

DOMÓTICA COMO FERRAMENTA DE MELHORIA DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM APARELHOS DE AR-CONDICIONADO RESIDENCIAIS: Uma revisão bibliográfica

Damesson Araújo Vieira ¹
Luis Gustavo Schröder e Braga ²

RESUMO

A pesquisa aborda o uso da domótica como ferramenta para melhorar a eficiência energética de aparelhos de ar-condicionado residenciais, destacando a relevância da automação no controle desses sistemas, especialmente diante do aumento do consumo energético em residências. O objetivo geral do estudo foi investigar como a automação pode otimizar o uso de ar-condicionado, ajustando o funcionamento dos aparelhos conforme variáveis ambientais, como temperatura externa, presença de pessoas e horários de uso. A domótica se apresenta como uma solução promissora para reduzir o desperdício energético, trazendo benefícios econômicos e ambientais, ao mesmo tempo em que melhora o conforto dos usuários. A metodologia empregada foi uma revisão bibliográfica qualitativa, focada em estudos publicados entre 2020 e 2024. As bases de dados consultadas incluíram Lilacs, Periódicos Capes, Google Acadêmico e Scielo, com o objetivo de reunir artigos que abordaram a automação residencial e sua relação com a eficiência energética de sistemas de ar-condicionado. A pesquisa utilizou critérios de inclusão e exclusão para selecionar os estudos mais relevantes, excluindo aqueles que tratavam de automação em ambientes comerciais ou industriais. Os resultados demonstram que a aplicação da domótica pode reduzir significativamente o consumo de energia elétrica em residências, ajustando o funcionamento dos aparelhos de climatização de forma automática e eficiente. A pesquisa destacou também que a integração com fontes renováveis de energia, como a solar, pode potencializar ainda mais esses benefícios, tornando a automação uma solução acessível e sustentável para o controle de ar-condicionado.

Palavras-chave: Domótica. Eficiência Energética. Automação Residencial.

ABSTRACT

The research addresses the use of home automation as a tool to improve the energy efficiency of residential air conditioning systems, highlighting the relevance of automation in controlling these systems, especially given the increase in energy consumption in homes. The general objective of the study was to investigate how automation can optimize the use of air conditioning by adjusting the operation of the units according to environmental variables, such as external temperature, occupancy, and usage schedules. Home automation emerges as a promising solution to reduce energy waste, bringing both economic and environmental benefits while improving user comfort. The methodology employed was a qualitative literature review focused on studies published between 2020 and 2024. The databases consulted included Lilacs, Periódicos Capes, Google Scholar, and Scielo, aiming to gather articles that addressed home automation and its relationship with the energy efficiency of air conditioning systems. The research applied inclusion and exclusion criteria to select the most relevant studies, excluding those that focused on automation in commercial or industrial environments. The results show that the application of home automation can significantly reduce electricity consumption in homes by automatically and efficiently

adjusting the operation of air conditioning systems. The study also highlighted that integration with renewable energy sources, such as solar power, can further enhance these benefits, making automation an accessible and sustainable solution for controlling air conditioning.

Keywords: Home Automation. Energy Efficiency. Residential Automation.

Damesson Araújo Vieira. Graduando em Engenharia Elétrica. Rede de Ensino Doctum. E-mail: damessonvieira@outlook.com ¹
Rede de Ensino Doctum – luis.braga@doctum.edu.br – Orientador ²

1. Introdução

O uso da tecnologia em ambientes residenciais, particularmente no que diz respeito ao controle de sistemas de climatização, tem ganhado destaque nas últimas décadas. A domótica, ou automação residencial, emergiu como uma solução eficiente para otimizar o consumo energético, especialmente em aparelhos de ar-condicionado, que representam uma parcela significativa do uso de energia elétrica em residências. Sistemas inteligentes de controle podem ajustar o funcionamento dos aparelhos de acordo com variáveis como temperatura externa, horários de uso e presença de pessoas, proporcionando não apenas conforto, mas também economia de energia. O crescente avanço nas tecnologias de sensores, comunicação sem fio e algoritmos de controle tem permitido que a domótica seja aplicada de forma mais acessível e eficiente, impulsionando pesquisas na área (Repsold, 2023).

Com a expansão do uso de aparelhos de ar-condicionado em diversas regiões, inclusive em áreas de clima ameno, a necessidade de se buscar métodos para melhorar a eficiência energética tornou-se premente. Diante desse cenário, a domótica se posiciona como uma ferramenta promissora, integrando tecnologia e sustentabilidade. Ao considerar a utilização de sistemas de automação como meio de reduzir o desperdício energético, a temática se insere no contexto de debates globais sobre consumo responsável e o impacto ambiental da energia elétrica.

A domótica pode reduzir o consumo energético ao regular automaticamente o uso do ar-condicionado conforme a ocupação e as condições ambientais da residência. Além disso, sistemas de automação com aprendizado de máquina podem prever padrões de uso e ajustar os aparelhos de forma mais eficiente do que os controles manuais. Por fim, a integração de fontes renováveis de energia com sistemas automatizados pode potencializar ainda mais a economia de energia (Rodrigues *et al.*, 2024).

A relevância deste estudo está na possibilidade de contribuir para a disseminação de práticas mais eficientes de uso de energia em residências, o que pode levar a uma redução significativa do consumo elétrico e, conseqüentemente, dos impactos ambientais. Para a sociedade, a pesquisa oferece alternativas viáveis para a otimização do uso de ar-condicionado, algo especialmente relevante em um contexto de aumento dos custos energéticos e de conscientização ambiental. No campo científico, este trabalho auxilia na compreensão das interações entre domótica e eficiência energética, oferecendo uma base sólida para estudos futuros.

Desta forma, o presente trabalho apresenta uma revisão da literatura, com pesquisa qualitativa realizada entre 2020 e 2024. Foram consultadas as bases de dados Lilacs, Periódicos Capes, Google Acadêmico e Scielo, com o objetivo de reunir e analisar estudos que investigaram o impacto da automação residencial na eficiência energética de sistemas de ar-condicionado.

1.1 Objetivos

O objetivo geral do trabalho é analisar como a domótica pode ser aplicada para melhorar a eficiência energética de aparelhos de ar-condicionado residenciais. Os objetivos específicos incluem a identificação das tecnologias mais promissoras no mercado para esse tipo de automação, a análise dos benefícios energéticos obtidos com o uso de sistemas de controle inteligente e a verificação do impacto dessas soluções no conforto dos usuários em ambientes domésticos.

2. Metodologia

A presente pesquisa adotou uma abordagem qualitativa, baseada em uma revisão bibliográfica, com foco na análise de estudos publicados entre os anos de 2020 e 2024. O objetivo foi identificar e discutir as principais contribuições da domótica para a eficiência energética de aparelhos de ar-condicionado em residências. A revisão não seguiu um protocolo sistemático formal, mas priorizou critérios rigorosos de seleção, com o intuito de garantir a relevância e atualidade das fontes utilizadas.

Diferente da revisão sistemática, que segue protocolos rigorosos e padronizados (como PRISMA), a revisão bibliográfica utilizada nesta pesquisa é mais flexível e exploratória, permitindo maior liberdade na seleção e análise dos materiais. A revisão sistemática, por sua vez, exige etapas como definição explícita de questões de pesquisa, busca exaustiva em múltiplas bases de dados, inclusão de estudos em diferentes idiomas, avaliação da qualidade metodológica dos artigos e análise

estatística (meta-análise, quando aplicável). Já a revisão bibliográfica tradicional tem como foco reunir, contextualizar e analisar criticamente o conhecimento disponível sobre determinado tema, com maior liberdade interpretativa e sem necessariamente seguir um protocolo rígido.

A escolha por esse tipo de revisão se justifica pela natureza exploratória da pesquisa, que busca compreender o estado da arte sobre automação residencial aplicada à climatização, sem restringir-se a uma pergunta de pesquisa específica ou à avaliação quantitativa dos resultados. Dessa forma, optou-se por uma abordagem mais ampla e qualitativa, capaz de abranger diferentes perspectivas, tecnologias e abordagens metodológicas presentes na literatura.

As bases de dados consultadas incluíram Lilacs, Periódicos Capes, Scielo e Google Acadêmico, buscando garantir diversidade de fontes e abrangência temática. Os termos de busca utilizados incluíram combinações como: "automação residencial", "eficiência energética", "domótica", "ar-condicionado", "climatização inteligente" e "Arduino em residências". A filtragem dos resultados considerou a presença dos termos no título, resumo ou palavras-chave, além da disponibilidade dos textos completos.

Foram estabelecidos critérios de inclusão, que abrangeram artigos que discutissem diretamente:

- A aplicação de sistemas de automação no controle de ar-condicionado;
- Tecnologias utilizadas (como sensores, microcontroladores e IoT);
- Benefícios energéticos, econômicos ou ambientais oriundos da automação.

Como critérios de exclusão, foram desconsiderados:

- Estudos focados exclusivamente em ambientes comerciais, industriais ou corporativos;
- Trabalhos sem fundamentação teórica consistente ou com escopo apenas descritivo e genérico;
- Publicações duplicadas ou com conteúdo redundante.

A análise dos artigos selecionados foi realizada de forma temática, agrupando os conteúdos em eixos como: conceitos e tecnologias de domótica, impacto do ar-condicionado no consumo energético, integração com fontes renováveis, uso de aprendizado de máquina e sensores, e estudos de caso aplicados. Essa categorização permitiu identificar padrões, lacunas e convergências nos resultados, qualificando a revisão como uma análise crítica e contextualizada do estado da arte.

De acordo com Lima e Mito (2007), a revisão de literatura é fundamental na construção do conhecimento científico, pois permite ao pesquisador identificar as lacunas existentes na produção acadêmica e elaborar uma base teórica sólida para o desenvolvimento de novas pesquisas. Dessa forma, a análise crítica dos artigos selecionados visou consolidar as informações pertinentes sobre o uso de domótica como ferramenta de eficiência energética em residências.

3. Revisão de literatura

Na seção de revisão de literatura, foram abordados conceitos e estudos fundamentais sobre a domótica e seu impacto na eficiência energética, com ênfase na automação residencial voltada para sistemas de climatização. Primeiramente, exploram-se os conceitos de automação e as tecnologias empregadas na domótica, como sensores e plataformas de código aberto. Em seguida, discute-se o papel do ar-condicionado no consumo energético residencial, evidenciando a relevância da automação no controle desse equipamento. A análise também inclui a revisão das principais tecnologias de controle inteligente de climatização, como sensores de presença e sistemas microcontrolados, além de examinar os benefícios da integração entre automação e fontes de energia renovável. Por fim, a seção aborda o impacto da automação na eficiência energética, destacando os avanços na integração de modelos de aprendizado de máquina e a importância da adoção dessas tecnologias para o uso sustentável da energia elétrica.

3.1 Conceito de domótica e automação residencial

A domótica, ou automação residencial, refere-se à integração de tecnologias que permitem o controle automatizado e inteligente de diversos sistemas domésticos, como iluminação, climatização, segurança e entretenimento. A evolução dessas tecnologias, aliada à crescente demanda por eficiência energética, conforto e segurança, tem impulsionado o desenvolvimento de soluções cada vez mais acessíveis e adaptáveis às necessidades dos usuários (Rodrigues *et al.*, 2024).

Oliveira, Piolla e Soares (2020) destacam que a domótica é uma área em constante expansão, cuja proposta central é tornar as residências mais inteligentes, proporcionando economia de energia, praticidade e maior controle sobre os recursos domésticos. Essa automação permite a programação e o gerenciamento remoto de dispositivos por meio de redes de comunicação, como a internet, integrando tecnologias como sensores, atuadores e controladores.

Além da eficiência energética, um aspecto fundamental da automação residencial é o conforto dos usuários, que vai além da simples comodidade de operar dispositivos à distância. Os sistemas de controle inteligente têm capacidade de personalizar o ambiente de acordo com as preferências individuais, ajustando automaticamente temperatura, iluminação e ventilação. Por exemplo, sistemas de climatização podem manter o ambiente sempre em condições agradáveis, com base no histórico de uso do morador, temperatura externa e horário do dia sem que o usuário precise intervir constantemente.

Esse nível de personalização contribui diretamente para a aceitação e adoção da tecnologia, pois o usuário percebe um benefício tangível e imediato: conforto térmico, praticidade no dia a dia e a sensação de que a casa “responde” às suas necessidades. Além disso, a automação pode ser programada para antecipar situações como ativar o ar-condicionado antes da chegada dos moradores.

O equilíbrio entre eficiência energética e conforto percebido é um ponto-chave no sucesso da domótica. Tecnologias que apenas visam a economia de energia, sem considerar o conforto dos moradores, tendem a ter baixa aceitação. Já os sistemas bem projetados são capazes de oferecer economia sem sacrificar a qualidade da experiência do usuário. Nesse sentido, o desenvolvimento de interfaces intuitivas e de algoritmos de controle adaptativos torna-se essencial para garantir esse equilíbrio, permitindo que os sistemas automatizados se ajustem continuamente ao comportamento e às preferências dos moradores.

Com o avanço das tecnologias de comunicação e da Internet das Coisas (IoT), as possibilidades de automação foram ampliadas, permitindo que os sistemas sejam ajustados automaticamente com base em dados fornecidos por sensores, como temperatura, umidade e presença de pessoas. Dessa forma, as residências tornam-se mais eficientes, reduzindo o desperdício de recursos e contribuindo para a sustentabilidade ambiental, ao mesmo tempo em que promovem uma experiência cotidiana mais confortável, personalizada e conectada.

A redução nos custos de desenvolvimento de dispositivos e a popularização de plataformas de código aberto, como o Arduino, têm permitido a criação de protótipos eficientes que podem ser integrados a redes domésticas, facilitando o controle de diversos aparelhos por meio de smartphones e outros dispositivos móveis. Nesse contexto, a automação não é mais vista apenas como um luxo ou algo restrito a grandes edificações, mas como uma solução viável para residências de pequeno e médio porte. Isso torna a domótica uma ferramenta poderosa não apenas para o conforto, mas também para a economia de energia, um dos principais desafios do mundo moderno.

A aplicação da IoT em domótica, segundo De Camargos *et al.* (2022), é uma das principais inovações que têm possibilitado a automação de sistemas domésticos de forma mais eficiente e integrada. A IoT permite que os dispositivos se comuniquem entre si e com o usuário, criando um ambiente dinâmico em que as informações são processadas em tempo real para otimizar o funcionamento dos sistemas. Por exemplo, em um sistema de ar-condicionado automatizado, a IoT pode ajustar a temperatura de forma autônoma, levando em consideração variáveis como a temperatura externa, a quantidade de pessoas no ambiente e os horários de uso mais frequentes.

Com isso, o uso do aparelho é otimizado, gerando economia de energia e maior conforto. A integração desses dispositivos em redes domésticas cria um sistema altamente eficiente, que pode ser monitorado e controlado à distância, proporcionando ao usuário um nível de controle sem precedentes sobre os recursos da residência.

A automação residencial com foco em eficiência energética tem sido apontada como uma das principais soluções para a redução do consumo de energia elétrica em residências. Oliveira, Piolla e Soares (2020) ressaltam que, ao integrar sistemas de automação com dispositivos de controle, como termostatos inteligentes e sensores de movimento, é possível reduzir significativamente o consumo de energia de aparelhos como o ar-condicionado, iluminação e sistemas de aquecimento.

A automação permite que esses sistemas operem apenas quando necessário e em níveis de eficiência ótimos, eliminando o desperdício causado pelo uso contínuo ou inadequado dos aparelhos. Em muitos casos, a automação residencial pode ser configurada para funcionar de maneira preditiva, antecipando o comportamento dos usuários e ajustando os sistemas de acordo com suas rotinas diárias.

De Camargos *et al.* (2022) abordam o uso de plataformas de código aberto, como o Arduino, para o desenvolvimento de sistemas de automação residencial. A plataforma Arduino, amplamente utilizada no campo da automação, permite o

desenvolvimento de soluções personalizadas e de baixo custo, que podem ser facilmente integradas a outros dispositivos domésticos. Ao utilizar sensores e atuadores conectados a uma rede doméstica, o Arduino pode controlar diversos aspectos de uma residência, como iluminação, climatização e segurança. Esses sistemas são programáveis, o que significa que podem ser ajustados para atender às necessidades específicas dos usuários, aumentando a flexibilidade e a eficiência da automação residencial. A FIGURA 1 ilustra um modelo de plataforma de desenvolvimento do Arduino.

FIGURA 1 – Arduino



Fonte: ARDUINO (2025).

Outro ponto relevante levantado por Rodrigues *et al.* (2024) é a importância da usabilidade e da acessibilidade das interfaces de controle para o sucesso da automação residencial. Para que a automação seja eficaz e adotada em larga escala, as interfaces de controle precisam ser simples e intuitivas, permitindo que os usuários configurem e controlem os dispositivos de maneira prática, sem a necessidade de conhecimentos técnicos avançados. O desenvolvimento de aplicativos móveis e assistentes virtuais, que permitem o controle remoto de dispositivos domésticos, tem facilitado a adoção da automação por parte de usuários comuns. Dessa forma, a domótica se consolida como uma solução viável e acessível, com grande potencial para melhorar a qualidade de vida das pessoas e promover a eficiência energética em larga escala.

3.2 Ar-condicionado e consumo energético residencial

O ar-condicionado é um dos principais responsáveis pelo consumo energético em residências, especialmente em regiões de clima tropical, onde seu uso é mais

frequente e intenso (Rodrigues *et al.*, 2024). Em estudos sobre o impacto desse equipamento no consumo de energia residencial, Oliveira, De Oliveira e De Azevedo (2023) destacam a influência de fatores projetuais, como a orientação solar, o isolamento térmico e a ventilação natural, na demanda por ar-condicionado.

Em uma habitação popular localizada em clima tropical úmido, esses fatores foram determinantes para o aumento do uso do ar-condicionado, revelando que o planejamento arquitetônico inadequado pode levar a um consumo energético significativamente mais elevado. Com a falta de estratégias passivas de climatização, como a utilização de materiais que contribuam para o conforto térmico, a dependência de aparelhos de ar-condicionado se intensifica, acarretando um aumento nas contas de energia elétrica e pressionando os sistemas de distribuição de energia.

O uso de ar-condicionado em residências não é apenas uma questão de conforto, mas também uma necessidade em determinadas regiões, especialmente durante os meses mais quentes. Repsold (2023), em seu estudo de caso realizado em uma casa de veraneio, analisou a eficiência energética de equipamentos de ar-condicionado e aquecimento de água. Nesse contexto, verificou-se que o ar-condicionado representava uma parcela significativa do consumo elétrico, principalmente devido à utilização de aparelhos com tecnologias menos eficientes.

A pesquisa reforça a importância da escolha adequada de equipamentos que contemplem critérios de eficiência energética, como os classificados com selo Procel A, que apresentam melhor desempenho no uso de energia elétrica. Além disso, a instalação correta do aparelho, sua manutenção periódica e a adoção de práticas de uso racional, como o ajuste adequado da temperatura e o desligamento quando o ambiente não estiver ocupado, são fatores que podem contribuir para a redução do consumo de energia.

A base de dados pública sobre consumo residencial, discutida por Hayashi *et al.* (2020), também oferece um importante ponto de vista sobre o uso de ar-condicionado e seu impacto nas contas de energia em domicílios brasileiros. Os dados coletados evidenciam que o ar-condicionado é um dos equipamentos de alto consumo energético, superando outros eletrodomésticos comuns em residências. Esse consumo elevado é particularmente perceptível em regiões de clima quente e úmido, onde o uso prolongado e constante do equipamento é necessário para manter o conforto térmico. A FIGURA 2 ilustra uma tabela com o consumo do ar condicionado.

FIGURA 2 - Tabela de consumo ar-condicionado split

Ar condicionado	Potência (watts)	Dias	Consumo	
			Horas/dias	kWh/mês
7.500 BTUs	1.000	30	8	240
10.000 BTUs	1.350	30	8	324
12.000 BTUs	1.450	30	8	348

Fonte: Dufrio Refrigeração (2020).

A análise dos dados mostra, ainda, que o perfil de consumo de ar-condicionado varia significativamente conforme a renda das famílias, uma vez que residências de maior poder aquisitivo tendem a utilizar modelos mais potentes e em maior número, enquanto as de menor renda optam por soluções mais acessíveis, porém menos eficientes.

Oliveira, De Oliveira e De Azevedo (2023) apontam também que o uso do ar-condicionado está diretamente relacionado ao aumento das emissões de gases de efeito estufa, uma vez que a maior parte da energia elétrica consumida em muitas regiões é gerada a partir de fontes não renováveis. Nesse sentido, a adoção de estratégias de eficiência energética para o uso de ar-condicionado em residências não é apenas uma questão de economia financeira, mas também uma medida essencial para a mitigação dos impactos ambientais associados ao consumo de energia.

A pesquisa sugere a implementação de medidas como o uso de sistemas de automação residencial, que podem ajudar a otimizar o uso do ar-condicionado de forma inteligente, ajustando automaticamente a temperatura de acordo com a presença de pessoas no ambiente e as condições climáticas externas, promovendo assim um uso mais eficiente e sustentável.

O estudo de Repsold (2023) reforça que, além de escolher equipamentos energeticamente eficientes, é fundamental que os consumidores tenham acesso a informações claras sobre o consumo energético de seus aparelhos. A pesquisa mostrou que muitos usuários desconhecem o impacto real do uso prolongado do ar-condicionado em suas contas de energia, o que dificulta a adoção de hábitos mais conscientes.

A introdução de tecnologias que permitam o monitoramento em tempo real do consumo de energia pode ser uma solução viável para educar os consumidores sobre a importância de gerenciar o uso do ar-condicionado de maneira mais eficiente. A

automação e o uso de sistemas inteligentes, aliados a campanhas educativas, podem promover uma mudança de comportamento que favoreça a redução do consumo energético e a preservação dos recursos naturais.

A relevância da base de dados analisada por Hayashi *et al.* (2020) também se destaca por possibilitar a análise detalhada dos padrões de consumo residencial e identificar as principais fontes de consumo de energia em residências. A partir desses dados, é possível traçar estratégias mais eficazes de combate ao desperdício energético, como a promoção de incentivos para a troca de equipamentos obsoletos por modelos mais eficientes e a disseminação de informações sobre práticas de uso sustentável do ar-condicionado.

A implementação de políticas públicas voltadas para a eficiência energética, como a concessão de subsídios para a compra de aparelhos com menor consumo de energia, também pode ser uma medida importante para reduzir o impacto do ar-condicionado no consumo elétrico das residências e, conseqüentemente, nas emissões de carbono associadas a esse consumo.

Dessa forma, os estudos analisados apontam que a utilização de ar-condicionado em residências é uma questão de grande relevância no debate sobre consumo energético. O planejamento arquitetônico, a escolha de equipamentos eficientes, o monitoramento do consumo e a adoção de estratégias automatizadas de controle são elementos fundamentais para a promoção de um uso mais racional e sustentável desse recurso, contribuindo não só para a economia nas contas de energia, mas também para a preservação ambiental em um cenário de mudanças climáticas.

3.3 Tecnologias de controle inteligente de climatização

As tecnologias de controle inteligente de climatização têm se mostrado cada vez mais promissoras no contexto da automação residencial e comercial, especialmente no que diz respeito à otimização do consumo energético e ao aumento do conforto dos usuários. Paula e Nakamura (2024) destacam que as casas inteligentes do futuro serão equipadas com tecnologias que permitem o controle automatizado de diversos sistemas, incluindo a climatização.

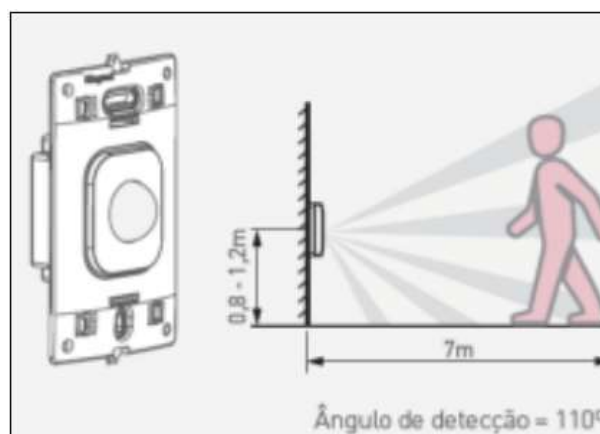
A aceitação dessas tecnologias pelos usuários está diretamente relacionada à sua eficiência e à facilidade de uso, o que requer que os sistemas de controle de climatização sejam projetados para operar de maneira intuitiva e integrada. Essas soluções inteligentes, quando combinadas com sensores e algoritmos de controle, têm

a capacidade de ajustar a temperatura dos ambientes de acordo com a presença de pessoas, a temperatura externa e os padrões de uso, o que não apenas aumenta o conforto, mas também contribui para uma significativa redução do consumo de energia.

O uso de sensores de presença, conforme apontado por Vital (2021), é uma das tecnologias mais eficazes para a automação de sistemas de climatização. No estudo realizado no Setor de Aulas IV da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), verificou-se que a implementação de sensores de presença permitiu que os sistemas de ar-condicionado fossem ativados apenas quando o ambiente estava ocupado, resultando em uma redução significativa no consumo de energia elétrica.

Os sensores de presença detectam a presença das pessoas pelo calor emitido pelos movimentos através do infravermelho. Eles conseguem captar a variação térmica e são calibrados de acordo com a temperatura das pessoas (35° a 38° graus Celsius). Assim, quando o sensor identifica uma variação de temperatura em um ambiente, significa que uma pessoa entrou no ambiente e ocorre uma mudança na luz infravermelha a qual dispara um “alarme” no sensor, acionando o equipamento a ele ligado, conforme mostram a FIGURA 03.

Figura 03 – Exemplo de detecção da presença de uma pessoa no ambiente.



Fonte: Legrand (2017).

O sensor determina se há ou não a necessidade do funcionamento do aparelho, desligando-o se não houver ninguém no ambiente por um dado período de tempo. A pesquisa demonstrou que, em períodos em que as salas de aula estavam desocupadas, os sistemas de climatização permaneciam desligados, evitando o desperdício de energia. Essa solução se mostrou viável tanto do ponto de vista técnico quanto econômico, especialmente em ambientes que têm ocupação variável ao longo

do dia, como salas de aula e escritórios. Vital (2021) também ressaltou que a automação de sistemas de climatização com base em sensores de presença pode ser facilmente integrada a outras tecnologias de automação predial, criando uma solução completa para o gerenciamento energético de edificações.

A utilização de sistemas microcontrolados para o gerenciamento de climatização também tem ganhado destaque nas pesquisas acadêmicas e no desenvolvimento de novas tecnologias. Pereira *et al.* (2022) propõem um sistema de climatização microcontrolado, que utiliza sensores de temperatura e umidade para regular o funcionamento de aparelhos de ar-condicionado de maneira automatizada. O sistema proposto é capaz de ajustar a temperatura ambiente de acordo com as condições climáticas externas, bem como com as preferências dos usuários, o que proporciona um uso mais eficiente e confortável do ar-condicionado.

O diferencial desse tipo de sistema é a capacidade de operar de maneira autônoma, sem a necessidade de intervenção constante dos usuários, utilizando algoritmos de controle que aprendem os padrões de uso e ajustam o funcionamento dos equipamentos de acordo com as necessidades específicas de cada ambiente. Essa automação inteligente resulta em uma economia significativa de energia, especialmente em locais onde o uso de ar-condicionado é frequente.

Paula e Nakamura (2024) ressaltam que, para que as tecnologias de controle inteligente de climatização sejam amplamente aceitas pelos usuários, é fundamental que essas soluções sejam desenvolvidas com foco na experiência do usuário. Isso significa que os sistemas de controle devem ser simples de operar e oferecer opções de personalização, permitindo que os usuários ajustem as configurações de acordo com suas preferências individuais.

A adoção de assistentes virtuais, como parte do ecossistema de casas inteligentes, também facilita o controle de sistemas de climatização por meio de comandos de voz, tornando o processo mais prático e acessível para o público em geral. Além disso, a integração dessas tecnologias com aplicativos móveis permite que os usuários controlem remotamente a climatização de suas residências, o que é particularmente útil em situações em que é necessário preparar o ambiente antes da chegada em casa ou desligar o sistema quando ele foi esquecido ligado.

Vital (2021) acrescenta que, além do uso de sensores de presença, outras tecnologias complementares, como sensores de qualidade do ar e de luz, podem ser integradas aos sistemas de climatização inteligente para melhorar ainda mais o desempenho energético e o conforto ambiental. Sensores de qualidade do ar, por

exemplo, podem monitorar níveis de CO₂ e ajustar a ventilação de um ambiente, garantindo uma climatização saudável e eficiente.

Já os sensores de luz podem ser utilizados para ajustar a iluminação natural, reduzindo a carga térmica nos ambientes e, conseqüentemente, diminuindo a necessidade de uso do ar-condicionado. Esses sistemas interconectados criam um ambiente otimizado, no qual o uso de energia é minimizado e o conforto dos ocupantes é maximizado.

A pesquisa de Pereira *et al.* (2022) também destaca a importância da modularidade e escalabilidade dos sistemas de controle de climatização. Um sistema microcontrolado pode ser facilmente adaptado para diferentes tipos de ambientes, desde residências até grandes edifícios comerciais, sem a necessidade de grandes mudanças na infraestrutura existente.

Essa flexibilidade torna os sistemas inteligentes de climatização uma solução atraente para diferentes setores, permitindo que sejam implantados de forma gradual, conforme a necessidade de cada espaço. A possibilidade de monitorar o consumo energético em tempo real e ajustar automaticamente os parâmetros de funcionamento dos equipamentos também permite que os usuários identifiquem oportunidades de economia e realizem ajustes proativos no uso da energia.

Paula e Nakamura (2024) concluem que, à medida que as tecnologias de controle inteligente de climatização se tornam mais avançadas e acessíveis, sua aceitação pelos usuários tende a aumentar, especialmente em função dos benefícios associados à economia de energia e ao conforto proporcionado. No entanto, é necessário que o desenvolvimento dessas tecnologias seja acompanhado por campanhas de conscientização sobre os impactos positivos da automação no consumo energético e na sustentabilidade ambiental.

3.4 Análise de custo-benefício da automação residencial

Embora o investimento inicial em tecnologias de automação residencial ainda represente uma barreira para muitas famílias, a análise de custo-benefício evidencia que, a médio e longo prazo, esses sistemas podem proporcionar economia significativa de energia elétrica. O custo de implementação de soluções básicas, como sensores de presença e controladores baseados em plataformas de código aberto

(ex.: Arduino), pode variar entre R\$ 200,00 e R\$ 1.000,00 dependendo do grau de complexidade e integração desejada. Em contrapartida, estudos demonstram que a economia gerada no consumo de aparelhos de climatização pode atingir entre 15% e 30% da fatura mensal de energia elétrica, especialmente em residências localizadas em regiões de clima quente, onde o uso do ar-condicionado é intensivo (Rodrigues et al., 2024; Repsold, 2023).

Além da economia direta na conta de luz, a domótica contribui para a redução do desgaste dos equipamentos, prolongando sua vida útil e diminuindo custos com manutenção. Quando combinada com sistemas de geração de energia solar, o retorno sobre o investimento (ROI) torna-se ainda mais atrativo, podendo ocorrer em um período entre 1,5 a 3 anos, dependendo do perfil de uso da residência. Dessa forma, mesmo com um custo inicial, a automação residencial se mostra economicamente viável, especialmente quando se consideram os benefícios ambientais, o aumento do conforto térmico e a possibilidade de monitoramento e controle remoto do consumo energético. Assim, a análise de custo-benefício reforça a viabilidade da domótica como solução sustentável e acessível para o gerenciamento de aparelhos de climatização em ambientes residenciais.

Tabela 1 – Estimativa de custo-benefício da automação residencial aplicada ao ar-condicionado

Item	Valor estimado (R\$)	Descrição
Kit básico de automação (Arduino + sensores)	300 a 800	Inclui sensores de presença, temperatura e microcontrolador

Instalação e configuração	200 a 400	Mão de obra para montagem e programação inicial
Investimento total inicial	500 a 1.200	Custo médio de implementação
Economia mensal estimada na conta de energia	40 a 100	Varia conforme tempo de uso e modelo de ar-condicionado
Economia anual estimada	480 a 1.200	Considerando uso médio intensivo (regiões quentes)
Tempo médio para retorno sobre investimento	1 a 2,5 anos	Com base na economia energética gerada
Benefícios adicionais	-	Aumento de conforto, prolongamento da vida útil dos equipamentos, controle remoto, integração com energia solar

3.5 Impacto da automação na eficiência energética

A automação residencial tem sido apontada como uma ferramenta eficaz para a melhoria da eficiência energética em sistemas de climatização, principalmente em aparelhos de ar-condicionado, que representam uma parcela significativa do consumo energético em residências. Damato e Ghaazzaoui (2022) discutem como a integração de tecnologias automatizadas pode contribuir para a redução do consumo de energia elétrica ao ajustar automaticamente os equipamentos de acordo com variáveis ambientais, como temperatura e umidade, e padrões de uso. A automação possibilita que os aparelhos de ar-condicionado funcionem de maneira mais eficiente, regulando seu desempenho conforme a ocupação dos espaços e as condições climáticas externas, o que resulta em um uso otimizado e menos desperdício de energia.

A aplicação da automação em edificações vai além da simples regulação de aparelhos de climatização. Segundo Lorga (2021), projetos de edificações de alto desempenho que utilizam automação predial integrada podem alcançar níveis elevados de eficiência energética. A combinação de sensores e algoritmos de controle inteligentes permite que os sistemas de climatização sejam acionados apenas quando necessário, de forma preditiva e adaptada aos horários de uso dos ocupantes. Essa abordagem tem mostrado resultados positivos na redução da demanda por energia, especialmente em ambientes de uso compartilhado, como escritórios e edifícios corporativos, onde a automação é essencial para gerenciar o consumo de energia de maneira eficiente.

Outro aspecto relevante destacado por Costa *et al.* (2022) é o uso de sistemas de monitoramento em tempo real para controlar o consumo energético em residências. A automação, quando integrada a esses sistemas, permite que os moradores tenham um controle detalhado sobre o desempenho dos aparelhos de climatização, identificando picos de consumo e ajustando automaticamente o funcionamento dos equipamentos. A capacidade de monitoramento em tempo real facilita a tomada de decisões mais conscientes sobre o uso de energia, o que contribui diretamente para a redução do consumo e para uma maior economia financeira.

Entretanto, a implementação de sistemas de domótica em residências ainda enfrenta desafios importantes, que precisam ser considerados para uma análise mais equilibrada do cenário. Um dos principais obstáculos está relacionado à barreira econômica: o custo inicial de instalação de sensores, controladores e infraestrutura de automação pode ser elevado, o que dificulta a adoção em larga escala, principalmente em residências de menor poder aquisitivo. Embora existam alternativas de baixo custo, como o uso de plataformas de código aberto, ainda há um caminho a ser percorrido para tornar essas soluções acessíveis e confiáveis para o público geral.

Outro desafio envolve a compatibilidade com os sistemas de climatização já existentes. Muitos aparelhos de ar-condicionado residenciais não possuem interfaces nativas para integração com sistemas automatizados, o que pode exigir adaptações técnicas, como módulos de controle externos ou substituição parcial de equipamentos. Isso representa um custo adicional e pode exigir suporte técnico especializado, o que dificulta a aplicação em ambientes já consolidados.

Além disso, há uma resistência natural por parte de alguns usuários em adotar novas tecnologias, especialmente quando estas exigem mudança de hábitos ou aprendizado de novas interfaces. A falta de familiaridade com a tecnologia, o receio

de falhas técnicas e a percepção de que a automação é algo complexo ou desnecessário podem dificultar sua aceitação. Dessa forma, a usabilidade e a simplicidade das interfaces de controle tornam-se fatores críticos para promover a adoção em larga escala.

Apesar dessas limitações, os benefícios da automação continuam significativos. A capacidade de monitoramento em tempo real, combinada com ajustes automáticos e personalização baseada em comportamento, permite uma gestão energética mais eficiente e racional. A automação também pode melhorar o conforto dos usuários, adaptando os sistemas de climatização conforme suas preferências e necessidades. Quando integrada a fontes de energia renováveis, como a solar, a automação maximiza a sustentabilidade e reduz ainda mais a dependência de fontes não renováveis.

Em resumo, embora os ganhos em eficiência energética com a automação sejam evidentes, a adoção bem-sucedida dessas tecnologias exige superar barreiras técnicas, econômicas e culturais. Políticas públicas de incentivo, desenvolvimento de soluções compatíveis com sistemas existentes e estratégias de educação tecnológica para os usuários podem ser caminhos promissores para ampliar o impacto positivo da automação residencial na eficiência energética.

3.6 Modelos de aprendizado de máquina aplicados à automação

O aprendizado de máquina é uma área da inteligência artificial que capacita sistemas a aprender e melhorar automaticamente a partir de dados, sem programação explícita para cada tarefa. Em domótica e eficiência energética, técnicas como redes neurais, algoritmos de classificação e métodos de previsão são amplamente aplicadas para prever padrões de uso e ajustar o funcionamento de dispositivos, como o ar-condicionado, conforme as variáveis ambientais e comportamentais. Esses algoritmos permitem que os sistemas automatizados identifiquem padrões complexos, otimizando o consumo de energia e promovendo maior eficiência no controle de climatização residencial (Paula *et al.*, 2022).

O uso de modelos de aprendizado de máquina no campo da automação tem se expandido rapidamente, permitindo que diversas áreas, incluindo licenciamento urbanístico e reconhecimento de padrões fiscais, se beneficiem de processos automatizados mais eficientes e precisos. Klein (2021) destaca a importância do aprendizado de máquina ao aplicar essa tecnologia em soluções urbanísticas, onde o processo de licenciamento se torna mais ágil e menos sujeito a falhas humanas. A

implementação de modelos que aprendem a partir de dados históricos e contextuais permite otimizar as etapas envolvidas no licenciamento, facilitando a tomada de decisões e reduzindo significativamente o tempo necessário para a aprovação de projetos.

A automação, associada ao aprendizado de máquina, também tem demonstrado ser eficiente em contextos como o reconhecimento automatizado de notas fiscais, como exemplificado por Pereira, Martins e Santos (2023). Nesse estudo, o uso de OCR (Reconhecimento Óptico de Caracteres (OCR, do inglês Optical Character Recognition) aliado ao aprendizado de máquina automatiza o processo de verificação de gastos públicos, garantindo maior precisão e transparência. O modelo de aprendizado é capaz de identificar e classificar informações relevantes nas notas fiscais, minimizando erros e possibilitando uma fiscalização mais eficiente das contas públicas. A capacidade de adaptação dos modelos, que aprimoram seu desempenho conforme são expostos a novos dados, é um ponto chave para a sua aplicação em ambientes dinâmicos e complexos.

Já no trabalho de Paula *et al.* (2022), o desenvolvimento de uma plataforma para a criação e gerenciamento de modelos de aprendizado de máquina mostra a versatilidade dessa tecnologia em múltiplas áreas, além de destacar a necessidade de ferramentas que facilitem o desenvolvimento e a aplicação desses modelos em larga escala. A plataforma proposta busca simplificar o processo de modelagem, permitindo que desenvolvedores e analistas possam criar soluções automatizadas para problemas diversos, sem a necessidade de conhecimentos profundos em programação. Essa abordagem amplia o acesso ao aprendizado de máquina, promovendo a inovação em setores onde a automação pode trazer grandes benefícios, como a saúde, a segurança e a gestão de recursos.

O aprendizado de máquina aplicado à automação vai além da simples execução de tarefas repetitivas. Conforme Klein (2021) aponta, essas tecnologias permitem a identificação de padrões que passariam despercebidos em análises manuais, resultando em processos decisórios mais assertivos. No contexto de licenciamento urbanístico, isso é particularmente relevante, pois os modelos podem prever problemas potenciais, como o impacto ambiental ou a viabilidade estrutural de um projeto, antes que ele seja aprovado. Ao basear as decisões em dados concretos e históricos, o processo de licenciamento se torna mais eficiente e confiável, reduzindo custos e tempo.

O uso do aprendizado de máquina em processos automatizados também pode gerar economia significativa, como demonstrado no estudo de Pereira, Martins e Santos (2023), onde a automação do reconhecimento de notas fiscais reduziu a necessidade de intervenção humana em tarefas repetitivas e suscetíveis a erros. Essa redução de custos e aumento na precisão são atrativos que têm impulsionado a adoção de tecnologias de automação em diversas esferas, incluindo o setor público, onde a eficiência no uso de recursos é fundamental. O aprendizado de máquina, nesse contexto, funciona como uma ferramenta que aprimora a fiscalização e o controle de despesas, promovendo uma gestão pública mais transparente e eficiente.

Em termos de desenvolvimento e inovação, Paula *et al.* (2022) reforçam que o gerenciamento de modelos de aprendizado de máquina necessita de plataformas robustas que possibilitem a personalização e o acompanhamento contínuo dos resultados. A capacidade de ajustar os modelos conforme novas demandas surgem é fundamental para garantir que a automação continue a trazer benefícios ao longo do tempo, sem a necessidade de reformulações completas dos sistemas. Essa adaptabilidade é o que torna o aprendizado de máquina tão poderoso em aplicações de automação, pois os modelos podem evoluir junto com os processos que automatizam, garantindo que as soluções permaneçam eficientes e relevantes.

A implementação de aprendizado de máquina em soluções automatizadas tem o potencial de transformar setores que dependem de análise de dados em grande escala. Klein (2021) ressalta que, no licenciamento urbanístico, por exemplo, a análise automatizada de grandes volumes de dados históricos permite identificar padrões e prever resultados com uma precisão que seria impossível de alcançar por meios tradicionais. Da mesma forma, Pereira, Martins e Santos (2023) mostram como o reconhecimento automatizado de notas fiscais, utilizando aprendizado de máquina, é capaz de detectar fraudes ou inconsistências, algo que seria extremamente trabalhoso e demorado se feito manualmente.

Esses avanços na automação, impulsionados pelo aprendizado de máquina, demonstram como essa tecnologia tem o potencial de não apenas otimizar processos, mas também de gerar soluções mais precisas e adaptáveis a diferentes contextos. O desenvolvimento contínuo de plataformas como a proposta por Paula *et al.* (2022) evidencia a necessidade de ferramentas acessíveis que permitam a criação e o gerenciamento de modelos de aprendizado de máquina de forma eficiente e escalável. O uso dessas plataformas facilita a implementação de soluções inovadoras em setores que buscam melhorar sua eficiência operacional por meio da automação.

A capacidade de adaptação dos modelos de aprendizado de máquina às mudanças e às novas necessidades é um fator chave que assegura sua aplicação contínua em diversos setores. Seja no licenciamento urbanístico, na gestão pública ou na criação de novas plataformas, o aprendizado de máquina tem demonstrado ser uma ferramenta poderosa para a automação de processos, trazendo consigo uma série de benefícios, desde a redução de custos até a melhora na precisão e na eficiência dos sistemas automatizados.

3.7 Integração de fontes renováveis com sistemas automatizados

Fontes renováveis de energia são aquelas obtidas de recursos naturais que se regeneram continuamente, como a luz solar, o vento, a água e a biomassa. Diferentemente das fontes fósseis, que se esgotam com o uso, as renováveis oferecem uma alternativa sustentável por serem menos poluentes e terem menor impacto ambiental. Tecnologias como painéis solares e turbinas eólicas capturam e transformam a energia dessas fontes em eletricidade, promovendo uma geração de energia mais limpa e sustentável, essencial para reduzir a dependência de combustíveis fósseis e mitigar as mudanças climáticas (Farias *et al.*, 2022)

A integração de fontes renováveis com sistemas automatizados tem ganhado relevância no cenário energético atual, principalmente devido à necessidade de reduzir o impacto ambiental do consumo de energia. Bechara *et al.* (2024) discutem como a automação de painéis solares pode aumentar a eficiência na captação e utilização da energia solar em diferentes contextos. O uso de sistemas automatizados para controlar a orientação dos painéis conforme a posição do sol durante o dia possibilita uma otimização na produção de energia, maximizando o aproveitamento dos recursos solares disponíveis, o que consiste em um *tracker*¹. Essa automação contribui diretamente para uma maior eficiência energética, ao garantir que os painéis operem em condições ideais ao longo de todo o período de insolação.

No contexto de redes elétricas, Souza, Bonatto e Ribeiro (2022) argumentam que a integração de fontes renováveis com redes elétricas inteligentes é uma das soluções mais promissoras para garantir a sustentabilidade do sistema energético. As redes inteligentes, ou "*smart grids*", possibilitam a conexão eficiente de fontes como a solar e a eólica à rede de distribuição, utilizando sistemas automatizados que

¹ Um *tracker* é um sistema automatizado que ajusta a posição de painéis solares para acompanhar a trajetória do sol, maximizando a captura de energia ao longo do dia. Esse mecanismo aumenta a eficiência dos painéis ao mantê-los na orientação ideal para a geração de eletricidade.

monitoram e ajustam a distribuição de energia conforme a demanda. Essa abordagem permite não apenas uma maior inserção das energias renováveis no sistema, mas também uma resposta mais rápida e eficiente a flutuações na oferta e demanda de eletricidade. A automação, nesse sentido, torna-se essencial para garantir o equilíbrio entre a geração intermitente das fontes renováveis e o consumo constante dos usuários.

Farias *et al.* (2022) exploram o uso de tecnologias como o Arduino e a *Power Line Communication* (PLC) para integrar sistemas de automação em residências, especificamente no controle de ar-condicionado, mas com potencial para integração com fontes renováveis. A utilização do Arduino, uma plataforma de hardware livre, permite que o controle de equipamentos elétricos seja facilmente automatizado e adaptado conforme as necessidades energéticas do ambiente. A automação via PLC, por sua vez, utiliza a própria rede elétrica para transmitir dados, facilitando a comunicação entre diferentes sistemas sem a necessidade de infraestrutura adicional. Quando aplicada à integração de fontes renováveis, essa tecnologia possibilita que os sistemas de ar-condicionado, por exemplo, sejam ajustados automaticamente conforme a disponibilidade de energia gerada pelos painéis solares, otimizando o uso de recursos e garantindo maior eficiência energética.

A importância da automação no contexto da integração de renováveis se reflete na capacidade dos sistemas automatizados de adaptar a operação dos equipamentos conforme as condições ambientais e de geração de energia. Bechara *et al.* (2024) destacam que o controle automatizado da inclinação e orientação dos painéis solares pode aumentar significativamente a eficiência da captação de energia, especialmente em regiões com alta variabilidade na intensidade solar ao longo do dia. Esse tipo de automação garante que o sistema aproveite ao máximo a energia disponível, mesmo em condições adversas, como em dias parcialmente nublados ou com baixa incidência solar.

A automação também desempenha um papel fundamental na gestão da distribuição de energia em redes que incorporam fontes renováveis. Souza, Bonatto e Ribeiro (2022) ressaltam que as redes inteligentes utilizam sistemas automatizados para equilibrar a oferta intermitente de energias renováveis com a demanda dos consumidores, garantindo uma distribuição eficiente e estável de eletricidade. Esse equilíbrio é alcançado por meio do monitoramento em tempo real dos fluxos de energia e da capacidade de ajustar a distribuição conforme a produção renovável e o consumo. A automação permite que as redes inteligentes operem de forma mais eficiente,

otimizando o uso da energia gerada por fontes renováveis e reduzindo a necessidade de recorrer a fontes não renováveis em momentos de maior demanda.

Farias *et al.* (2022) também discutem como a automação pode ser aplicada para melhorar o controle de equipamentos energointensivos em residências, como o ar-condicionado, especialmente quando integrados a sistemas de geração de energia solar. O uso de tecnologias como o Arduino para automatizar o controle desses equipamentos conforme a disponibilidade de energia renovável contribui para uma utilização mais eficiente e sustentável dos recursos energéticos. A integração entre a automação dos equipamentos e a geração solar, por meio de PLC, possibilita que o sistema residencial se ajuste automaticamente, consumindo energia de maneira inteligente e evitando o desperdício.

A flexibilidade proporcionada pelos sistemas automatizados no controle de dispositivos e na gestão da energia gerada por fontes renováveis é um dos aspectos mais importantes para garantir a eficiência e a sustentabilidade desses sistemas. Bechara *et al.* (2024) apontam que a automação de painéis solares, ao permitir ajustes constantes na captação de energia, potencializa o uso de energia solar, tornando a geração mais eficiente e menos dependente das condições climáticas. Esse tipo de automação, além de aumentar a produção de energia, contribui para a longevidade dos sistemas, já que os ajustes constantes reduzem o desgaste dos equipamentos.

Souza, Bonatto e Ribeiro (2022) destacam ainda que a automação aplicada às redes elétricas inteligentes possibilita uma maior integração entre diferentes fontes de energia, facilitando a transição para um modelo energético mais sustentável. As redes inteligentes automatizadas permitem uma gestão mais eficiente das interconexões entre fontes renováveis e convencionais, otimizando o uso das energias renováveis e reduzindo a dependência de fontes fósseis. Isso é particularmente relevante em um cenário de crescente demanda por energia limpa e de desafios relacionados à intermitência das fontes renováveis, como a solar e a eólica.

A utilização de tecnologias de automação, como as propostas por Farias *et al.* (2022), oferece uma solução prática para integrar fontes renováveis aos sistemas de consumo energético, otimizando o uso de energia em residências e pequenas empresas. A combinação de automação com geração renovável, por meio de tecnologias de comunicação como o PLC, facilita o gerenciamento eficiente dos recursos energéticos, permitindo que o consumo seja ajustado conforme a disponibilidade de energia.

4. Resultados e discussões

No âmbito da automação aplicada a painéis solares, Bechara *et al.* (2024) mostram que a integração de tecnologias de automação com fontes renováveis aumenta a eficiência da captação de energia, permitindo uma utilização otimizada de recursos naturais. Embora seu foco seja em sistemas de captação solar, essa lógica se aplica diretamente à gestão do uso de ar-condicionado, que pode ser alimentado por energia solar e controlado automaticamente de acordo com a produção energética disponível, o que reduz a dependência de fontes não renováveis e melhora o desempenho do sistema como um todo.

Repsold (2023) reforça a importância de tecnologias voltadas à eficiência energética em aparelhos de ar-condicionado ao destacar que o uso inadequado desses equipamentos pode resultar em um consumo excessivo de eletricidade. A automação surge como uma solução para mitigar esse impacto, ajustando o funcionamento dos aparelhos conforme parâmetros como a temperatura externa e a presença de pessoas no ambiente. Esse controle automatizado é ainda mais relevante em contextos residenciais, onde os padrões de uso podem variar significativamente ao longo do dia.

Farias *et al.* (2022) investigam uma aplicação específica para automação de ar-condicionado via tecnologias como Arduino e Power Line Communication, demonstrando como a integração de diferentes sistemas pode contribuir para o controle eficiente desses aparelhos. O uso de tais tecnologias permite que os aparelhos de climatização sejam controlados remotamente e ajustados de forma automática conforme a demanda, o que representa um avanço significativo na busca por eficiência energética em residências.

No estudo de Souza, Bonatto e Ribeiro (2022), a integração de fontes renováveis com redes elétricas inteligentes também aparece como uma solução promissora. A automação, aliada a redes inteligentes, pode gerenciar o uso de aparelhos de ar-condicionado de maneira eficiente, integrando a geração de energia renovável e garantindo que os sistemas funcionem de forma otimizada em resposta à oferta de energia disponível. Nesse sentido, a automação atua como um mediador entre a geração de energia renovável e o consumo residencial, promovendo um uso mais eficiente e sustentável.

De Camargos *et al.* (2022) ressaltam que o uso de plataformas de código aberto, como o Arduino, tem facilitado a implementação de sistemas de automação residencial, permitindo a criação de soluções personalizadas para o controle de

equipamentos domésticos, incluindo o ar-condicionado. Esse tipo de automação permite que os sistemas de climatização sejam configurados para operar apenas quando necessário, ajustando-se automaticamente conforme as condições do ambiente, o que reduz o consumo de energia e melhora o conforto dos usuários.

Costa *et al.* (2023) exploram a eficiência energética em projetos de instalações elétricas, destacando que a automação pode ser integrada desde a concepção dos projetos residenciais. A inclusão de infraestrutura para automação nos sistemas de climatização permite que os aparelhos de ar-condicionado sejam conectados a sensores e controladores que ajustam seu funcionamento de forma inteligente, maximizando a eficiência energética e reduzindo custos a longo prazo.

A melhoria em termos de eficiência, conforme discutido por Costa *et al.* (2023), está na integração antecipada de automação durante o planejamento das instalações elétricas residenciais. Com isso, os sistemas de climatização podem ser projetados para funcionar de forma inteligente, utilizando sensores e controladores que ajustam automaticamente o uso do ar-condicionado com base em variáveis ambientais e ocupacionais. Essa abordagem evita desperdícios, permite um controle mais preciso do consumo energético e reduz significativamente os custos operacionais ao longo do tempo, tornando a eficiência energética uma característica central e sustentável dos projetos residenciais desde o início.

No campo da análise de dados e otimização de processos, Klein (2021) discute a aplicação de aprendizado de máquina em cenários de automação, o que também pode ser extrapolado para o controle de ar-condicionado. O uso de algoritmos que aprendem a partir de padrões de uso permite que os sistemas automatizados ajustem o funcionamento dos aparelhos conforme as rotinas dos usuários, proporcionando uma gestão mais eficiente do consumo energético e evitando desperdícios.

Paula e Nakamura (2024) analisam estratégias para a aceitação da automação em residências, ressaltando que a eficiência energética proporcionada por esses sistemas deve ser acompanhada por uma interface de uso simples e intuitiva. Quando aplicada ao controle de ar-condicionado, essa automação deve ser de fácil acesso para os moradores, permitindo ajustes rápidos e personalizações que maximizem o conforto sem comprometer a economia de energia.

O impacto de fatores projetuais no consumo energético, conforme discutido por Oliveira, De Oliveira e De Azevedo (2023), também é relevante no contexto da automação de ar-condicionado. O planejamento arquitetônico, aliado a sistemas automatizados, pode reduzir a demanda por climatização ao utilizar soluções passivas

de controle térmico, como isolamento e ventilação natural, complementadas por um sistema de ar-condicionado que se ajusta de forma eficiente às condições do ambiente.

Langoni (2010) destaca a importância da conscientização no uso de recursos, o que se aplica diretamente ao uso de tecnologias automatizadas para controlar aparelhos de alto consumo, como o ar-condicionado. A automação, quando combinada com práticas de uso racional, pode resultar em uma redução significativa no consumo de energia, ao passo que o monitoramento constante dos padrões de uso proporciona dados relevantes para ajustes futuros.

Vital (2021) demonstrou, em seu estudo de caso, que o uso de sensores de presença para automação de sistemas de climatização pode resultar em economia de energia considerável, pois os aparelhos de ar-condicionado só são ativados quando há pessoas presentes no ambiente. Essa tecnologia, quando aplicada a residências, pode otimizar o uso de energia e reduzir o impacto ambiental associado ao consumo excessivo de eletricidade.

Rodrigues *et al.* (2024) enfatizam que o desenvolvimento de protótipos de baixo custo para automação residencial torna a tecnologia acessível para um público mais amplo, incluindo soluções voltadas ao controle de ar-condicionado. A automação, nesse sentido, não é mais vista como um luxo, mas como uma ferramenta viável para promover a eficiência energética e o conforto em residências de diferentes tamanhos.

Hayashi *et al.* (2020) trazem uma contribuição relevante ao discutir o uso de bases de dados públicas para analisar o consumo de energia em residências. Essas informações são essenciais para entender os padrões de uso de ar-condicionado e ajustar os sistemas automatizados para que operem de forma mais eficiente.

5. Considerações finais

A presente revisão de literatura sobre o uso da domótica para a melhoria da eficiência energética em aparelhos de ar-condicionado residenciais evidencia que a aplicação dessa tecnologia é uma solução viável e promissora para reduzir o consumo de energia elétrica, melhorar o conforto dos usuários e mitigar os impactos ambientais associados ao uso intensivo de eletricidade em residências. O estudo aprofundou-se em analisar como os sistemas automatizados podem controlar de forma inteligente a climatização em ambientes domésticos, ajustando o funcionamento dos aparelhos conforme as condições ambientais, como temperatura externa e presença de pessoas, e o uso eficiente de fontes renováveis de energia.

Foi possível identificar, por meio da análise de diversos estudos, que a aplicação da automação, especialmente quando combinada com tecnologias como sensores de presença e plataformas de código aberto, é uma alternativa viável, pois, esses dispositivos ajustam automaticamente o funcionamento dos aparelhos de ar-condicionado, evitando o desperdício de energia e garantindo um uso mais racional, sem comprometer o conforto dos moradores. A capacidade de adaptação dos sistemas automatizados às condições do ambiente e ao comportamento dos usuários foi um dos pontos destacados ao longo da pesquisa, evidenciando que essas soluções podem proporcionar economias significativas no consumo energético.

Outro ponto de destaque foi a integração de fontes de energia renováveis com os sistemas de automação. A utilização de energia solar, por exemplo, combinada com sistemas inteligentes de controle, mostrou-se eficaz na redução da dependência de fontes não renováveis e na otimização do uso dos recursos energéticos disponíveis. A automação desses sistemas possibilita que os aparelhos de ar-condicionado funcionem de forma integrada com a energia gerada pelos painéis solares, potencializando a eficiência do sistema e promovendo a sustentabilidade ambiental.

A pesquisa também ressaltou que, apesar dos gastos de implementação dos sistemas de automação poder ser um obstáculo para sua adoção em larga escala, os avanços tecnológicos e a popularização de soluções de baixo custo tornaram a automação acessível para um número crescente de pessoas. Esse aspecto é importante, pois a adoção em massa de tecnologias automatizadas pode contribuir de forma significativa para a redução do consumo energético em residências, promovendo um uso mais consciente e sustentável da energia elétrica.

Conclui-se que a domótica tem um papel fundamental na otimização do uso de aparelhos de ar-condicionado em residências, atendendo aos objetivos da pesquisa ao proporcionar economia de energia, conforto e sustentabilidade. A automação, ao integrar tecnologia e sustentabilidade, oferece uma solução eficaz para os desafios energéticos enfrentados no contexto residencial, com potencial de expansão e aplicação em outras áreas da climatização e gestão energética.

Referências Bibliográficas

ARDUINO. *Arduino*. Disponível em: <https://www.arduino.cc/>. Acesso em: mai. 2025.

BECHARA, Gabriel Poncio *et al.* Automação de painéis solares. *Revista Científica Doctum Multidisciplinar*, v. 2, n. 13, 2024.

COSTA, Lucas Jeremias de Lima *et al.* Projeto de instalações elétricas com infraestrutura para eficiência energética e automação. 2023.

DAMATO, Luan Rocha; GHAZZAOUI, Tarik Vieira. Automação residencial e seu impacto na eficiência energética. 2022.

DE CAMARGOS, Ana Flávia Peixoto *et al.* Produto educacional: automação residencial com uso de Arduino e IoT. *Research, Society and Development*, v. 11, n. 6, p. e8311628882-e8311628882, 2022.

DUFRIO. *Tabela de consumo de ar-condicionado: saiba como calcular*. Blog Dufrio, [2020]. Disponível em: <https://blog.dufrio.com.br/ar-condicionado/tabela-consumo-ar-condicionado/>. Acesso em: mai. 2025.

FARIAS, Ricardo Alves *et al.* Aplicação Web para automação de ar-condicionado via integração das tecnologias Arduino e Power Line Communication. *Revista Semiário De Visu*, v. 10, n. 1, 2022.

HAYASHI, Victor *et al.* Boa Energia: Base de Dados Pública de Consumo Residencial com Qualidade de Dados. *Anais de XXXVIII Simpósio Brasileiro de Telecomunicações e Processamento de Sinais; Sociedade Brasileira de Telecomunicações: Rio de Janeiro, Brazil, 2020*.

HERÉDIA, Thais. Vendas de ar-condicionado batem recorde em 2024. *CNN Brasil*, 17 abr. 2024. Blog da Thais Herédia. Disponível em: <https://www.cnnbrasil.com.br/blogs/thais-heredia/economia/negocios/vendas-de-ar-condicionado-batem-recorde-em-2024/>. Acesso em: mai. 2025.

KLEIN, Paulo Henrique. Aplicação de aprendizado de máquina para automatização de soluções no cenário de licenciamento urbanístico. 2021.

LANGONI, Cristina Amélia Fontes. *Uma Visão da Contabilidade no Brasil*. Informativo do CRC – ES, junho 2010.

LEGRAND, A.; PREDIAIS, INFRAESTRUTURAS. *LEGRAND*. Centro, v. 800, n. 11, p. 8008.

LIMA, T. C. S; MIOTO, R. C. T. Procedimentos metodológicos na construção do conhecimento científico: a pesquisa bibliográfica. *Rev. Katál. Florianópolis*, v. 10 n. esp. p. 37-45. 2007.

LORGA, Marina Campos Potenciano. Projeto de edifício corporativo de alto desempenho com ênfase em: automação predial, eficiência energética e hot desking+ ABW. 2021.

OLIVEIRA, Felipe Fernandes de; PIOLLA, Leonardo de Oliveira; SOARES, Pedro Henrique Levada. *Domótica: a automação residencial*. 2020.

OLIVEIRA, Raquel Diniz; DE OLIVEIRA, Fernanda Mourão Dutra; DE AZEVEDO, Rogério Cabral. Influência dos fatores projetuais no consumo elétrico para ar

condicionado: um estudo de caso em uma habitação popular em clima tropical úmido. *E&S Engineering and Science*, v. 12, n. 2, p. 1-22, 2023.

PAULA, Daniel Fernando de; NAKAMURA, William de Oliveira. Casas do amanhã: estratégias para promover a aceitação da tecnologia de casa inteligente. 2024.

PAULA, Leonardo Claudio *et al.* Flowi: uma plataforma para desenvolvimento e gerenciamento de modelos de aprendizado de máquina. 2022.

PEREIRA, Gabriel Gutierrez; MARTINS, Hugo Amorim; SANTOS, Nicole Martins dos. Automatização de reconhecimento de notas fiscais para gastos públicos utilizando OCR e aprendizado de máquina. 2023.

PEREIRA, Samuel Anderson *et al.* Sistema de climatização microcontrolado. In: Congresso de Tecnologia-Fatec Mococa. 2022.

REPSOLD, Nikolas Garcia. Eficiência energética de equipamentos de aquecimento de água para banho e equipamentos de ar condicionado: estudo de caso em uma casa de veraneio. 2023.

RODRIGUES, Lincoln Moura *et al.* AUTOMAÇÃO RESIDENCIAL: protótipo de baixo custo. 2024.

SOUZA, Antonio Carlos Zambroni; BONATTO, Benedito Donizeti; RIBEIRO, Paulo Fernando. Integração de renováveis e redes elétricas inteligentes. *Interciencia*, 2022.

VITAL, Márcia Maria Borges de Brito. Análise da viabilidade de automação em sistemas de climatização a partir do uso de sensores de presença. Estudo de caso: Setor de aulas IV da UFRN. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Rio Grande do Norte.