



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

RAFAEL FACANHA ARAUJO

**APLICAÇÃO DE INTERNET DAS COISAS PARA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA:
VIABILIDADE ECONOMICA DO SMART QUADRO PARA REDUÇÃO DE
CONSUMO ENERGÉTICO EM INSTITUIÇÕES DE ENSINO PRIVADAS**

FORTALEZA
2017

RAFAEL FAÇANHA ARAUJO

**APLICAÇÃO DE INTERNET DAS COISAS PARA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA:
VIABILIDADE ECONOMICA DO SMART QUADRO PARA REDUÇÃO DE
CONSUMO ENERGÉTICO EM INSTITUIÇÕES DE ENSINO PRIVADAS**

Trabalho de conclusão de curso submetido à Coordenação do Curso de Engenharia de Energias Renováveis da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do Título de Engenheiro de Energias Renováveis, em dezembro de 2017.

Orientador: Prof. Paulo Alexandre Costa Rocha

Fortaleza - Ceará
Novembro/2017

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

A691a Araujo, Rafael Façanha.

Aplicação de internet das coisas para eficiência energética : viabilidade econômica do Smart Quadro para redução de consumo energético em instituições de ensino privadas / Rafael Façanha Araujo. – 2017.

37 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Curso de Engenharia de Energias Renováveis, Fortaleza, 2017.

Orientação: Prof. Dr. Paulo Alexandre Costa Rocha.

1. Eficiência energética. 2. Viabilidade econômica. 3. Internet das coisas. I. Título.

CDD 621.042

RAFAEL FAÇANHA ARAUJO

**APLICAÇÃO DE INTERNET DAS COISAS PARA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA:
VIABILIDADE ECONOMICA DO SMART QUADRO PARA REDUÇÃO DE
CONSUMO ENERGÉTICO EM INSTITUIÇÕES DE ENSINO PRIVADAS**

Trabalho de conclusão de curso submetido à Coordenação do Curso de Engenharia de Energias Renováveis da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do Título de Engenheiro de Energias Renováveis, em dezembro de 2017.

Aprovado em ___/___/_____

BANCA EXAMINADORA

Orientador: Prof. Dr. Paulo Alexandre Costa Rocha
UFC

Prof^a. Dr^a. Natália Maria Cordeiro Barroso
UFC

Prof. Dr. Francisco Nivaldo Aguiar Freire
UFC

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à minha família, Raimunice, Antônio, Gabriel, Jamille e Rogério, que sempre estiveram ao meu lado e me apoiaram nas minhas empreitadas profissionais e pessoais.

Aos meu amigos e colegas que direta ou indiretamente contribuíram na minha jornada.

Aos professores da UFC, em especial Tarcísio Ferreira, Natália Cordeiro, Talita Vasconcelos e Bruno Prata, pelos desafios propostos e os conhecimentos compartilhados.

Ao professor orientador, Paulo Alexandre Costa, cuja orientação e suporte foram imprescindíveis para a conclusão deste trabalho.

À minha namorada, Ana Luiza, pelo apoio, carinho e compreensão em todos os momentos.

RESUMO

A Eficiência Energética é uma necessidade cada vez maior e ficou ainda mais evidente com a crise energética que viveu o Brasil no ano 2001. Não existe mais espaço para desperdício de energia e a otimização energética deve ser uma busca constante no país, principalmente devido à nova crise energética que o país vive. Nesse contexto, muitas soluções têm surgido, utilizando as mais diversas tecnologias. Assim, o presente trabalho apresenta o caso prático de uma solução de eficiência energética baseada no princípio de internet das coisas. Ela utiliza um controlador capaz de criar uma rede de baixa energia que se comunica com módulos individuais conectados aos circuitos elétricos. São mostradas suas funcionalidades, que consistem em medir a energia e controlar o estado de circuitos, além do potencial em evitar o desperdício de energia. Finalmente, é provada sua viabilidade econômica a partir de medições energéticas realizadas em um cliente real e preços apresentados pelo próprio fornecedor. Esse trabalho tem como objetivo analisar a viabilidade financeira e técnica da solução apresentada. Globalmente é mostrado que a solução é um investimento viável para o cliente, tendo um retorno sobre investimento um pouco maior que um ano e apesar de ter alguns entraves, como a adaptação de cultura por parte do cliente, é uma solução que se prova eficaz. Finalmente, os resultados apresentados motivaram um contrato entre fornecedor e cliente, em um projeto em que a solução será implantada em 13 unidades consumidoras em 8 estados brasileiros. O início da implantação será em janeiro de 2018.

Palavras-chave: Eficiência energética, Viabilidade econômica, Internet das coisas.

ABSTRACT

Energy Efficiency is a growing need and was even more evident with the energy crisis that Brazil experienced in 2001. There is no more space for energy waste and energy optimization should be a constant search in Brazil, mainly due to the new energy crisis that the country is experiencing. In this context, many solutions have emerged, using the most diverse technologies. Thus, the present work presents the practical case of an energy efficiency solution based on the internet of things technology. It uses a controller capable of creating a low-energy network that communicates with individual modules connected to electrical circuits. Its functionalities are shown, which consist of measuring the energy and controlling the state of circuits, as well as the potential to avoid wasting energy. Finally, its economic viability is verified, based on energy measurements performed on a real customer and prices presented by the supplier itself. This work aims to analyze the financial and technical feasibility of the presented solution. Overall, it is shown that the solution is a viable investment for the client, having a return on investment a little over a year and despite having some obstacles, such as the adaptation of culture by the client, is a solution that proves effective. Finally, having a closed contract between supplier and customer, in a project in which the solution will be implemented in 13 consumer units in 8 Brazilian states. The deployment will be started in January 2018.

Keywords: Energy efficiency, Economic viability, internet of things.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fibaro Wall Plug	19
Figura 2 - Topologia de funcionamento Cloogy	19
Figura 3 - Esquema simplificado Smart Quadro®.....	22
Figura 4 - Módulo Smart Quadro®.....	23
Figura 5 - Instalação Smart Quadro® sobreposto.....	25
Figura 6 - Smart Quadro® em funcionamento	25
Figura 7 - Exemplos de desperdício energético	28
Figura 8 - Consumo energético de ar condicionados (kWh).....	28
Figura 9 - Potência consumida por sala ao longo do dia (W).....	29
Figura 10 - Comparação de consumo energético (kWh)	29

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Preços unitários do material para o Smart Quadro®.....	30
Tabela 2 - Preço software Smart Quadro®.....	30
Tabela 3 - Preços instalação Smart Quadro®.....	30
Tabela 4 - Total de equipamentos necessários	31
Tabela 5 - Preço total Smart Quadro®.....	31
Tabela 6 - Economia total Smart Quadro®.....	31
Tabela 7 - Fluxo de caixa estimado para a solução	32
Tabela 8 - Indicadores econômicos do investimento	33

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

IES – Instituição de **E**nsino **S**uperior

IoT – **I**nternet **o**f **T**hings (Internet das Coisas)

UX – **U**ser **E**xperience (Experiência de Usuário)

ROL – **R**eceita **O**peracional **L**íquida

PEE – **P**rograma de **E**ficiência **E**nergética

ANEEL – **A**gência **N**acional de **E**nergia **E**létrica

EPE – **E**mpresa de **P**esquisa **E**nergetica

BEN – **B**alanco **E**nergético **N**acional

ESCO – **E**mpresas de **S**erviço e **C**onservação de **E**nergia

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	FUNDAMENTAÇÃO TEORICA	15
2.1	Perdas Energéticas	15
2.1.1	Perdas por projeto deficiente	15
2.1.2	Perdas por manutenção inadequada	16
2.1.3	Perdas por operação ineficiente	16
2.2	Programa de Eficiência Energética da ANEEL	16
2.3	Smart Grid.....	17
2.4	Soluções de mercado	18
2.4.1	Fibaro Wall Plug.....	18
2.4.2	Cloogy	19
3	METODOLOGIA.....	20
3.1	O Smart Quadro®.....	20
3.2	Método de avaliação	23
3.3	O projeto	26
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	27
4.1	Mapeamento do desperdício energético	27
4.2	Eficiência energética obtida.....	28
4.3	Balanco econômico da solução.....	30
4.3.1	Custos	30
4.3.2	Economias	31
4.3.3	Análise do investimento	32
4.4	Dificuldades encontradas.....	34
4.4.1	Dificuldades técnicas	34
4.4.2	Dificuldades operacionais	34
4.5	Considerações finais	35
5	CONCLUSÃO.....	36

1 INTRODUÇÃO

O consumo de energia elétrica no Brasil ao longo dos últimos dez anos apresenta um crescimento quase contínuo. Isso pode ser constatado através da análise dos dados apresentados anualmente no Balanço Energético Nacional – BEN (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2014).

Para atender a esse aumento no consumo e garantir um fornecimento adequado, é necessário que haja também um aumento na geração de energia elétrica (BARDELIN, 2004). Essas ampliações estão quase sempre associadas a custos elevados e limitadas a diversas condições, além de geralmente causarem grandes impactos ambientais. Assim, caso a capacidade já esteja no seu limite máximo, serão necessários volumosos investimentos, tais como construção de novas usinas hidroelétricas.

Diante do exposto, a fim de mitigar a necessidade dessa ampliação e garantir o fornecimento, são essenciais medidas para redução do consumo.

No entanto, algumas dessas medidas como, por exemplo, os racionamentos, causam impactos que afetam não só os consumidores, mas também a economia, a política e o país de modo geral (BARDELIN, 2004). Por outro lado, podem-se tomar algumas ações mais simples e de menor impacto, evitando ou amenizando políticas mais radicais. Como exemplo, a redução do desperdício de energia elétrica por parte dos clientes, problema este constante na maioria dos grandes centros urbanos.

É comum, em instituições e empresas, que os funcionários, por descuido, esqueçam luzes e aparelhos ligados ao final do expediente. Esses equipamentos permanecem ligados durante toda a noite, consumindo energia elétrica sem que seja realmente necessário, ou seja, desperdiçando energia.

Se o escopo do problema for delimitado ao setor público, chega-se a números preocupantes. Este setor responde por aproximadamente 8% de toda energia elétrica consumida no país (EPE, 2014) e é considerado como o grande desafio dos programas de eficiência energética, principalmente por suas características. Grande parte deste consumo, cerca de 81%, está localizado em prédios públicos e destinam-se à iluminação, à força motriz, ao condicionamento ambiental, entre

outros. Se a questão cultural é um problema para o desperdício de energia elétrica como um todo, no setor público ele se apresenta mais acentuado.

A atual legislação brasileira prevê investimentos subsidiados relacionados à eficiência energética por meio de vários programas, incluindo Programa de Eficiência Energética (PEE) para as concessionárias de energia elétrica reguladas pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) (PROPEE, 2013). Estes programas obrigam as concessionárias a investirem 0,5% da sua Receita Operacional Líquida (ROL) em projetos de eficiência energética. De acordo com a regulamentação da ANEEL, o setor público merece destaque. Estudos realizados pela Procel Prédios Públicos (2012), referentes aos projetos de eficiência energética no período de 2002 a 2007, mostram que o percentual de economia em um prédio público é da ordem de 20%. Projetos mais recentes elaborados pelas Empresas de Serviço e Conservação de Energia (ESCOs), mostram que esse percentual varia de 25 a 65%, o que facilita alcançar os índices necessários nos investimentos de PEE. Ademais, estes programas podem reduzir os níveis de inadimplência de seus consumidores do setor público, como prefeituras e hospitais, bem como disponibilizar a energia conservada para outros clientes, consequentemente, adiando a necessidade de investimentos em ampliação da capacidade dos sistemas de distribuição.

O conceito de Smart Grid (Rede Inteligente) propõe a modernização do setor elétrico ampliando sua eficiência, disponibilidade e segurança, além de permitir a conexão de pequenas fontes de geração renováveis ao sistema elétrico. Tudo isso através do uso intensivo de recursos de comunicação e informática, desde a geração até o consumidor final (CEMIG, 2012). Um dos principais destaques do Smart grid são os smart-meters, medidores inteligentes que são capazes de medir energia em quatro quadrantes, ou seja, energia ativa e reativa que é consumida e gerada. Entretanto, seu grande problema está no custo elevado se comparados aos medidores convencionais, dificultando a aquisição em larga escala.

A adoção do conceito de Smart grids pelas concessionárias de energia já é considerada um caminho sem volta. Porém, sua evolução tecnológica tende a crescer, graças ao conceito de Internet of Things (IoT) – Internet das coisas. O IoT se baseia no conceito de que atualmente existem muito mais equipamentos conectados à Internet do que computadores e/ou smartphones, e que esse número, em 2020, será em torno de 50 bilhões (EVANS, 2011). Objetos e aparelhos do dia a

dia conectados à Internet, possibilitam a capacidade de detecção de mudanças nas qualidades físicas das coisas usando tecnologias sensoriais. Isso permite que a inteligência de cada objeto aumente o poder da rede de devolver a informação processada para diferentes pontos, incluindo informações às concessionárias e aos usuários. Permite também que os conceitos de User Experience (UX) _ Experiência do Usuário – sejam explorados pelas “coisas” da IoT, facilitando a interação homem-computador a partir de aspectos afetivos, experienciais e práticos, possibilitando facilidade de utilização e eficácia do sistema. Grandes empresas, como a CISCO e a Microsoft estão disponibilizando plataformas para desenvolvedores de IoT e um dos focos é a distribuição de energia elétrica.

Nesse contexto, o presente trabalho visa apresentar o caso real de um dispositivo dentro do conceito de Smart Grids. Esta solução, chamada **Smart Quadro®**, usa a tecnologia de IoT para diminuir o desperdício e aumentar o controle que o consumidor tem sobre o seu consumo. Nesse contexto, o dispositivo é apresentado detalhadamente, bem como seu potencial de economia de energia e viabilidade econômica em uma aplicação real.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEORICA

Pode-se definir eficiência energética como a racionalização da energia através de ações ou medidas comportamentais, tecnológicas e econômicas sobre sistemas e processos que resultem em diminuição da demanda energética, sem prejuízo da quantidade ou da qualidade dos bens e serviços produzidos (GODOI, 2011).

Assim, nessa seção estão abordados os tipos de perdas, *smart grid*, um breve resumo sobre o programa de eficiência energética da ANEEL e soluções comerciais similares ao Smart Quadro®.

2.1 Perdas Energéticas

Segundo Nogueira (2007), para que seja possível reduzir as perdas energéticas e garantir uma eficiência elevada, é interessante determinar os tipos de perdas que ocorrem nos sistemas. Ele classifica essas perdas em duas categorias: técnicas e econômicas. As primeiras são decorrentes do projeto do equipamento ou sistema. Já as econômicas levam em consideração os custos relacionados à utilização do equipamento ou sistema.

Ainda segundo Nogueira (2007), é possível destacar três grupos de causas para as perdas apresentadas:

- Projeto deficiente;
- Manutenção inadequada;
- Operação ineficiente.

2.1.1 Perdas por projeto deficiente

As perdas causadas por projeto ineficiente estão relacionadas às características impostas por matérias e tecnologias definidas na fase de projeto do equipamento ou sistema. Sendo assim, tais perdas só podem ser reduzidas através de mudanças no projeto desenvolvido ou pela modificação do equipamento por outro mais eficiente.

Em dezembro de 1993, o governo instituiu o Selo Procel. “O selo Procel tem por objetivo orientar o consumidor no ato da compra, indicando os produtos que

apresentam os melhores níveis de eficiência energética dentro de cada categoria, proporcionando, assim, economia na sua conta de energia elétrica” (ELETROBRAS, 2012).

2.1.2 Perdas por manutenção inadequada

As perdas causadas por manutenção inadequada ocorrem geralmente quando o equipamento é utilizado sem que seja aplicada nenhuma técnica de manutenção. Dessa forma, com o passar do tempo, esse equipamento vai elevando suas perdas e, conseqüentemente, baixando o seu rendimento, podendo até mesmo parar o funcionamento por completo.

2.1.3 Perdas por operação ineficiente

As perdas causadas por operação ineficiente são relacionadas à forma de utilização dos equipamentos ou sistemas, como por exemplo, equipamentos que permanecem ligados enquanto o benefício de sua utilização não está sendo aproveitado.

Esse tipo de perda está diretamente relacionada aos consumidores e, por isso, necessita de ações por meio deles para eliminar ou reduzir a sua ocorrência.

Essas ações muitas vezes não são fáceis de serem executadas. Isso se deve à quantidade de equipamentos elétricos que são utilizados por esses clientes. Por isso, sistemas que permitem esse gerenciamento da energia elétrica são fundamentais para identificar e possibilitar a redução desse tipo de perda.

2.2 Programa de Eficiência Energética da ANEEL

Conforme determina a legislação específica, em particular a Lei no 9.991, de 24 de julho de 2000 (BRASIL, 2000), as empresas concessionárias ou permissionárias de distribuição de energia elétrica, doravante denominadas distribuidoras, devem aplicar um percentual mínimo da receita operacional líquida (ROL) em Programas de Eficiência Energética. Esse percentual tem sido alterado ao longo do tempo, chegando em 2015 a 0,5%.

O objetivo do PEE é promover o uso eficiente e racional de energia elétrica em todos os setores da economia por meio de projetos que demonstrem a importância e a viabilidade econômica de ações de combate ao desperdício e de melhoria da eficiência energética de equipamentos, processos e usos finais de energia. Para isso, busca-se maximizar os benefícios públicos da energia economizada e da demanda evitada no âmbito desses programas. O objetivo é a transformação do mercado de energia elétrica, estimulando o desenvolvimento de novas tecnologias e a criação de hábitos e práticas racionais de uso da energia elétrica.

Para a utilização desse recurso, empresas e instituições, públicas e privadas, submetem projetos que provem, através de indicadores, que o projeto é eficiente. Para prédios públicos, esses indicadores são facilmente obtidos.

2.3 Smart Grid

O crescente aumento no consumo de energia elétrica associado a uma demanda cada vez maior por fontes geradoras de energia limpa faz surgir a necessidade de uma modernização do setor elétrico, a fim de tornar mais eficiente a infraestrutura elétrica, desde a geração até o consumidor final. “O que foi projetado para atender a uma realidade do século XX seguramente não conseguirá acompanhar satisfatoriamente as tendências de demanda do século XXI” (CPQD, 2012).

O conceito de *Smart Grid* ou rede inteligente “baseia-se na utilização intensiva de tecnologia de automação, computação e comunicações para monitoração e controle da rede elétrica, as quais permitirão a implantação de estratégias de controle e otimização da rede de forma muito mais eficiente que as atualmente em uso” (FALCÃO, 2010, p. 1).

Segundo Chia e Correia (2011, p. 17), a Plataforma Tecnológica Europeia define *Smart grids* como “redes de eletricidade que podem integrar inteligentemente o comportamento e as ações de todos os usuários conectados a elas - produtores, consumidores e aqueles que fazem as duas coisas (prosumers) - a fim de eficientemente entregar um fornecimento de energia sustentável, e econômico”

Ainda segundo Chia e Correia (2011), dentre os objetivos das redes inteligentes pode-se destacar:

- Motivar o gerenciamento pelo lado da demanda;
- Fornecer energia de melhor qualidade ao consumidor;
- Evitar, ou minimizar ao máximo, interrupção de fornecimento;
- Possibilitar mais opções de geração e armazenamento de energia.

2.4 Soluções de mercado

O equipamento avaliado está inserido em um mercado crescente com soluções já existentes como um smart meter ou medidor inteligente, apesar de ter algumas funções adicionais. Outro termo também utilizado para classificar equipamentos similares, mas não tão frequente, é: Gerenciadores de medição automatizada (Advanced Metering Management - AMM).

Os smart meters destinam-se a educar os consumidores sobre o consumo de energia e orientá-los para o seu uso mais eficiente. Esses equipamentos são capazes de fornecer para a empresa concessionária detalhes sobre o consumo de energia em intervalos de tempo precisos através de uma rede. Com isso, pode-se utilizar essa informação como uma ferramenta valiosa na previsão de energia, bem como para fins de faturamento.

Equipamentos com essas características já existem no mercado há algum tempo. Eles realizam coleta de dados de consumo de forma passiva. Tais dispositivos são amplamente aplicados em campo.

A solução apresentada neste trabalho propõe algumas características diferenciadas dos modelos convencionais, tais como os aspectos físicos, que devem ser os mesmos de um quadro elétrico convencional.

Os equipamentos semelhantes, existentes no mercado, são basicamente sistemas embarcados, microcontrolados, que possuem circuitos para medição e comunicação, além de uma interface para operação e configuração. Nas seções 2.4.1 e 2.4.2 são descritos dois equipamentos semelhantes e apresentadas suas principais características.

2.4.1 Fibaro Wall Plug

Essa solução consiste em um pequeno dispositivo que é acoplado entre a tomada e os equipamentos elétricos. Ele realiza a medição do consumo de energia elétrica pelo equipamento e envia as informações remotamente para uma aplicação onde os dados podem ser visualizados. Através da aplicação, é possível visualizar, por exemplo, o histórico de consumo e os equipamentos com consumo mais elevado. A **Figura 1** ilustra o dispositivo.

Figura 1 - Fibaro Wall Plug

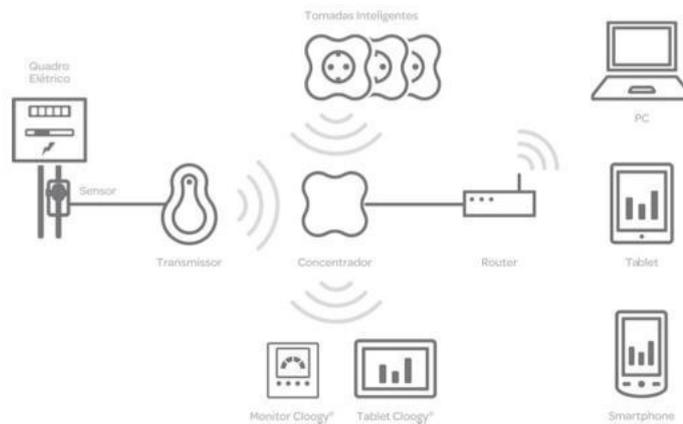


Fonte: Fibaro (Online)

2.4.2 Cloogy

Essa solução consiste na instalação de pequenos dispositivos à rede elétrica, similar ao Fibaro. Esses dispositivos realizam a medição da energia elétrica consumida e enviam os dados a um outro dispositivo, que concentra essas informações e comunica-se com um roteador, permitindo que as mesmas sejam visualizadas por meio de uma aplicação. A topologia de comunicação é ilustrada na **Figura 2**.

Figura 2 - Topologia de funcionamento Cloogy



Fonte: Cloogy (Online)

3 METODOLOGIA

O **objetivo** da metodologia apresentada é de avaliar o potencial de eficiência energética possível de se obter utilizando o Smart Quadro® e fazer uma análise de viabilidade econômica a partir dos resultados de economia obtidos e do custo da solução. Ao final, chegar a conclusão se, no cenário apresentado, a solução representa um investimento interessante.

Uma das soluções avaliadas foi o Smart Quadro®, produto desenvolvido, fabricado e comercializado pela *startup* cearense Hexa Soluções Tecnológicas. Seu método de avaliação e resultados são apresentados aqui. O método aplicado teve como objetivo chegar à conclusão sobre o investimento e implementação em larga escala dessa solução.

No contexto deste trabalho, foi instalado um quadro inteligente em série aos circuitos de ar condicionado de 1 (um) andar do prédio de engenharia de uma Instituição de Ensino Superior (IES).

Durante o período em que esse quadro esteve instalado, foi avaliada a sua viabilidade técnica e econômica. Dessa forma, foi calculado o seu potencial de evitar desperdício energético e comparado com os custos de sua implantação.

Na seção 3.1 estão descritos os detalhes da solução avaliada, na seção 3.2 é descrito o contexto em que essa solução atuou e a metodologia atualizada, e na seção 3.3 é detalhado o projeto que foi realizado para a solução.

3.1 O Smart Quadro®

O Smart quadro® é um quadro elétrico inteligente, desenvolvido para substituir os quadros elétricos convencionais e realizar a medição da unidade consumidora dentro do conceito de smart grids. Desta forma, ele atua como sendo um sistema modular de medição e controle de corte e religamento geral e seletivo, por circuitos, com acesso diferenciado da concessionária e da unidade consumidora.

O sistema Smart Quadro® é integrado por duas partes, a saber: medidor modular e quadro inteligente. O medidor modular é caracterizado por ser um medidor eletrônico convencional, de baixo custo, com capacidade de comunicação sem fio para integração ao quadro inteligente. O medidor modular funciona de

maneira independente ao quadro inteligente, com funcionalidades básicas de um medidor convencional. Quando da presença de um quadro inteligente, o medidor modular irá detectar e conectar-se ao mesmo por uma conexão sem fio e adquirir as funcionalidades de “smart meter”.

O quadro inteligente, por sua vez, é dotado de conectividade e processamento de dados e informação que permite que concessionária de energia e clientes possam se beneficiar de sua tecnologia implementada. Pelo lado da concessionária, permitirá que o medidor modular se transforme em um *smart meter*, com as seguintes funcionalidades implementadas a partir do quadro inteligente:

- Corte e Religamento;
- Tarifação Horo Sazonal;
- Medição em 4 Quadrantes (Energia ativa e reativa que é consumida e energia ativa e reativa que é gerada);
- Comunicação Bidirecional;
- Medição à distância, utilizando conceito de IoT;
- Previsão de adoção futura de energia pré-paga;

Já pelo lado do consumidor, o quadro inteligente possui um sistema de medição e controle individual de seus circuitos elétricos, que permite aos consumidores uma análise específica de cada circuito da unidade consumidora, além do corte e religamento dos circuitos individuais. Desta forma, o quadro inteligente se conecta à Internet para ter acesso às informações dos clientes por meio de redes sociais (Facebook e Google+) e atuar a partir da análise dos perfis de consumo dos usuários, aplicando os conceitos de UX. Em outras palavras, o quadro inteligente aprende os perfis de consumo dos usuários e pode atuar sem a necessidade de uma programação do cliente. A integração com outros dispositivos, como smartphones, permitirá que o quadro inteligente envie avisos para os usuários, permitindo que eles aceitem a programação realizada, rejeite-as ou introduza programação manual por meio de computadores, tablets ou celulares.

Outra funcionalidade do equipamento é a de controlador de demanda por circuitos. Desta forma, o usuário poderá selecionar os consumos mensais máximos por circuito ou permitir o uso sem limiar. Quando alcançar o limite, o sistema emite

um aviso e propõe desligar o circuito individual até o fim do ciclo, funcionando como um sistema de energia pré-paga para circuitos individuais.

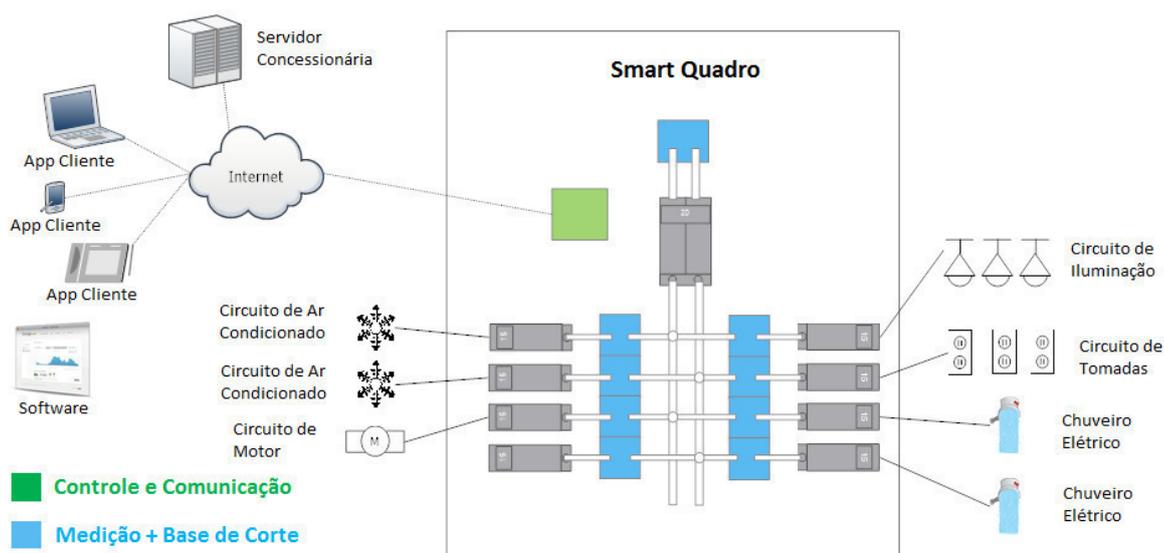
O equipamento permite ao consumidor e à concessionária, nos casos de programas PEE com prédios públicos, por exemplo, detectar circuitos que consomem mais energia elétrica e os períodos de maior consumo, podendo ainda programar o desligamento desses circuitos ou tomar medidas para tentar reduzir o consumo e, conseqüentemente, os gastos com energia elétrica.

Para que seja possível a substituição de quadros convencionais, o Smart Quadro® foi desenvolvido mantendo as mesmas características físicas de um quadro elétrico convencional.

As vantagens para a concessionária, além do PEE com prédios públicos, estão no fato de poder trabalhar com medidores convencionais que possam se transformar, a qualquer tempo, em smart meters quando da adoção do Smart Quadro®.

O acesso às funcionalidades do quadro inteligente é realizado através de plataforma WEB, permitindo o acesso através de dispositivos como tablets, smartphones e computadores. A comunicação entre o quadro e a aplicação WEB é implementada através de um servidor. A **Figura 3** ilustra o esquema didático do Smart Quadro®.

Figura 3 - Esquema simplificado Smart Quadro®



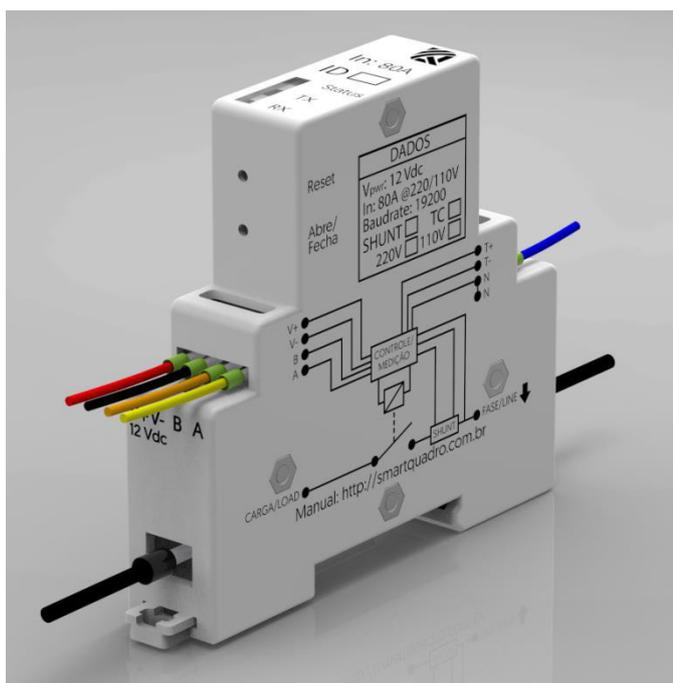
Fonte: Hexa soluções tecnológicas

Diferentemente das soluções comerciais já apresentadas, o Smart Quadro® propõe a substituição do quadro elétrico convencional e não a distribuição de plug's

inteligentes que dificultariam o monitoramento de circuitos específicos, como ar condicionado e chuveiros elétricos, por exemplo. Esse modelo proposto facilita a utilização e é menos propenso a falhas, uma vez que a interferência mecânica no quadro, após instalado, será mínima.

A **Figura 4** representa um módulo Smart Quadro® que é ligado em série ao disjuntor do circuito, dentro do próprio quadro elétrico.

Figura 4 - Módulo Smart Quadro®



Fonte: Hexa soluções tecnologicas

3.2 Método de avaliação

Para a avaliação da solução proposta, um quadro sobreposto foi instalado ao lado do quadro de circuitos de ar condicionado do segundo andar do prédio de engenharia de uma instituição de ensino superior particular, na cidade de Fortaleza.

O segundo andar do prédio de engenharia contava com 10 (dez) salas de aula, que funcionavam apenas nos períodos da manhã (das 8 h às 11 h) e da noite (das 19 h às 22 h) da segunda a sexta-feira, não havendo aulas aos sábados nem aos domingos.

Durante o período em que foram feitas as medições, poderia haver alterações de horário de aula entre duas semanas para a mesma sala de aula.

Cada uma das salas do prédio em questão é equipada com 2 (dois) ar condicionados inverter de 24.000 BTUs da marca LG que consome 48,82 kWh/mês (kWh consumidos se ligado durante uma hora por dia, durante 30 dias) (INMETRO, 2014).

Esse quadro continha módulos Smart Quadro® que, entre outras funções, mediam o consumo acumulado e a potência ativa consumida, para cada circuito de ar condicionado. O período de teste de 4 semanas teve início no dia **07/03/2017** e foi finalizado no dia **03/04/2017**, sendo dividido em duas etapas:

- **Etapa 1 - apenas medições (de 07/03/2017 até 20/03/2017):** durante esse espaço de tempo, foram realizadas as medições do regime normal de funcionamento, a fim de identificar se havia desperdícios e quais os seus comportamentos. Além disso, obter uma base comparativa que seria utilizada para avaliar as melhoras de regime;
- **Etapa 2 - medições e agendamento (de 21/04/2017 até 03/04/2017):** nesse período foram realizadas as mesmas medidas em que o período anterior. Foram também realizados agendamentos com o intuito diminuir o desperdício energético das salas de aula.

Ao fim dos períodos, foram comparadas as medições de consumo das salas de aula, com o intuito de avaliar qual o potencial de desperdício que poderia ser evitado. De posse dessas comparações, foram avaliados indicadores econômicos de viabilidade de investimento, caso mantido o potencial de economia obtido.

Todos os resultados aqui foram apresentados para o cliente final, para a decisão sobre o investimento nessa solução de eficiência energética.

As **Figuras 5 e 6** ilustram o quadro de avaliação que foi instalado no cliente durante o período apresentado.

Figura 5 - Instalação Smart Quadro® sobreposto

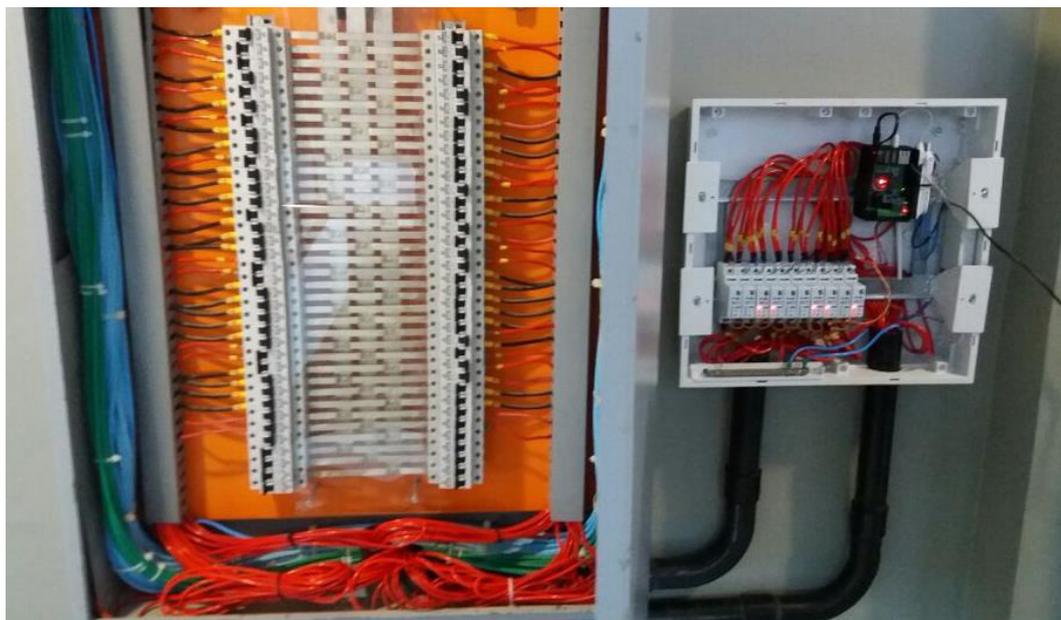


Figura 6 - Smart Quadro® em funcionamento



3.3 O projeto

Os resultados apresentados neste trabalho foram realizados dentro do contexto de um projeto de consultoria estratégica. Eles auxiliaram na tomada de decisão sobre o investimento na solução aqui apresentada. Essa solução seria instalada em 13 IES distribuídas em 8 estados brasileiros. Nesse contexto, os resultados de ganhos de eficiência obtidos na avaliação feita na IES de Fortaleza foram extrapolados para todas as outras IES.

Ao fim do projeto foi tomada a decisão de realizar a instalação de um total de 1.084 módulos e 107 quadros nas IES em questão. Essa instalação será feita em janeiro de 2018.

Alguns dos números apresentados aqui estão levemente alterados por um fator (mantendo a proporcionalidade entre os dados obtidos) para manter sigilosa a realidade do projeto, tendo em vista que alguns dos números têm uma importância estratégica tanto para a empresa compradora quanto para o fornecedor.

Os indicadores econômicos calculados neste trabalho são os mesmos que os da solução.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para obter resultados conclusivos, foram avaliados 3 (três) pontos principais:

- Desperdício energético.
- Eficiência obtida entre as etapas 1 e 2.
- Retorno econômico.

Todos os resultados foram obtidos a partir das medições realizadas entre os períodos de **07/03/2017** e **03/04/2017**, como citado anteriormente. As medições foram feitas unicamente pelo smart quadro® que estava instalado nesse período.

Para chegar a conclusões palpáveis, foram adotadas as seguintes hipóteses:

- A eficiência obtida no piloto seria a mesma para o projeto como um todo;
- O consumo (kWh) por hora aula é uma unidade de medida que possibilita comparar dois períodos diferentes;

Avaliando os pontos citados acima e levando em consideração a hipótese adotada, pode-se ter a ideia da viabilidade do retorno sobre o investimento considerado.

4.1 Mapeamento do desperdício energético

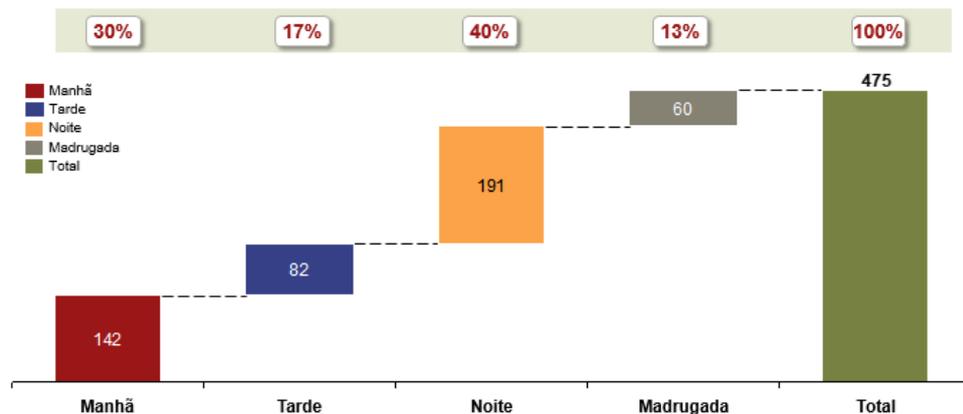
A partir das medições realizadas na etapa 1, foram mapeados os pontos de desperdício que deveriam ser endereçados por meio de agendamento. Na **figura 7** estão os gráficos de potência ativa (kW) ao longo de um dia de consumo no circuito de ar condicionado de algumas das salas que estavam inclusas no piloto.

Figura 7 - Exemplos de desperdício energético



Foi observado que mesmo fora do horário de aula existe um consumo. Esse desperdício foi quantificado ao longo da **etapa 1** para todas as salas que estavam incluídas no piloto. Os resultados estão mostrados na **Figura 8**.

Figura 8 - Consumo energético de ar condicionados (kWh)



Na **Figura 8**, manhã e noite correspondem aos horários de aula. Tarde e madrugada são horários em que as salas não estão funcionando, logo não deveria haver consumo.

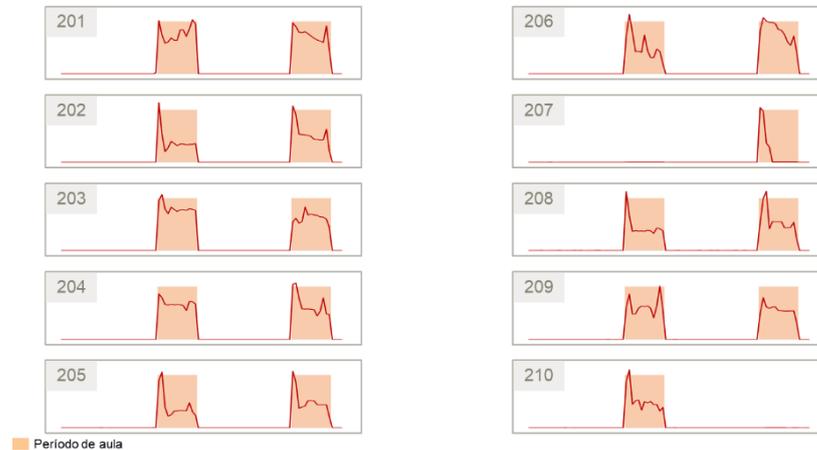
Dessa forma, é observado um potencial de economia de **30%** apenas evitando o consumo fora de hora.

4.2 Eficiência energética obtida

Os agendamentos dos equipamentos foram realizados pela equipe operacional responsável pela alocação de salas, ligando os aparelhos de ar

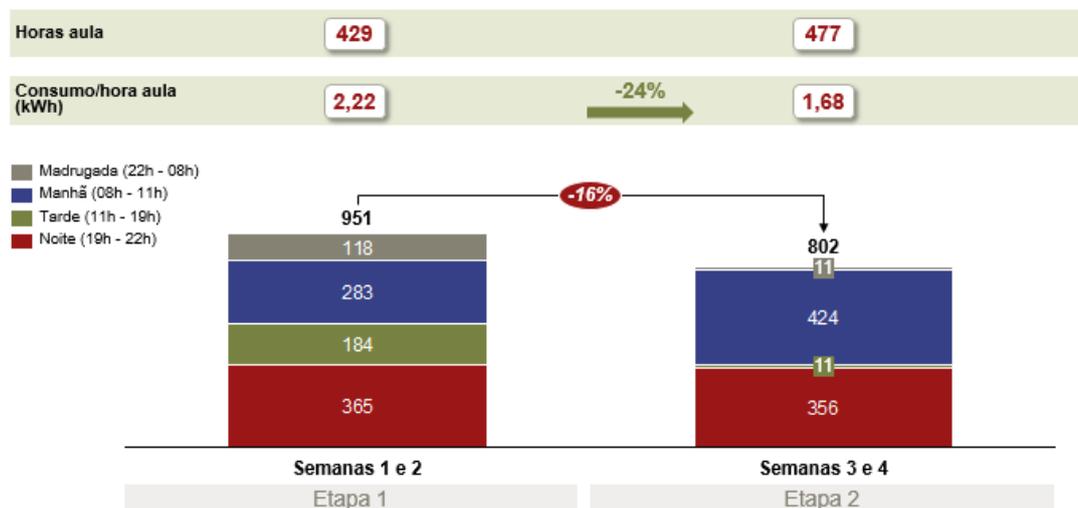
condicionado de salas que seriam utilizadas 5 minutos antes do início da aula e desligando imediatamente no término. Na **Figura 9** está demonstrado o consumo de potência ao longo de um dia com o agendamento:

Figura 9 - Potência consumida por sala ao longo do dia (W)



Na **Figura 10** os resultados obtidos na **etapa 2** são comparados aos resultados da **etapa 1**.

Figura 10 - Comparação de consumo energético (kWh)



Observa-se que mesmo com o aumento de horas aula entre as etapas 1 e 2, com a introdução do agendamento existe uma redução do consumo energético absoluto de **16%**. Quando normalizado o consumo por hora aula, para que as medidas sejam comparáveis, foi obtido um ganho de eficiência de **24%**, isto é, caso nas duas etapas houvesse a mesma quantidade de horas aula, haveria uma redução de 24% no consumo energético.

Observa-se que este ganho é menor que aquele esperado (30% de eficiência). Isso advém das características dos aparelhos de ar condicionado

instalados nas salas. Por serem do tipo “inverter”, essas máquinas perdem um pouco da eficiência inicial, pois o fluido frio não estará a uma temperatura adequada para o início do funcionamento.

4.3 Balanço econômico da solução

4.3.1 Custos

Foram obtidos os seguintes valores para a compra e instalação da solução, providos pela empresa fornecedora e instaladora da solução, Hexa:

Tabela 1 - Preços unitários do material para o Smart Quadro®

Equipamento	Preço unitário
Módulo	R\$ 539,89
Controlador	R\$ 2.001,03
Material elétrico	R\$ 964,01

Além do custo material, foram apresentados os custos de software e da mão de obra de instalação, apresentados nas **Tabelas 2 e 3**.

Tabela 2 - Preço software Smart Quadro®

Software	Preço assinatura anual por módulo
Aplicação Smart Quadro®	R\$ 75,00

Tabela 3 - Preços instalação Smart Quadro®

Serviço	Preço unitário por quadro
Instalação	R\$ 1.121,13

Com o inventário de aparelhos de ar condicionado de cada IES e consulta com a equipe operacional, foram calculados o número de módulos e quadros que seriam utilizados dentro do projeto completo. As quantidades, assim como o preço total da solução estão mostrados nas **Tabelas 4 e 5**.

Tabela 4 - Total de equipamentos necessários

Equipamento	Quantidade total
Módulo	1.084
Quadro elétrico	107

Tabela 5 - Preço total Smart Quadro®

Categoria de custo	Preço total
Módulo	R\$ 585.238,05
Controlador	R\$ 214.109,68
Material elétrico	R\$ 103.149,34
Aplicativo Smart Quadro®	R\$ 81.300,00
Serviço de instalação	R\$ 119.960,38

Portanto, o custo total da solução é de **R\$ 1.103.757,44**.

É importante notar que cada quadro elétrico conta com um controlador e uma unidade de material elétrico.

4.3.2 Economias

Para o cálculo da economia total esperada em um ano, foi utilizado o inventário de aparelhos de ar condicionado de cada IES em conjunto com a tabela de consumo PROCEL. Com esses recursos foi possível obter o valor de consumo total para cada ar condicionado.

Foi utilizado o valor de 24% para redução de consumo e uma tarifa energética de R\$ 0,734 por kWh de energia consumido. Tarifa média entre as IES, todas estavam no mercado livre de energia.

Os valores obtidos são apresentados na **Tabela 6**:

Tabela 6 - Economia total Smart Quadro®

Consumo total ar condicionado	5.332 MWh/ano
--------------------------------------	---------------

Economia energética total esperada	1.279 MWh/ano
Economia anual esperada	R\$ 939.092,34

4.3.3 Análise do investimento

De posse dos custos de compra e instalação da solução e das economias geradas pelo corte do desperdício energético, é feita uma estimativa de fluxo de caixa. Essa estimativa é baseada nas seguintes hipóteses:

- O consumo de energia é constante ao longo do tempo, sendo também a economia de energia gerada
- Tarifa energética evoluindo ao longo do tempo apenas com a inflação, considerada 4% ao ano
- Taxa de juros média de 7,5%
- Garantia de 5 anos sobre a solução

A **Tabela 7** compila o fluxo de caixa considerado para o cálculo dos indicadores de viabilidade do investimento.

Tabela 7 - Fluxo de caixa estimado para a solução

	Ano 0	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4	Ano 5
Saídas	R\$1.022.457,44	R\$81.300,00	R\$81.300,00	R\$81.300,00	R\$81.300,00	R\$81.300,00
Entradas		R\$939.092,34	R\$976.656,03	R\$1.015.722,27	R\$1.056.351,16	R\$1.098.605,21
Balanço	-R\$1.022.457,44	R\$857.792,34	R\$895.356,03	R\$934.422,27	R\$975.051,16	R\$1.017.305,21

No ano 0, são considerados apenas os custos de adquirir a solução e de instalação. Nos anos seguintes, é considerada a economia gerada pela utilização da solução e o custo de manutenção e assinatura do software utilizado. A análise do investimento consiste no cálculo de 3 (três) indicadores econômicos do investimento e a interpretação do que eles representam:

- Valor presente líquido
- Taxa interna de retorno
- Retorno de investimento

Valor presente líquido

Representa o valor do total dos fluxos de caixa estimados trazidos para o momento atual. É calculado pela seguinte equação:

$$VPL = \sum_{n=0}^N \frac{FC_n}{(1 + TMA)^n} \quad (1)$$

Onde FC_n representa o fluxo de caixa no n -ésimo ano e TMA é a taxa mínima de atratividade, que no caso representado é a taxa de juros. Portanto, o VPL do caso em questão é de **R\$ 2,74 MM**.

Taxa interna de retorno

É uma medida de segurança do investimento, representa a taxa de juros mínima necessária para que não haja prejuízo sobre um investimento. Seu cálculo é feito por meio de um cálculo iterativo para o $VPL = 0$:

$$0 = \sum_{n=0}^N \frac{FC_n}{(1 + TIR)^n} \quad (2)$$

Onde TIR representa a taxa interna de retorno. No caso analisado, o cálculo do TIR retorna um valor de **70%**.

Tempo de retorno

Representa o tempo de retorno sobre um investimento realizado, ou seja, o tempo no qual o ganho acumulado se iguala ao valor do investimento. É calculado pela equação:

$$PB = \frac{I_{inicial}}{FC_{periódico}} \quad (3)$$

Onde $I_{inicial}$ representa o investimento inicial e $FC_{periódico}$ representa o fluxo de caixa periódico criado pelo investimento. Para o caso analisado tem-se um retorno sobre investimento de **1,18 ano**.

A tabela 8 compila os resultados obtidos.

Tabela 8 - Indicadores econômicos do investimento

Valor presente líquido	R\$ 2,74 MM
-------------------------------	-------------

Taxa interna de retorno	70%
Retorno sobre investimento	1,18 ano

Finalmente, a partir dos indicadores calculados é possível ter uma visão geral da viabilidade econômica da solução proposta, no cenário em que está inserida. Ao prosseguir com o investimento, o cliente geraria um valor equivalente a **R\$ 2,74 MM**, isto é **268%** do capital investido inicialmente. Além de ser um investimento de baixíssimo risco, por ter uma taxa de retorno relativamente alta e bem acima da taxa de juros considerada. Somando os fatores analisados ao retorno sobre investimento de 1,18 anos, é possível observar que a solução proposta não é somente viável, mas competitiva em relação a outras soluções de eficiência energética que estão bem estabelecidas, como a troca de lâmpadas fluorescentes por lâmpadas LED.

4.4 Dificuldades encontradas

Ao fim do período de análise, o sistema foi operacionalizado apenas pelos funcionários do cliente, para que pudessem se adaptar e para que as possíveis dificuldades fossem mapeadas.

4.4.1 Dificuldades técnicas

A principal dificuldade técnica encontrada foi o acesso à internet. Para que a solução possa enviar os dados para a nuvem ou possa receber a programação de agendamento, é imprescindível que ela esteja conectada à internet. Devido às configurações de segurança da rede do cliente, o quadro ficou sem conectividade. Para que isso não ocorresse foi necessário adaptar a solução de modo que a rede do cliente não cortasse a conectividade da solução.

4.4.2 Dificuldades operacionais

Para que os funcionários pudessem operar o sistema o Smart Quadro®, foi necessária uma breve formação sobre as funcionalidades do sistema. Uma vez

realizada essa formação, não houve problemas para que os agendamentos fossem realizados e seguidos.

Mesmo com as dificuldades encontradas a solução se mostrou robusta, mantendo os ganhos de eficiência energética, uma vez que seja instalada definitivamente, deverá ser feito um trabalho de adaptação dos funcionários do cliente para que a solução possa ser operacionalizada e que sua importância seja compreendida.

4.5 Considerações finais

Ao fim do período de análise foi tomada a decisão de investir de fato nesse projeto. O método utilizado para a tomada de decisão trouxe resultados cruciais para a tomada de decisão de maneira simples e direta. Mesmo que tenha alguma ordem de aproximação, os resultados tiveram a agilidade para serem concluídos em um curto espaço de tempo, algo crucial para que algumas decisões empresariais possam se tornar realidade.

Vê-se aqui que novos métodos de eficiência energética estão ficando cada vez mais próximos da realidade e além de serem viáveis economicamente, são simples de serem implementados fisicamente.

Cabe ao tempo providenciar a influência do crescimento de novas tecnologias e suas aplicações para os bens econômico e ambiental.

5 CONCLUSÃO

A eficiência energética vem ganhando cada vez mais importância dentro do contexto em que o Brasil se encontra atualmente. Dessa forma, o incentivo para novas soluções que impactam positivamente o uso eficiente da energia se tornam cada vez mais atrativas e estão ganhando espaço no mercado nacional.

Neste trabalho, foi avaliada a solução criada por uma *startup* cearense que tem como objetivo minimizar o desperdício energético e facilitar o acompanhamento do consumo.

As funcionalidades do dispositivo foram apresentadas e foi feita a instalação de um piloto para avaliar o potencial de corte de desperdício energético que a solução proposta poderia gerar em um cliente particular no setor de educação.

O método utilizado consistiu em comparar o consumo energético por hora aula entre períodos em que foi realizada apenas a medição e períodos com medição e corte de desperdício.

De posse dos resultados obtidos foi analisada a viabilidade econômica com base nos custos apresentados pelo fornecedor e o consumo energético de equipamentos de ar condicionados no cliente.

Finalmente, apesar de ter dificuldades técnicas e operacionais a solução se mostrou não apenas viável economicamente, mas sim um investimento bastante competitivo.

REFERÊNCIAS

BARDELIN, C. E. A. **Os efeitos do racionamento de energia elétrica ocorrido no Brasil em 2001 e 2002 com ênfase no consumo de energia elétrica**. 112 f.

Dissertação de Mestrado – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

BRASIL, R. F., NORTE, R. G. PROGRAMA DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NOS PRÉDIOS PÚBLICOS – **PROCEL EPP**: UM PRÉ-DIAGNÓSTICO NO IFRN CÂMPUS ZONA NORTE. IX Congresso de Iniciação Científica do IFRN. Currais Novos, Brasil. 2013.

BRASIL. **Lei no 9.991**, de 24 de julho de 2000.

CEMIG, **Alternativas Energéticas: Smart Grid**. Disponível em:

<<http://www.cemig.com.br/Inovacao/AlternativasEnergeticas/Paginas/SmartGrid.aspx>>
> Acesso em: 04 out. 2017.

CHIA, I. M. C., CORREIA, V.T. **Interface de gestão ativa de consumo de energia elétrica para smart-grids**. 59f. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal do Paraná, São Paulo, 2011.

CPQD. Highlights: **SMART GRID: A Caminho da Rede Inteligente**. 2012.

Disponível em: <<http://homologlx.addtech.com.br/cpqd/midia-eventos/highlights/smart-grid-a-caminho-da-rede-inteligente>> Acessado em: 04 out. 2017.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE) (BRASIL). **Balanco Energético Nacional** – 2014. Disponível em: <<https://ben.epe.gov.br>>. Acesso em: 04 out. 2017.

ELETROBRAS. **Selo Procel**: Apresentação. Disponível em:

<<http://www.eletrobras.com/elb/procel/main.asp?TeamID={95F19022-F8BB-4991-862A-1C116F13AB71}>>>. Acesso em: 04 out. 2017.

EVANS, D. **The Internet of Things** How the Next Evolution of the Internet Is Changing Everything. 2011. Cisco Internet Business Solutions Group (IBSG). Disponível em: <
http://www.cisco.com/web/about/ac79/docs/innov/IoT_IBSG_0411FINAL.pdf >
Acessado em: 04 out. 2017.

FALCÃO, D. M. **Integração de Tecnologias para Viabilização da Smart Grid**. Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos, 2010, Belém. Disponível em: <
<http://labplan.ufsc.br/congressos/III%20SBSE%20-%202010/PDF/SBSE2010-0241.PDF>>. Acessado em: 04 out. 2017.

GODOI, J. M. A. **Eficiência energética industrial**: um modelo de governança de energia para a indústria sob requisitos de sustentabilidade. 2011. Dissertação (Mestrado em Energia) - Energia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/86/86131/tde-10082011-002253/>>. Acesso em: 04 out. 2017.

NOGUEIRA, Luiz Augusto Horta. **Uso racional: a fonte energética oculta**. Estud. av., São Paulo, v. 21, n. 59, 2007. Disponível em:
<http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-40142007000100008&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 04 out. 2017.

PROCEDIMENTOS DO PROGRAMA DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA – **PROPEE**. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/area.cfm?idArea=27>>. Acesso em: 04 out. 2017.

Procel Prédios Públicos. **Eficiência Energética em Prédios Públicos**. Disponível em: < http://www.orcamentofederal.gov.br/projeto-esplanada-sustentavel/arquivos-peg/eficiencia_energetica_em-predios_publicos.pdf >. Acesso em: 04 out. 2017.

Smart meters. **What is a Smart Meter**. Disponível em:
<<http://www.smartmeters.com/what-is-a-smart-meter> >. Acesso em: 04 out. 2017.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA. **QUALIDADE E TECNOLOGIA – INMETRO**. Disponível em: < <http://pdf.webarcondicionado.com.br/tabela-procel/2014/tp-ar-condicionado-split-hi-wall-2014.pdf>>. Acesso em: 04 out. 2017.