telhado do salão principal, evidenciada na Figura 11, que apresenta a comparação entre o registro capturado pelos autores via drone e a imagem do Google Maps. Para viabilizar a instalação dos módulos, faz-se necessária a elaboração de um estudo estrutural por um engenheiro civil, a fim de verificar a capacidade de sustentação do sistema.

Figura 12 – Simulação da disposição dos módulos



Fonte: Acervo dos autores (2026).

De acordo com as dimensões informadas no catálogo do fabricante (Figura 10), de 2.384 mm × 1.134 mm, a área ocupada pelos 13 módulos é de 35,14 m², explicada nas equações (23) e (24). Propõe-se a instalação dos 13 módulos na face frontal da cobertura, em duas fileiras (7 + 6), dispostos em paisagem, afastados 0,60 m da beirada e distantes da cúpula

central, de modo a evitar sombreamento e preservar o espaço de circulação para manutenção, conforme figura (12).

$$A_{módulo} = b\,x\,h = 2{,}384\,x\,1{,}134 = 2{,}703456\,m^2 \quad (23)$$

$$A_{Total\,dos\,módulos} = Qtde_{módulos}\,x\,A_{módulo} = 13\,x\,2{,}703456 = 35{,}14\,m^2 \quad (24)$$

4.4 Análise de viabilidade econômico-financeira e payback

4.4.1 Composição do investimento inicial

O investimento inicial considera a implantação do sistema fotovoltaico de 7,35 kWp e a substituição dos ventiladores, conforme a Tabela 5.

Tabela 5 – Composição do investimento inicial

Item	Descrição	Valor estimado (R$)
1	Kit fotovoltaico de 7,35 kWp (13 módulos de 565 Wp, inversor Deye de 6 kW e dispositivos de desligamento rápido)	14.500,00
2	Estrutura de fixação, string box CC, cabos solares e acessórios de montagem	3.350,00
3	Projetos eletrotécnicos, ART, homologação na CEMIG e mão de obra de instalação	3.500,00
4	Substituição de 22 ventiladores (Ventisol Profissional New, 147 W) e 2 DR de 30mA	5.050,00
	Total	26.400,00

Fonte: Elaborado pelos autores com base em cotações de mercado (2026).

4.4.2 Economia anual e tempo de retorno do investimento

Considerando que o sistema fotovoltaico supra a totalidade do consumo médio faturado (850 kWh/mês) e adotando-se o custo médio efetivo de R$ 1,0196/kWh, com tributos e CIP, estimou-se a economia apresentada nas equações (25), (26) e (27).

$$E_{mensal\,bruta} = E_{méd}\,x\,Tarifa_{efetiva} = 850\,kWh\,x\,\frac{R\$\,1{,}0195}{kWh} = R\$\,866{,}58/mês \quad (25)$$

Da economia bruta, foram descontados o custo de disponibilidade trifásico, equivalente a 100 kWh, e a contribuição de iluminação pública, que permanecem na fatura.

$$E_{mensal\,líquida} = E_{mensal\,bruta} - \Sigma_{taxa\,mínima} = R\$\,866,58 - R\$\,151,63 = R\$\,714,95/mês \quad (26)$$

$$E_{anual\,líquida} = E_{mensal\,líquida}\, x\, 12\,mês = R\$\,714,95\, x\, 12 = R\$\,8.579,40/ano \quad (27)$$

Aplicando-se a Equação (4), o tempo de retorno do investimento foi calculado pela Equação (28):

$$Payback\ simples\,(anos) = \frac{I_{total}}{E_{anual}} = \frac{R\$\,26.400,00}{R\$\,8.579,40/ano} \approx 3,08\,anos \quad (28)$$

O retorno do investimento total em aproximadamente 3 anos e 1 mês evidencia a viabilidade econômica do projeto, que promove a eficiência energética e se alinha aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável 7 e 13 da Organização das Nações Unidas.

5 CONCLUSÃO

O presente estudo atingiu seu objetivo geral ao diagnosticar, planejar e propor estratégias integradas de eficiência energética, adequação normativa e geração solar fotovoltaica para a Igreja Presbiteriana Central de Contagem.

A análise das faturas elétricas permitiu caracterizar o consumo médio da edificação em 850 kWh/mês, parâmetro utilizado como base para o dimensionamento do sistema fotovoltaico. Como medida de eficiência, a substituição dos 22 ventiladores existentes por modelos de maior rendimento reduz em 31,7% a demanda desse grupo de cargas.

Quanto à inspeção do quadro de distribuição, verificou-se o correto dimensionamento do disjuntor do QDC; contudo, constatou-se a ausência de proteção diferencial-residual, propondo-se a instalação de dois dispositivos DR de 30 mA, conforme prevê a ABNT NBR 5410.

O sistema fotovoltaico dimensionado (7,35 kWp, composto por 13 módulos e um inversor de 6 kW), aliado ao *retrofit* dos equipamentos ineficientes, demanda um investimento total de R$ 26.400,00. Com um tempo de retorno financeiro (*payback*) estimado em 3 anos e 1 mês, confirma-se a viabilidade econômica do projeto.

Conclui-se que as soluções propostas promovem a redução dos custos operacionais com energia e consolidam o uso mais eficiente dos recursos energéticos da instituição. Para um diagnóstico mais preciso dos custos, das perdas energéticas e de eventuais acréscimos de carga, faz-se necessária uma avaliação técnica aprofundada por meio de um registrador de

dados (*datalogger*) ou analisador de energia autônomo, garantindo a confiabilidade das medições. Complementarmente, recomenda-se a emissão de um laudo estrutural por um engenheiro civil para validar a capacidade de suporte do local de instalação dos módulos.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Modalidades tarifárias**. Brasília, DF: ANEEL, 2022. Disponível em: https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/tarifas/entenda-a-tarifa/modalidades-tarifarias. Acesso em: 8 out. 2026.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 13570**: instalações elétricas em locais de afluência de público: requisitos específicos. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 16274**: sistemas fotovoltaicos conectados à rede: requisitos mínimos para documentação, ensaios de comissionamento, inspeção e avaliação de desempenho. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 16690**: instalações elétricas de arranjos fotovoltaicos: requisitos de projeto. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 17193**: instalações fotovoltaicas em edificações: requisitos de segurança contra incêndio. Rio de Janeiro: ABNT, 2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5410**: instalações elétricas de baixa tensão. Rio de Janeiro: ABNT, 2004 (versão corrigida 2008).

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5419**: proteção contra descargas atmosféricas. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

BARROS, Benjamim Ferreira de; BORELLI, Reinaldo; GEDRA, Ricardo L. **Eficiência energética**: técnicas de aproveitamento, gestão de recursos e fundamentos. Rio de Janeiro: Érica, 2015. E-book. p. 150. ISBN 9788536518404. Acesso em: 2 out. 2026.

BRASIL. **Lei nº 10.295**, de 17 de outubro de 2001. Dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia e dá outras providências. Brasília, DF: Presidência da República, [2001]. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/leis_2001/l10295.htm. Acesso em: 16 set. 2026.

BRASIL. Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). **Resolução Normativa nº 1.059**, de 7 de fevereiro de 2023. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 10 fev. 2023. Disponível em: https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/resolucao-normativa-aneel-n-1.059-de-7-de-fevereiro-de-2023-463828999. Acesso em: 26 set. 2026.

BRASIL. Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (Inmetro). **Conheça o PBE**. 2021. Disponível em: https://www.gov.br/inmetro/pt-br/assuntos/regulamentacao/avaliacao-da-conformidade/programa-brasileiro-de-etiquetagem/conheca-o-pbe. Acesso em: 16 set. 2026.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Entenda cada item cobrado na conta de luz e como acompanhar o consumo**. Brasília, DF: MME, 2026. Disponível em:

https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/entenda-cada-item-cobrado-na-conta-de-luz-e-como-acompanhar-o-consumo. Acesso em: 8 out. 2026.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia; Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ). **Quem é quem da eficiência energética no Brasil**. Organização de Centro de Excelência em Eficiência Energética (Excen) da Universidade Federal de Itajubá (Unifei). Brasília, DF: MME, 2019. Disponível em: https://cooperacaobrasil-alemanha.com/SEF/Quem_e_quem_eficiencia_energetica.pdf. Acesso em: 8 out. 2026.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia; Empresa de Pesquisa Energética. **Plano Nacional de Energia 2050 (PNE 2050)**. Brasília, DF: MME/EPE, 2020.

CASTRO, F. F. *et al.* **Transição energética para fontes de energia renováveis e sua dependência por minerais críticos**: aspectos geoeconômicos. Brasília, DF: Ipea, out. 2024. Disponível em: https://repositorio.ipea.gov.br/server/api/core/bitstreams/10885032-dcb7-4075-827b-fde4586dba70/content. Acesso em: 10 out. 2026.

CENTRO DE REFERÊNCIA PARA ENERGIA SOLAR E EÓLICA SÉRGIO DE SALVO BRITO (CRESESB). **SunData**: potencial solar. Rio de Janeiro: CEPEL, 2026. Disponível em: https://cresesb.cepel.br/index.php?section=sundata. Acesso em: 20 out. 2026.

COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS (CEMIG). **ND 5.1**: fornecimento de energia elétrica em tensão secundária: rede de distribuição aérea: edificações individuais. Belo Horizonte: CEMIG, 2024.

DEYE. **SUN-3.6/5/6/6.2K-G05P1-EU-AM2**: inversor fotovoltaico conectado à rede: folha de dados. Ningbo: Ningbo Deye Inverter Technology, 2024. Disponível em: https://pt.deyeinverter.com/deyeinverter/2024/11/13/datasheet_sun-3.6-6.2k-g05p1-eu-am2_240809_pt.pdf. Acesso em: 8 nov. 2026.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Anuário estatístico de energia elétrica 2026**: ano de referência 2025: sumário executivo. Rio de Janeiro: EPE, 2026. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-160/topico-168/Anuario_Sumario%20Executivo_2026_V1.pdf. Acesso em: 16 set. 2026.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Atlas da eficiência energética**: Brasil 2025. Rio de Janeiro: EPE, 2025. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-940/Atlas%20da%20Efici%C3%AAncia%20Energ%C3%A9tica%20Brasil%202025.pdf. Acesso em: 16 set. 2026.

GOOGLE. **Google Maps**. [S. l.]: Google, 2026. Disponível em: https://www.google.com/maps. Acesso em: 8 nov. 2026.

INSTITUTO NACIONAL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA (INEE). **Conceitos de eficiência energética**. Rio de Janeiro: INEE. Disponível em: https://inee.org.br/. Acesso em: 2 out. 2026.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA (INMETRO). Portaria nº 144, de 13 de março de 2015: **requisitos de avaliação da conformidade para lâmpadas LED integradas à base**. Brasília, DF: Inmetro, 2015.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA (INMETRO). Portaria nº 231, de 13 de abril de 2026: **regulamento técnico da qualidade e requisitos de avaliação da conformidade para lâmpadas e luminárias com tecnologia LED: consolidado**. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 5 maio 2026. Disponível em: https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=495240. Acesso em: 20 out. 2026.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **Climate change 2022**: mitigation of climate change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 2022.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. **IEC 62109-1**: safety of power converters for use in photovoltaic power systems: part 1: general requirements. Geneva: IEC, 2010.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. **IEC 62109-2**: safety of power converters for use in photovoltaic power systems: part 2: particular requirements for inverters. Geneva: IEC, 2011.

LIMA, R. A. A produção de energias renováveis e o desenvolvimento sustentável: uma análise no cenário da mudança do clima. **Revista Eletrônica Direito e-Nergia**, v. 5, n. 4, p. 1-27, 2012.

MAMEDE FILHO, João. **Instalações elétricas industriais**. 10. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2023. E-book. ISBN 9788521638643. Acesso em: 2 out. 2026.

MERCADO LIVRE. **Ventilador de parede Ventisol Profissional New de 60 cm**. [S. l.], 2026. Disponível em: https://www.mercadolivre.com.br/ventilador-de-parede-ventisol-profissional-new-de-60cm/p/MLB11759832. Acesso em: 8 nov. 2026.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). **Transformando nosso mundo**: a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável. Nova York: ONU, 2015.

PASSINI, A. F. C. *et al.* A importância do uso consciente e eficiente da energia elétrica em residências. **Engenharia Urbana em Debate**, 2021. Disponível em: https://www.engurbdebate.ufscar.br/index.php/engurbdebate/article/view/26. Acesso em: 2 out. 2026.

PINHO, João Tavares; GALDINO, Marco Antonio (org.). **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: CEPEL/CRESESB, 2014.

REIS, Ciro Marques. **Diversificação da matriz energética brasileira**: caminho para a segurança energética em bases sustentáveis. Rio de Janeiro: CEBRI, 2015. Disponível em: https://cebri.org/media/documentos/arquivos/DiversificacaoDaMatrizEnergeti.pdf. Acesso em: 2 out. 2026.

SEIXAS, Paulo Sergio da Silva. **Eficiência energética**. 1. ed. São Paulo: Contentus, 2020. E-book. Acesso em: 7 out. 2026.

TRINA SOLAR. **TSM-DE19R**: módulo fotovoltaico: folha de dados. [S. l.]: Trina Solar, [s. d.]. Disponível em: https://pages.trinasolar.com/DE19R.html. Acesso em: 8 nov. 2026.

ZILLES, Roberto *et al.* **Sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica**. São Paulo: Oficina de Textos, 2012.