

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE ENGENHARIA ELÉTRICA E INFORMÁTICA
COORDENAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO

PROPOSTA DE QUALIFICAÇÃO DE MESTRADO

**ANÁLISE DO CONSUMO DE ENERGIA E DO CONFORTO
TÉRMICO NO CONTROLE DE APARELHOS DE
AR-CONDICIONADO EM AMBIENTES UNIVERSITÁRIOS**

MESTRANDO(A)

VINÍCIUS DE MEDEIROS SOARES

ORIENTADOR(A)

ANDREY ELÍSIO MONTEIRO BRITO

ORIENTADOR(A)

LÍVIA SAMPAIO CAMPOS

CAMPINA GRANDE

05 - 2022

Conteúdo

1	Introdução	2
2	Objetivo da Proposta	4
3	Trabalhos Relacionados	4
4	Metodologia de Trabalho	6
4.1	QP1	8
4.2	QP2	9
4.3	Validação das Questões de Pesquisa	10
4.4	Avaliação do Conforto Térmico	10
4.5	Implementação	10
4.6	Experimentos adicionais	12
4.7	Riscos	12
5	Atividades e Cronograma	14
5.1	Atividades	14
5.2	Cronograma	14
6	Resultados Preliminares	15
6.1	Primeiro Experimento	15
6.2	Segundo Experimento	16

Resumo

Aparelhos de ar-condicionado representam uma grande parcela do consumo de energia em edifícios públicos. Em 2017, o setor de edificações públicas foi responsável por 8% do consumo final de energia elétrica no Brasil (aproximadamente 42 TWh). No contexto dos smart campus, sistemas de controle de ar-condicionado podem ajudar a reduzir o consumo desses aparelhos. Esses sistemas atuam controlando principalmente a ligação e a temperatura do ar-condicionado. Este documento propõe experimentos para medir os fatores que influenciam no consumo dos aparelhos de ar-condicionado, e entender o quanto é possível ganhar com economia de energia, sem perder o conforto dos usuários. O trabalho é um ponto de partida para o desenvolvimento e a aplicação de um sistema de gerência inteligente de energia no Smart Campus UFCG.

Palavras chave: Smart Campus, Eficiência Energética, Ar-condicionado, Internet das Coisas.

1 Introdução

O consumo final de energia elétrica no Brasil em 2017 foi de 526 TWh [not18], com perspectiva de atingir 762 TWh em 2030 [est20], um crescimento de quase 44,87% no período. O setor de edificações representa cerca de 50% desse total, e inclui residências, comércios e edifícios públicos. O uso de aparelhos de ar-condicionado representa uma parcela importante desse consumo, 15 TWh de consumo total apenas no setor residencial em 2019, além disso, nesse setor, os aparelhos de ar-condicionado são responsáveis pelo maior consumo médio por equipamento, superando chuveiros elétricos, congeladores e geladeiras [pla20].

Diante de um crescimento tão alto do consumo de energia, é interessante investir em meios para melhorar a eficiência energética dos aparelhos de ar-condicionado, que, neste contexto, se baseia em buscar formas de manter um bom conforto térmico para as pessoas em um ambiente climatizado utilizando menos energia. Sistemas de controle de aparelhos de ar-condicionado foram criados para tratar dessa questão. Esses sistemas estão incluídos na área de cidades inteligentes e de internet das coisas, e buscam automatizar o trabalho de controlar os aparelhos de ar-condicionado, utilizando sensores, que monitoram os ambientes climatizados, e atuadores, que intervêm nesses aparelhos. Quanto ao escopo da atuação desses sistemas, existem fatores relacionados ao uso do ar-condicionado que influenciam no consumo de energia, tais como o tempo que os aparelhos permanecem em funcionamento e a temperatura para a qual estão configurados.

Os sistemas de controle de aparelhos de ar-condicionado são construídos para gerenciar os equipamentos em seu uso rotineiro. Podem ser feitos tanto com regras condicionais simples [RDS⁺20] quanto com técnicas e conceitos mais complexos, como aprendizagem de máquina [SFTF17] ou uso de redes de Petri [OA16]. Eles podem também utilizar apenas sensores de temperatura, ou uma combinação de outros sensores, incluindo câmeras e sensores de movimento. Mas, independentemente da complexidade desses modelos, o que eles têm em comum é que todos atuam sobre os aparelhos de ar-condicionado controlando a ligação ou a temperatura.

Estudos que observam o impacto desses mecanismos no consumo de energia elétrica, indicam reduções promissoras na quantidade de energia consumida pelos aparelhos de ar-condicionado. Em [ASS⁺07] foi observada uma redução de 23% no consumo de energia

elétrica ao aumentar em 2°C a temperatura de operação do aparelho de ar-condicionado. Quanto ao mecanismo de redução do tempo de operação, em [KNM⁺16], ao reduzir em 20% o tempo de uso dos aparelhos, foi observado uma redução de até 40% no consumo de energia. Para uma das salas que serão monitoradas nesse experimento, o consumo mensal médio de energia do aparelho de ar-condicionado é de 315,8 kWh. A atuação nos aparelhos, nesse caso, poderia reduzir até 126,32 kWh do consumo mensal total, para uma sala.

No entanto, além da redução do consumo de energia, ao trabalhar com a atuação sobre os aparelhos de ar-condicionado, é importante considerar o fator de conforto dos usuários daquele ambiente. Segundo a Norma Regulamentadora 17 [nr121], recomenda-se, entre outros fatores, índice de temperatura efetiva entre 18 e 25 °C em locais de trabalho onde são executadas atividades intelectuais. A norma também discute os benefícios de atingir o conforto térmico, que aumenta a capacidade produtiva e a motivação das pessoas. Além disso, o empregador que descumprir as normas reguladoras, está sujeito a penalidades, como multas e embargos.

Essa proposta de mestrado é no contexto de gerência inteligente de energia com foco nos aparelhos de ar-condicionado e com aplicações em smart campus, buscando reduzir o consumos dos aparelhos, mas sem comprometer o conforto dos ocupantes do ambiente. Os Smart campi compartilham dos diversos desafios vividos pelas cidades, os altos gastos de energia. Para suprir a necessidade de soluções inteligentes nesse escopo, assim como este trabalho, há uma grande quantidade de pesquisas em andamento no mundo envolvendo smart campus [AS16], cujos principais fatores investigados são: utilização dos recursos com eficiência e redução dos custos, e a entrega de serviços de alta qualidade.

O restante deste documento está organizado da seguinte maneira: Na seção 2 é apresentado o objetivo geral da proposta. Na seção 3 são discutidos outros trabalhos que influenciaram na construção deste documento. As questões de pesquisa e a metodologia de trabalho estão descritas na seção 4. A seção 5 apresenta uma previsão de quando cada atividade será realizada. Por fim, a seção 6 apresenta alguns resultados obtidos a partir de uma breve aplicação dos experimentos descritos.

2 Objetivo da Proposta

Este trabalho tem como objetivo entender os fatores que influenciam no consumo dos aparelhos de ar-condicionado, a relevância e a relação com o conforto térmico, e propor uma implementação dos mesmos. Será considerado principalmente os fatores relacionados a ações de controle direto sobre os aparelhos: aumento e diminuição da temperatura e tempo ligado. A pesquisa será experimental e irá considerar ainda fatores externos que podem influenciar o consumo, como a temperatura externa dos ambientes. Considerando o contexto de um smart campus, uma ação para reduzir os custos de energia não devem afetar o bem-estar dos ocupantes, assim, o impacto desses fatores para o conforto também será acompanhado, considerando índices de desconforto e de temperatura efetiva, incluindo também a coleta de dados qualitativos, em relação a percepção do conforto pelos usuários dos ambientes. Sistemas de controle de ar-condicionados existentes também serão explorados a fim de identificar técnicas que podem ser reproduzidas.

Por fim, para a realização das análises enunciadas, este trabalho levará em consideração o Smart Campus UFCG, em relação aos recursos disponíveis (infraestrutura disponível atualmente na UFCG, e a viabilidade de aquisição de outros recursos interessantes no futuro) e às limitações específicas deste ambiente, considerando os obstáculos técnicos, financeiros e políticos [AS16].

Essa análise servirá como modelo para implementação de um sistema de controle de ar-condicionado que atende melhor as características específicas de um determinado ambiente, neste caso, o Smart Campus UFCG.

3 Trabalhos Relacionados

Os trabalhos relacionados foram selecionados na literatura a fim de explorar estratégias que auxiliem o desenvolvimento dos experimentos e a criação do modelo do sistema. Esta seção deve descrever brevemente alguns desses trabalhos e indicar as semelhanças e diferenças para com esta proposta.

Em [AS16], foi possível extrair que o entendimento dos desafios enfrentados no desenvolvimento de um sistema para um smart campus, considerando limitações técnicas, finan-

ceiras e políticas, ou seja, é necessário avaliar a viabilidade do projeto considerando esses pontos. Em [TDS10], o trabalho busca expor as capacidades e limitações de vários sensores de presença, como sensores de movimento, câmeras, sensores térmicos e sensores a laser. Nesse estudo, os autores sugerem que um sistema que pretende monitorar a presença de pessoas num ambiente adotem o uso combinado de diferentes sensores, sendo uma quantidade maior de sensores de movimento (mais baratos), câmeras posicionadas em locais estratégicos e o eventual uso de outros sensores, a depender das características do ambiente. Os dois artigos ajudam a delimitar o escopo da pesquisa, relacionando as ideias abordadas ao contexto do Smart Campus UFCG.

Em [KNM⁺16], os autores destacam a relevância de diminuir o tempo de uso dos aparelhos de ar-condicionado para a redução do consumo. Foi constatado também que a relação entre o tempo de uso e o consumo é mais expressiva do que a relação entre a eficiência física dos aparelhos e o consumo, ou seja, soluções de sistemas de controle que focam em reduzir o tempo de uso dos aparelhos podem ser mais efetivas que apenas regular a temperatura. Com uma redução média de tempo de operação de 20%, foi possível observar redução no consumo de energia de 40%. Essa relação, em um estudo observacional, estimulou a inclusão de um experimento que teste a mesma hipótese nesta proposta.

Ao longo das estações de inverno e verão em um centro de tecnologia no Canadá [ASS⁺07], foram realizados uma série de experimentos para medir a redução do consumo de energia dos aparelhos de ar-condicionado a partir da configuração do termostato. Foi previsto uma economia de 23% no consumo de energia ao aumentar a temperatura do termostato em 2° C, em relação ao valor padrão (22° C). Um experimento semelhante será realizado nesta pesquisa, mas também será considerado os impactos de diminuir a temperatura do termostato.

O trabalho [RDS⁺20] apresenta o Smart Place, um sistema baseado na Internet das Coisas, para automatizar o controle de aparelhos de ar-condicionado. O sistema é composto por: um dispositivo físico, responsável por coletar os dados relacionados ao ambiente (presença de pessoas, temperatura e umidade), a partir de sensores e câmeras, e por enviar comandos aos aparelhos de ar condicionado; uma plataforma intermediária já pronta, FIWARE, que provê serviços como o gerenciamento do contexto, gerenciamento de dispositivos, e persistência de dados; e uma plataforma web que provê serviços para acessar os dados e

configurar entidades e dispositivos. Ao comparar o uso do Smart Place com o controle manual dos aparelhos de ar-condicionado durante uma semana em salas de aula da UFRN, foi possível observar uma redução de 46,8% no tempo que os aparelhos ficaram ligados e de 61.8% no consumo de energia. Para essa comparação, o valor fixo do consumo dos aparelhos de ar-condicionado (sem a aplicação do Smart Place) foi calculado a partir da potência e do tempo de funcionamento. Este trabalho irá realizar um experimento semelhante de comparação dos consumos. Mas, se propõe utilizar a média real do consumo com uso padrão do ar-condicionado, utilizando inclusive dados históricos, a fim de aumentar a validade dos resultados.

4 Metodologia de Trabalho

A pesquisa é do tipo experimental e quantitativa, buscando avaliar o quanto alguns fatores influenciam o consumo dos aparelhos de ar-condicionado a partir da interferência no uso dos aparelhos. Essa interferência deve causar o menor impacto possível ao conforto dos usuários. Dentro desse contexto, o experimento deve gerar conhecimento quanto à capacidade de otimizar o consumo de energia no uso rotineiro dos aparelhos de ar-condicionado.

Seguindo o objetivo deste trabalho, e continuando o estudo da seção 3, deve ser realizada uma revisão narrativa da literatura baseada em temas, que será útil para ampliar os conhecimentos sobre o assunto, destacando as oportunidades da pesquisa. Os temas explorados serão: sistemas de gerenciamento de energia; eficiência energética; smart campus; internet das coisas, uso de aparelhos de ar-condicionado e conforto térmico. Os artigos selecionados servirão de base para aprimorar os encaminhamentos da pesquisa, refinar os experimentos e auxiliar na implementação do sistema. As buscas serão feitas nas seguintes bases de dados: ACM Digital Library; Google Scholar e IEEE Xplore Digital Library. Considerando títulos, resumos e palavras-chave.

Além da realização dos experimentos, estudar os sistemas de controle de ar-condicionado já existentes ajudarão na criação de uma aplicação própria. Para poder avaliar melhor os sistemas foi necessário estudar alguns assuntos relacionados aos smart campus, conceitos de eficiência energética e consumo de energia de aparelhos de ar-condicionado, e também entender melhor como funcionam os mecanismos utilizados para monitorar a presença de

pessoas nos ambientes.

Os sistemas são avaliados e descritos com base nos recursos que utilizam. Considerando: a parte física (sensores, atuadores e placas eletrônicas); a parte de controle, referente à lógica empregada para realizar atuação sobre os aparelhos; e a parte intermediária, que normalmente é responsável pela comunicação entre dispositivos e aplicação.

Os experimentos serão realizados em salas do Laboratório de Sistemas Distribuídos da Universidade Federal de Campina Grande. É um ambiente focado no desenvolvimento de projetos e em pós-graduação. As salas de professores normalmente são utilizadas por 1 ou 2 pessoas, enquanto as salas com alunos que estão trabalhando em projetos e/ou pesquisa podem ter 4 ou mais pessoas presentes, e possuem mais máquinas em funcionamento o tempo todo. O horário de trabalho no laboratório em dias de semana é das 8h-12h pela manhã e das 14h-18h pela tarde, mas com a saída das pessoas (alunos) também em horários de aula, por exemplo.

Condições de operação diferentes dos aparelhos de ar-condicionado podem determinar os fatores mais relevantes para o consumo de energia elétrica desses. Os experimentos envolvem atuação direta nos aparelhos de ar-condicionado: alteração de temperatura de operação e tempo de funcionamento. E, não podem ser sobrepostos, tal que, nos turnos em que houve atuação na temperatura de operação, não haverá ação sobre o tempo de uso.

Os experimentos serão automatizados utilizando o Dashboard Smartcampus [das] para controle automático, baseado em regras, dos aparelhos de ar condicionado. Para análise e visualização dos dados, serão utilizados scripts R que farão consultas ao banco de dados do smart campus e deverão gerar as visualizações automaticamente.

Será feito um acompanhamento com os participantes através de questionários sobre o conforto térmico, utilizando GoogleTM Forms. Os questionários serão aplicados uma vez por dia, para avaliar o conforto térmico através do julgamento subjetivo. Além disso, servirá para registrar possíveis eventos adversos, como a operação do aparelho em temperaturas diferentes das especificadas.

Pesquisas do tipo experimental eventualmente enfrentam o desafio de conseguir um ambiente válido. Fatores como a área do ambiente, quantidade de pessoas e temperatura externa ao ambiente, influenciam o consumo dos aparelhos de ar-condicionado. O experimento deverá comparar os cenários sugeridos mantendo os fatores externos o mais próximos possível.

O consumo de um aparelho não será comparado ao de outros aparelhos em outras salas. As salas selecionadas deverão ser as que apresentam características de uso mais constantes, com tempo de uso e quantidade de ocupantes próximos ao longo dos dias.

A partir disso foram elaboradas duas questões de pesquisa:

- **QP1:** Qual a relevância da variação de temperatura no consumo de energia dos aparelhos de ar-condicionado em relação ao conforto térmico?
- **QP2:** Qual a relevância da variação no tempo de funcionamento no consumo de energia dos aparelhos de ar-condicionado em relação ao conforto térmico?

4.1 QP1

Essa questão de pesquisa busca testar a hipótese de que o consumo de energia elétrica dos aparelhos de ar-condicionado é inversamente proporcional à temperatura de operação.

Para cada experimento foram determinados cenários representando como o aparelho deve ser controlado. Cada cenário deve ser aplicado em todas as salas monitoradas ao longo de 1 mês, separando os turnos da manhã (8h-12h) e da tarde (14h-18h), quando tipicamente há pessoas nos ambientes. O monitoramento dos dados deve ocorrer de forma automática, registrando o consumo de energia dos aparelhos e a temperatura interna na sala a cada hora.

No caso do experimento com a temperatura de operação, os cenários são:

- **1** - Temperatura do AC mantida em um valor constante de 23°C (caso base);
- **2** - Temperatura do AC mantida em um valor constante de 21°C;
- **3** - Temperatura do AC mantida em um valor constante de 25°C.

O primeiro cenário representa o caso base, pois é como os aparelhos de ar-condicionado são utilizados nas salas do LSD, e reflete os dados históricos disponíveis. Sendo assim, este experimento busca medir o impacto da variação de 2°C acima e abaixo do valor padrão de 23°C no consumo de energia dos aparelhos de ar-condicionado.

Além disso, a fim de amenizar a influência de outros fatores no resultado, para a comparação dos cenários com o caso base, serão selecionados dias nos dados históricos quando foram registradas as mesmas temperaturas externas que nos dias que o experimento irá medir

cenários 2 e 3. Além disso os cenários não serão aplicados a todas as salas nos mesmos dias, para também diminuir a influência de fatores externos no resultado.

4.2 QP2

Essa questão de pesquisa busca testar a hipótese de que o consumo de energia elétrica dos aparelhos de ar-condicionado é diretamente proporcional ao tempo de funcionamento dos mesmos.

Para este experimento, os aparelhos de ar condicionado seriam operados sempre com a temperatura de 23°C, com o intuito de avaliar a variação no consumo a partir da redução do tempo no qual os aparelhos permaneçam ligados. Considerando operações em turnos de 4 horas, seriam situações interessantes para avaliação: ligamento atrasado (em relação ao início do turno), desligamento adiantado (em relação ao final do turno) e interrupção temporária (no meio do turno).

No entanto, considerando os dados registrados em dias de funcionamento ininterrupto dos aparelhos nos períodos dos turnos, é possível simular o experimento ao comparar o consumo de energia medido contabilizando todas as horas ou apenas as horas iniciais do turno. Ou seja, comparar o consumo total medido em um dia no qual o aparelho estava ligado das 8-18 horas com o consumo nesse mesmo dia, mas subtraindo o consumo registrado nas horas finais do turno, como se o aparelho fosse desligado nesse momento.

Assim, a quantidade de dados disponíveis para esse experimento fica muito maior, podendo aproveitar todo o tempo no qual os aparelhos estavam sendo monitorados, já que a temperatura de operação deles era sempre 23°C.

A simulação poderia filtrar vários dias da análise, quando há algum intervalo ou atraso no ligamento do ar-condicionado ou um desligamento antecipado por a sala estar vazia. Independentemente de essa abordagem indicar redução no consumo de energia ao reduzir o tempo de funcionamento, ela não é realista o suficiente. Dias em que houve intervalo ou atraso no ligamento dos aparelhos podem ter um peso maior na redução de consumo, e dias que os usuários saíram do ambiente antecipadamente podiam provocar uma menor redução na economia de energia, já que apenas o consumo na hora final do turno é considerada na comparação. O experimento que responderá esta questão de pesquisa irá incluir todos os dias com dados disponíveis na análise.

O experimento a ser realizado irá medir o consumo integral de energia para cada dia (das 8h-18h), e comparar com o consumo de energia ao limitar o uso dos aparelhos até as 17h. Ou seja, será avaliado o impacto na economia de energia ao usar os aparelhos por 1 hora a menos.

4.3 Validação das Questões de Pesquisa

Para validar os experimentos obtidos nas seções 4.1 e 4.2 será realizada uma análise descritiva dos dados. O objetivo dessa análise será identificar as diferenças das médias de consumo de energia de cada cenário. Essa diferença deverá ser medida, e as hipóteses testadas, a partir de uma sequência de testes-t de Student, a média de consumo do caso base será o valor fixo usado para comparação com a média da amostra de cada cenário.

4.4 Avaliação do Conforto Térmico

Para cada cenário em cada um dos experimentos, a temperatura interna e a umidade serão medidas automaticamente respeitando os mesmos intervalos das medições de consumo. Serão calculados os índices de desconforto e de temperatura efetiva no ambiente a partir dos dados coletados. Deverão ser comparados aos valores aceitáveis sugeridos (18 a 25°C de temperatura efetiva para trabalho intelectual [nr121]).

O cálculo do índice de desconforto depende da temperatura medida e da umidade relativa. Para determinar o índice de temperatura efetiva, além da temperatura e da umidade, também se utiliza a velocidade do vento.

Questionários trarão dados subjetivos que poderão auxiliar a interpretar os dados quantitativos e a determinar ou adaptar os limites dos índices (inicialmente sugeridos pela Norma Regulamentadora N° 17 [nr121]).

Esses questionários serão adaptados a partir de outros estudos, e deverão incluir, entre outras, as seguintes questões objetivas listadas na tabela 1:

4.5 Implementação

Seguindo a orientação da análise de dados realizada e das informações obtidas pela revisão da literatura, será implementado um sistema de gerência de energia para controlar a atuação

Questão	Respostas possíveis
Qual é a sua sensação térmica neste momento?	Com muito calor; Com calor; Levemente com calor; Neutro; Levemente com frio; Com frio; Com muito frio.
Você preferiria estar:	Mais aquecido; Assim mesmo; Mais resfriado.
Para você este ambiente térmico é:	Aceitável; Inaceitável.
Como você se sente com relação ao movimento do ar neste momento?	Aceitável: Pouco movimento do ar; Movimento do ar suficiente; Muito movimento do ar. Inaceitável: Pouco movimento do ar; Muito movimento do ar.
Considerando sua resposta anterior, qual a sua preferência com relação ao movimento do ar neste momento?	Maior movimento do ar; Não mudar; Menor movimento do ar.

Tabela 1: Modelo de questionário sobre conforto térmico.

dos aparelhos de ar-condicionado.

A partir das observações iniciais, o sistema deve possuir uma camada física, uma camada intermediária e uma camada de controle, como pode ser visto na figura 1. A camada física será constituída de sensores de temperatura e umidade, em conjunto com atuadores que ligam e desligam os aparelhos, e podem configurar a temperatura dos mesmos. Para a camada intermediária será aproveitado o Dashboard Smartcampus citedashboard, que atualmente já é responsável pelo controle dos atuadores e armazenamento dos dados coletados pelos sensores. A camada de controle deve ser implementada integrando-se ao dashboard, e aplicará as estratégias obtidas a partir dos experimentos realizados, com foco em atuar na ligação e controle de temperatura dos aparelhos de ar-condicionado, a fim de obter o máximo de redução do consumo de energia, sem impactar negativamente o conforto.

Considerando a evolução dos experimentos e das revisões da literatura, novas técnicas e dispositivos poderão ser integrados ao modelo do sistema, a fim de melhorar a eficiência, desde que possam ser aplicados no contexto do smart campus.

Com a implementação do sistema, os dados de consumo dos aparelhos devem continuar

sendo coletados. A implementação deve ser validada realizando a mesma análise descrita na seção 4.3.

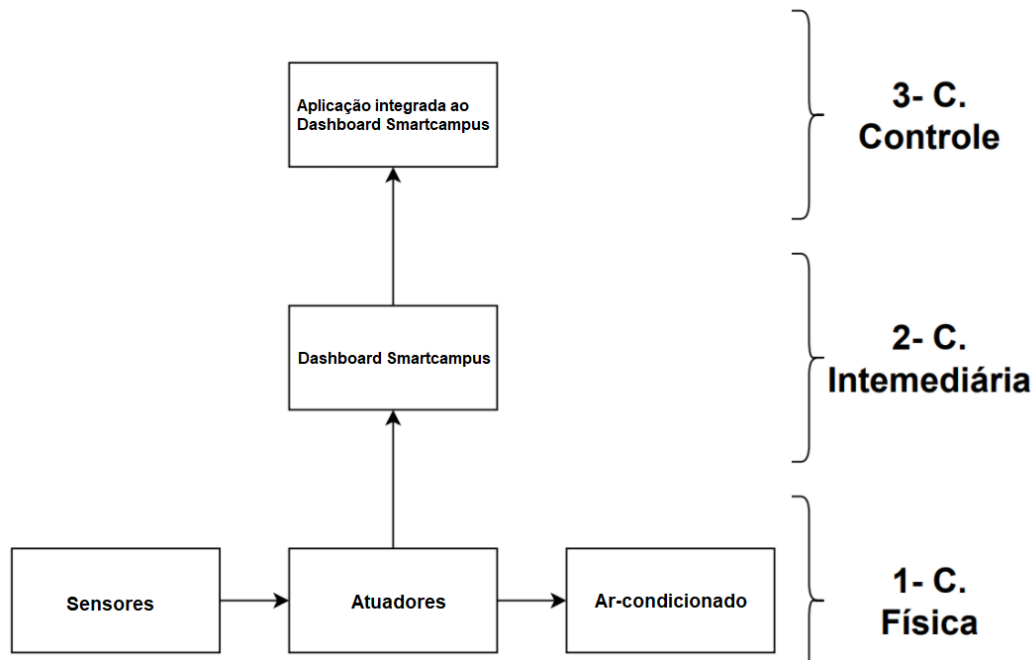


Figura 1: Esquema preliminar para o modelo do sistema

4.6 Experimentos adicionais

Em paralelo aos experimentos com interação direta com o ar-condicionado, alguns dados do ambiente externo podem ser utilizados para tentar identificar outros fatores que influenciam no consumo de energia dos aparelhos. [KNM⁺16] realiza um experimento com a temperatura externa aos ambientes, e será reproduzido neste estudo. Outro fator que pode ser significativo é a iluminação solar, para essa avaliação serão utilizados dados de condições do céu (limpo ou nublado).

4.7 Riscos

Os principais riscos envolvidos em todos os experimentos se dão à possibilidade da quantidade de dados ser insuficiente para representar com fidelidade o mundo real. Para lidar com isso pode ser necessário aumentar a quantidade de dias de medições e simplificar os casos

apresentados. Como explicado anteriormente, o experimento com o tempo de funcionamento pode ser simulado, aproveitando os dados históricos. Essa adaptação permite dedicar mais tempo para o experimento com a variação de temperatura.

Outro risco envolvido é o fato de o controle dos aparelhos ser realizado pelos usuários de cada ambiente, principalmente considerando os casos do experimento com períodos de variação na temperatura ou no ligamento dos aparelhos. Para lidar com isso, será necessário acompanhar esses usuários com mensagens nos momentos de interação com os aparelhos e registrar o momento no qual a interação é feita. Idealmente o controle dos aparelhos passaria a ser automático para os experimentos.

Para os experimentos adicionais, o risco está em garantir a confiabilidade e relevância dos dados externos. As medições de temperatura externa e de iluminação solar são providas pelo Instituto Nacional de Meteorologia [INM], mas como essas informações não são medidas exatamente no mesmo local, pode haver variações em relação aos dados no local do experimento. A alternativa seria instalar medidores na área externa do prédio no qual são realizadas as medições dos aparelhos de ar condicionado.

5 Atividades e Cronograma

5.1 Atividades

Na Tabela 2 são apresentadas as atividades planejadas para a pesquisa e suas descrições.

Tabela 2: Atividades planejadas

Atividade	Descrição
1	Realizar uma revisão da literatura, considerando as áreas de smart campus, internet das coisas, gerenciamento de energia e eficiências energéticas, além de artigos que apresentam sistemas de controle de ar-condicionado.
2	Realizar experimentos descritos na Seção 4
3	Análise dos dados coletados nos experimentos e documentação dos resultados.
4	Implementar ações de atuação nos aparelhos com base no resultados obtidos.
5	Elaborar a redação da dissertação de mestrado.
6	Defender a dissertação de mestrado.

5.2 Cronograma

O cronograma apresenta a dimensão "quando". As atividades mencionadas na Metodologia devem ser realizadas no período indicado, incluindo data de início, data final, dependências entre atividades.

Tabela 3: Cronograma do projeto de pesquisa.

		Atividade					
Ano	Mês	1	2	3	4	5	6
2022	Mai	X	X	X			
2022	Jun	X	X	X		X	
2022	Jul	X	X	X		X	
2022	Ago		X	X	X	X	
2022	Set				X	X	
2022	Out				X	X	
2022	Nov				X	X	
2022	Dez						X
2023	Jan						X

6 Resultados Preliminares

Os seguintes experimentos foram realizados ao longo do desenvolvimento desta proposta, com o objetivo de auxiliar o desenvolvimento da metodologia. É importante ressaltar que não abrangem completamente todas as atividades previstas para serem realizadas ao longo da pesquisa, entre elas a avaliação do conforto térmico.

6.1 Primeiro Experimento

Para o primeiro experimento, os cenários foram executados durante uma semana cada, disponibilizando alguns resultados parciais.

Para o cenário com a temperatura do ar configurada em 21° C o consumo médio por hora foi de 1,807 kW, 2,7% a menos do que 1,857, a média do consumo com a temperatura do ar configurada em 23° C em que a temperatura externa do ar apresentou valores semelhantes de 26,5° C (dentro da faixa de 26-27° C). Já para o cenário com a temperatura do ar configurada em 25° C o consumo médio por hora foi de 1,894 kW, 0,9% a menos do que 1,912, a média do consumo com a temperatura do ar configurada em 23° C em que a temperatura externa do ar apresentou valores semelhantes de 27° C (dentro da faixa de 26,5-27,5°C).

Seguindo o que foi descrito na seção de Metodologia deste documento, o primeiro experimento, que mede o consumo de energia baseado na temperatura do ar-condicionado, deve considerar a temperatura externa ao realizar as comparações. Em um primeiro momento foi proposto comparar cada cenário com a média de consumo de toda a extensão dos dados históricos, ou seja, ignorando a temperatura externa. Assim, o valor do consumo de energia médio por hora dos aparelhos (configurados em 23° C) foi de 1,58 kW, cerca de 20% a menos do que a média das medições realizadas quando o aparelho estava configurado em 25° C. Essa diferença em um sentido contrário ao que era esperado mostrou a necessidade de refinar a metodologia, e então o resultado atual foi observado, com um consumo ligeiramente inferior para o cenário de 25° C.

Ainda assim, esses resultados não fortalecem a hipótese. No entanto, o tempo do experimento coincidiu com um período de reformas sendo realizadas no prédio, e foi relatado pelos ocupantes a necessidade de manter a porta da sala aberta em alguns momentos, além de um fluxo maior que o normal de entrada e saída de pessoas no ambiente. Além disso, fatores como a temperatura externa, máquinas em funcionamento dentro da sala e pessoas presentes na sala podem influenciar o consumo dos aparelhos de ar condicionado.

Uma duração maior dos experimentos (1 mês para cada cenário, como foi sugerido), deve amenizar o impacto desses acontecimentos nos resultados do experimento.

6.2 Segundo Experimento

Para o segundo experimento, o cenário de desligamento antecipado foi simulado utilizando os dados históricos

O experimento busca simular a redução no consumo de energia ao desligar o aparelho de ar condicionado antes da saída dos usuários. Os dados de consumo foram extraídos de uma sala ao longo de 6 meses com um total de 67 dias selecionados para o teste (por se tratar de um período durante a pandemia, a frequência de uso da sala era menor que o normal). O ar condicionado foi mantido sempre na temperatura de 23°C, mas é importante lembrar que fatores como a movimentação de pessoas no ambiente e a temperatura externa podem influenciar no consumo medido.

Sendo assim, foi possível observar que com o desligamento 1h antes das 18h (fim do turno da tarde), haveria uma economia média de 7,7% no consumo de energia dos aparelhos

de ar-condicionado por dia.

A figura 2 representa o quanto poderia ser economizado em relação ao consumo total medido por dia.

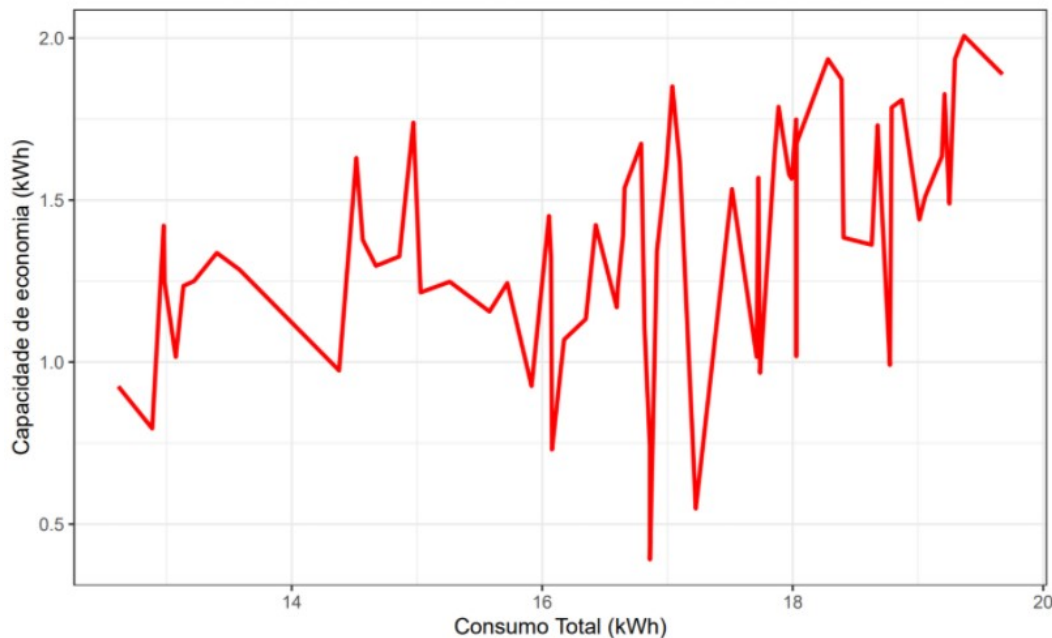


Figura 2: Capacidade potencial de economia

Referências

- [AS16] Abdullah Alghamdi and Sachin Shetty. Survey toward a smart campus using the internet of things. In *2016 IEEE 4th International Conference on Future Internet of Things and Cloud (FiCloud)*, pages 235–239, 2016.
- [ASS⁺07] Marianne Armstrong, Michael C. Swinton, Frank Szadkowski, John Gusdorf, and Ken Ruest. The effects of thermostat set-back and set-up on seasonal energy consumption, surface temperatures and recovery times at the ccht twin house facility. *ASHRAE Transactions*, 113, 01 2007.
- [das] Dashboard smartcampus ufcg. <https://dashboard.smartcampus.ufcg.edu.br/>.
- [DE] Department of energy. <https://www.energy.gov/>.

- [ene] Methodology for estimated energy savings from cost-effective air sealing and insulating. https://www.energystar.gov/campaign/seal_insulate/methodology.
- [EPE] Empresa de pesquisa energética. <https://www.epe.gov.br/pt>.
- [est20] Estudos do plano decenal de expansão de energia 2030. demanda e eficiência energética. superintendência de estudos econômicos e energéticos. Technical report, Empresa de Pesquisa Energética, 2020.
- [HLL⁺18] Yingdong He, Nianping Li, Na Li, Jia Li, Jinbo Yan, and Chang Tan. Control behaviors and thermal comfort in a shared room with desk fans and adjustable thermostat. *Building and Environment*, 136, 03 2018.
- [IBE12] Fact sheet: Ibe energy savings from maintenance. <https://buildingefficiencyinitiative.org/resources/fact-sheet-ibe-energy-savings-maintenance>, 2012.
- [INE] Instituto nacional de eficiência energética. <http://www.inee.org.br/>.
- [INM] Instituto nacional de meteorologia. tabela de dados das estações. <https://tempo.inmet.gov.br/>.
- [KNM⁺16] Sayaka Kindaichi, Daisaku Nishina, Saburo Murakawa, Masaki Ishida, and Motoki Ando. Analysis of energy consumption of room air conditioners: An approach using individual operation data from field measurements. *Applied Thermal Engineering*, 112, 10 2016.
- [MM17a] Timothy Malche and Priti Maheshwary. Internet of things (iot) for building smart home system. 02 2017.
- [MM17b] Bruno Eduardo Medina and Leandro Tiago Manera. Retrofit of air conditioning systems through an wireless sensor and actuator network: An iot-based application for smart buildings. In *2017 IEEE 14th International Conference on Networking, Sensing and Control (ICNSC)*, pages 49–53, 2017.

- [MMMB18] Pheny Phemelo Moletsane, Tebogo Judith Motlhamme, Reza Malekian, and Dijana Capeska Bogatmoska. Linear regression analysis of energy consumption data for smart homes. In *2018 41st International Convention on Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics (MI-PRO)*, pages 0395–0399, 2018.
- [not18] Nota técnica epe 030/2018. uso de ar condicionado no setor residencial brasileiro: Perspectivas e contribuições para o avanço em eficiência energética. Technical report, Empresa de Pesquisa Energética, 2018.
- [nr121] Norma regulamentadora 17 - ergonomia. Technical report, Ministério do Trabalho e Previdência, 2021.
- [OA16] Hanife Ozkan and Aydin Aybar. A smart air conditioner in smart home. pages 1–6, 06 2016.
- [pla20] Plano decenal de expansão de energia 2030. demanda e eficiência energética. superintendência de estudos econômicos e energéticos. Technical report, Empresa de Pesquisa Energética, 2020.
- [RDS⁺20] Felipe Rocha, Lucas Dantas, Luís Santos, Samela Ferreira, Bruna Soares, Alan Fernandes, and Thaís Batista. *Energy Efficiency in Smart Buildings: An IoT-Based Air Conditioning Control System*, pages 21–35. 03 2020.
- [SFTF17] Wei Song, Ning Feng, Yifei Tian, and Simon Fong. An iot-based smart controlling system of air conditioner for high energy efficiency. In *2017 IEEE International Conference on Internet of Things (iThings) and IEEE Green Computing and Communications (GreenCom) and IEEE Cyber, Physical and Social Computing (CPSCoM) and IEEE Smart Data (SmartData)*, pages 442–449, 2017.
- [TDS10] Thiago Teixeira, Gershon Dublon, and Andreas Savvides. A survey of human-sensing: Methods for detecting presence, count, location, track, and identity. *ACM Computing Surveys*, 5:59, 01 2010.