

PRÊMIO GLP INOVAÇÃO E TECNOLOGIA

Título

RECUPERAÇÃO DE CALOR EM GERADORES DE GLP: APLICAÇÕES SUSTENTÁVEIS EM SISTEMAS DE AQUECIMENTO DE ÁGUA

Categoria

APLICAÇÕES DE GLP

SINOPSE

O aquecimento de água é essencial em residências e estabelecimentos comerciais, especialmente no setor hoteleiro, onde a demanda por sistemas eficientes e econômicos é alta. Sistemas convencionais, como aquecedores elétricos ou a gás, enfrentam desafios de eficiência energética e custos elevados. Nesse cenário, os geradores de Gás Liquefeito de Petróleo (GLP) com recuperação de calor, como os sistemas de aquecimento por chiller de absorção, se destacam como soluções sustentáveis e eficientes. Este estudo teve como objetivo realizar uma análise comparativa dos diferentes sistemas de aquecimento de água por meio de técnicas de engenharia econômica. Foram analisados dados específicos, como o custo do kWh, sua manutenção e o índice IGP-M em um período médio de 36 meses (3 anos), a fim de verificar a viabilidade de implementação de sistemas de absorção em comparação com os sistemas convencionais. A análise econômica, além de comparar os custos operacionais, destacou o impacto da adoção de tecnologias mais sustentáveis, focadas nas demandas de pequeno porte no setor hoteleiro. A pesquisa busca demonstrar que a adoção de sistemas híbridos, que integram recuperação de calor, pode não apenas reduzir os custos operacionais, mas também promover a sustentabilidade nas operações do setor.

Palavras-chave: Aquecimento de água, Eficiência Energética, Gás Liquefeito de Petróleo, Custos operacionais.

SUMÁRIO

1.	BREVE HISTÓRICO DA UNIVERSIDADE E DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO.....	3
1.1.	Participantes do Case	4
2.	INTRODUÇÃO.....	5
3.	CONCEITOS BÁSICOS	6
4.	VIABILIDADE USO DO SISTEMA DE AQUECIMENTO CHILLER	8
4.1.	Possibilidades do uso do GLP	9
4.2.	Viabilidade técnica de equipamentos híbridos ou alimentados a Gás Liquefeito de Petróleo	12
5.	METODOLOGIA.....	15
6.	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	18

1. BREVE HISTÓRICO DA UNIVERSIDADE E DO NÚCLEO DE PESQUISA EM ENERGIA E MATERIAIS

A Universidade de Fortaleza (Unifor) nasceu do sonho do industrial Edson Queiroz (1925-1982), um visionário que reconheceu a necessidade de um novo complexo educacional para impulsionar o desenvolvimento do Ceará e do Nordeste.

Fundada oficialmente em março de 1973, a Unifor se propôs a ser um espaço para a construção de futuros, promovendo o conhecimento e a excelência ao longo de suas cinco décadas de história. Com um campus que se expandiu para 490 mil metros quadrados, a universidade formou mais de 100 mil profissionais, espalhando sua influência pelo Brasil e pelo mundo.

Ao longo dos anos, a Unifor passou por uma revolução educacional, transformando o ensino superior de uma mera transmissão de conhecimento em uma troca dinâmica de vivências. A universidade adaptou-se às exigências do mercado, investindo em pesquisa e buscando uma simbiose entre teoria e prática. Em resposta às demandas do Ceará dos anos 1970, Edson Queiroz decidiu incluir o curso de Engenharia Mecânica entre as primeiras graduações da instituição, reconhecendo a alta empregabilidade da área na época.

Desde sua fundação, o curso de Engenharia Mecânica evoluiu, incorporando novas tecnologias e atualizando sua matriz curricular para atender às necessidades da indústria 4.0. Com laboratórios bem equipados e um corpo docente qualificado, a Unifor forma engenheiros versáteis, aptos a desenvolver, projetar e supervisionar a produção de máquinas, sistemas de aquecimento e refrigeração.

O Núcleo de Pesquisa em Energia e Materiais (NUPEM) da Unifor desempenha um papel fundamental no apoio a empresas por meio da melhoria de sistemas térmicos. Com uma área dedicada a testes e desenvolvimento, o NUPEM analisa máquinas de refrigeração, geração, conversão e combustão. Além disso, o núcleo investe em pesquisas focadas em setores energéticos, como derivados de petróleo, biocombustíveis, energia solar e hidrogênio verde.

Assim, a Universidade de Fortaleza se consolida como referência no desenvolvimento educacional e na pesquisa aplicada, contribuindo significativamente para a formação de profissionais capacitados e para o avanço tecnológico na área de energia e materiais.

1.1. Participantes do Case

João Batista Furlan Duarte, Doutor em Física pela Universidade Federal do Ceará (1998), Coordenador do Núcleo de Energia e Materiais (NUPEM), focando em inovações e eficiência energética utilizando Gás Liquefeito de Petróleo (GLP).

E-mail: furlan@unifor.br - Telefone: (85) 99925-093

Felipe Pinheiro Falcão Dias, Professor Pesquisador. Mestre em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal do Ceará (2017), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, atuando na área de pesquisa de Energia e Materiais (NUPEM), focando em inovações e eficiência energética utilizando Gás Liquefeito de Petróleo (GLP).

E-mail: felipe.dias@unifor.br - Telefone: (85) 99921-0919

Rhillary de Lima Rodrigues, Graduanda em Engenharia Mecânica pela Universidade de Fortaleza (2022), Bolsista da Rede de Pesquisa e Inovação em Energias Renováveis do Ceará (REDE VERDES), atuando na área de pesquisa de Hidrogênio Verde. Discente no Núcleo de Pesquisa em Energia e Materiais (NUPEM), focando em inovações e eficiência energética utilizando Gás Liquefeito de Petróleo (GLP).

E-mail: rhillarylima@edu.unifor.br - Telefone: (85) 98680-6468

Clara Cabral dos Anjos Pontes, Graduanda em Engenharia Mecânica pela Universidade de Fortaleza (2024), Clara Cabral dos Anjos Pontes é voluntária no Núcleo de Pesquisa em Energia e Materiais (NUPEM), atuando na área de inovações e eficiência energética utilizando Gás Liquefeito de Petróleo (GLP).

E-mail: claracpontes@gmail.com - Telefone: (85) 98118-8281

Murilo de Sousa Alves Júnior, Graduando em Engenharia Mecânica pela Universidade de Fortaleza (2024), Estagiário no Núcleo de Pesquisa em Energia e Materiais (NUPEM), atuando na área de inovações e eficiência energética utilizando Gás Liquefeito de Petróleo (GLP).

E-mail: muriloalves642@edu.unifor.br - Telefone: (85) 98543-0393

Claúdio Matheus Silva Lobato Ferreira, Graduando em Engenharia Mecânica pela Universidade de Fortaleza (2024), Estagiário no Núcleo de Pesquisa em Energia e Materiais (NUPEM), atuando na área de inovações e eficiência energética utilizando Gás Liquefeito de Petróleo (GLP).

E-mail: claudio.matheus@gmail.com - Telefone: (85) 98617-6036

1. INTRODUÇÃO

A crescente demanda por soluções energéticas sustentáveis e eficientes é uma realidade emergente no contexto global, especialmente em países em desenvolvimento, como o Brasil. A necessidade de diversificar a matriz energética, reduzir a dependência de combustíveis fósseis e minimizar os impactos ambientais da geração de energia tem impulsionado a pesquisa e a adoção de tecnologias inovadoras (Lemos; Santos, 2019; Mendes; Silva, 2020). A eficiência energética, entendida como a capacidade de utilizar menos energia para fornecer os mesmos serviços energéticos, como iluminação e aquecimento, é um fator central nesse cenário (US National Policy Development Group, 2001).

No Brasil, de acordo com o Balanço Energético Nacional de 2023, 26,4% do consumo de energia elétrica ocorre no ambiente residencial, o que torna as ações voltadas para a eficiência energética essenciais para reduzir o consumo e os recursos naturais empregados na geração de energia (Empresa de Pesquisa Energética, 2023).

Sistemas convencionais de aquecimento, como os elétricos e a gás, frequentemente enfrentam desafios de eficiência e altos custos operacionais (Mendes; Silva, 2020). Nesse contexto, o uso de geradores de Gás Liquefeito de Petróleo (GLP) com recuperação de calor, como o sistema de aquecimento por chiller de absorção, surge como uma alternativa sustentável e eficiente, especialmente em estabelecimentos de pequeno porte, como hotéis e pousadas. Este estudo, por meio de uma análise de engenharia econômica, busca comparar a viabilidade de sistemas de aquecimento de água convencionais e de chiller de absorção, utilizando dados como o custo atual do kWh, reajuste anual, e custos de manutenção de ambos os sistemas.

Ao avaliar a viabilidade econômica e técnica de tais sistemas, espera-se contribuir para a redução dos custos operacionais no setor hoteleiro e promover uma maior sustentabilidade energética, auxiliando na mitigação dos impactos ambientais e na otimização do uso de recursos.

2. CONCEITOS BÁSICOS

O Gás Liquefeito de Petróleo (GLP) é uma mistura de hidrocarbonetos, principalmente propano e butano, utilizado como fonte de energia em diversos setores. Armazenado sob pressão em estado líquido, ele se transforma em gás ao ser liberado, sendo amplamente utilizado para aquecimento, cozinhar e em sistemas de aquecimento de água. A sua versatilidade e eficiência tornam o GLP uma escolha popular em ambientes residenciais e comerciais, especialmente em locais onde o fornecimento de gás natural não é viável (Souza et al., 2020).

Os sistemas de aquecimento de água convencionais, como aquecedores elétricos e a gás, operam convertendo energia elétrica ou térmica em calor para aquecer a água. Um aquecedor elétrico utiliza resistência elétrica, enquanto um aquecedor a gás queima GLP ou gás natural. Esses sistemas enfrentam desafios de eficiência, perdendo energia no processo de aquecimento (Diniz, 2018).

A eficiência energética refere-se à capacidade de um sistema de utilizar a menor quantidade de energia possível, enquanto a eficácia diz respeito à capacidade de cumprir seu propósito de forma bem-sucedida. Um sistema pode ser eficiente, mas não necessariamente eficaz, se não fornecer a quantidade de calor necessária (Salazar, 2012).

A principal diferença entre os sistemas de aquecimento convencionais e os sistemas de chiller de absorção está na forma como utilizam e convertem energia. Sistemas convencionais, como os aquecedores elétricos e a gás, dependem diretamente da conversão de energia elétrica ou da combustão de GLP para gerar calor. Em contrapartida, os chillers de absorção aproveitam calor residual ou fontes de energia externas, como o GLP, para gerar refrigeração e aquecimento simultaneamente, através de um ciclo de absorção térmica. Esse processo é mais eficiente energeticamente e contribui para uma redução significativa nos custos operacionais ao longo do tempo (Costa et al., 2021).

A engenharia econômica desempenha um papel crucial na avaliação da viabilidade de um sistema de chiller de absorção em comparação com um sistema convencional. Ferramentas como o cálculo de valor presente líquido (VPL) e taxa interna de retorno (TIR) podem ser usadas para estimar em quanto tempo, geralmente em 3 anos, o investimento inicial em um chiller de absorção se paga. Isso ocorre por

meio da redução dos custos com eletricidade e manutenção, gerando lucro para o negócio a médio prazo (Salazar, 2012).

No setor hoteleiro, especialmente em pousadas e chalés, a introdução de sistemas de chiller de absorção é uma inovação significativa. As tecnologias Robur, projetadas para uso horizontal, são particularmente adequadas para pequenos espaços, proporcionando aquecimento eficiente e econômico. Essas tecnologias permitem a redução dos custos com eletricidade e manutenção, ao mesmo tempo em que promovem a sustentabilidade ambiental (Costa et al., 2021).

O aquecimento de água é fundamental para o setor hoteleiro, especialmente para chuveiros e piscinas aquecidas. Sistemas de aquecimento eficientes garantem conforto e reduzem custos operacionais. A utilização de tecnologias como os sistemas Robur representa uma solução sustentável e economicamente viável (Costa et al., 2021).

3. VIABILIDADE DO USO DO SISTEMA DE AQUECIMENTO CHILLER POR ABSORÇÃO POR QUEIMA DIRETA

Para analisar alternativas ao sistema de aquecimento por chiller de absorção em comparação aos sistemas convencionais, tanto o aspecto técnico quanto o financeiro precisam ser considerados. Do ponto de vista técnico, o sistema deve garantir o fornecimento contínuo de energia térmica para o aquecimento de água em pequenas unidades, como em pousadas, mesmo quando há variações de demanda ou disponibilidade de recursos energéticos. O sistema de chiller de absorção, alimentado por Gás Liquefeito de Petróleo (GLP), pode ser utilizado como complemento aos sistemas tradicionais, oferecendo maior eficiência energética e sustentabilidade.

Do ponto de vista financeiro, foi realizada uma análise detalhada utilizando 143 variações de cenários, considerando fatores como o custo do kWh atual, o reajuste anual de kWh em porcentagem, o valor de compra e instalação do sistema de aquecimento convencional e sua manutenção básica, além disso, o aquecedor utilizado e seus custos, em comparação ao sistema de aquecimento chiller de absorção e também sua manutenção, e o índice IGP médio anual. Esses dados foram calculados e modelados em planilhas no Excel, baseados em valores de mercado e condições reais que poderiam ser observadas no setor.

Tabela 1 - 5 variações utilizadas para comparação Sistema Convencional vs. Sistema Chiller de Absorção

Variáveis:	Dados iniciais				
Custo do kWh atual	R\$ 0,20	R\$ 1,00	R\$ 0,20	R\$ 1,00	R\$ 0,20
Reajuste anual (kWh)	10%	10%	25%	25%	10%
Valor de um chiller convencional	R\$ 80.000,00	R\$ 80.000,00	R\$ 80.000,00	R\$ 80.000,00	R\$ 120.000,00
Manutenção básica: Chiller convencional	R\$ 500,00	R\$ 500,00	R\$ 500,00	R\$ 500,00	R\$ 500,00
Aquecedor: convencional	R\$ 2.000,00	R\$ 2.000,00	R\$ 2.000,00	R\$ 2.000,00	R\$ 2.000,00
Manutenção: Aquecedor convencional	R\$ 150,00	R\$ 150,00	R\$ 150,00	R\$ 150,00	R\$ 150,00
Chiller de Absorção	R\$ 160.000,00	R\$ 160.000,00	R\$ 160.000,00	R\$ 160.000,00	R\$ 160.000,00
Manutenção básica: chiller de absorção	R\$ 500,00	R\$ 3.000,00	R\$ 500,00	R\$ 3.000,00	R\$ 3.000,00
IGPM: Índice geral de preço de mercado anual	5%	5%	30%	30%	30%
Resultados:					
IGP-M (mensal médio)	0,41%	0,41%	0,41%	2,21%	2,21%
TIR (a.m.)	1,02%	1,02%	5,71%	2,79%	7,55%
TIR (a.a.)	12,92%	12,92%	94,61%	39,15%	139,43%

ECONOMIA ACUMULADA	R\$	63.973,35	R\$	R\$	R\$	R\$
ECONOMIA MENSAL MÉDIA	R\$	1.066,22	R\$	R\$	R\$	R\$
PAYBACK SIMPLES		73,2 meses	73,2 meses	8,4 meses	10,5 meses	2,0 meses

Fonte: Elaborada pelas autoras (2024).

Os resultados indicam que o uso de sistemas de chiller de absorção, como o Chiller Robur, se mostrou mais eficiente e lucrativo do que os sistemas convencionais de aquecimento a longo prazo. Dos 143 cenários avaliados, 125 foram aprovados em termos de tempo de retorno sobre o investimento, lucratividade e porcentagem ideal de retorno. Esses cenários indicaram que o uso do chiller de absorção pode reduzir os custos operacionais e melhorar a eficiência do sistema, especialmente em operações de pequeno e médio porte.

Apesar dos benefícios observados, também foram identificadas algumas variações de risco. Em determinados cenários, o valor inicial de investimento no sistema de chiller de absorção foi considerado elevado. Além disso, a viabilidade econômica pode ser impactada por flutuações no preço da energia ou custos de manutenção ao longo do tempo. No entanto, mesmo com esses riscos, a análise geral demonstrou que, em um período de 3 anos, a adoção desse sistema pode gerar retornos financeiros significativos, além de promover um modelo mais sustentável e eficiente de uso de energia para aquecimento de água.

Essa análise financeira, baseada em cálculos de engenharia econômica, oferece uma avaliação robusta sobre a viabilidade de adoção de sistemas de chiller de absorção em relação aos métodos convencionais, comprovando que, em condições controladas, o sistema de chiller de absorção por queima direta se mostra uma solução promissora para o setor.

a. Possibilidades do uso do GLP

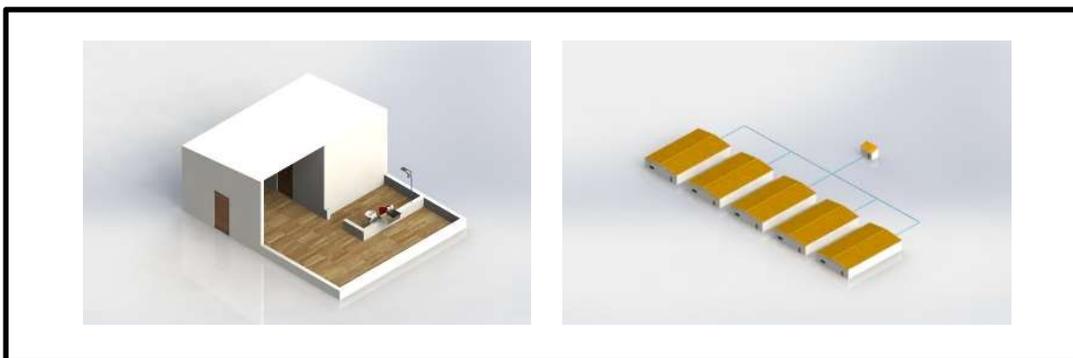
O gás liquefeito de petróleo (GLP), frequentemente associado apenas à cocção de alimentos e conhecido popularmente como “gás de cozinha”, possui uma gama diversificada de aplicações que vai muito além dessa função básica. De acordo com a cartilha do SINDIGAS (Sindicato Nacional dos Distribuidores de Gás Liquefeito de Petróleo), o GLP pode ser utilizado para o aquecimento de água, climatização de ambientes, aquecimento de lareiras, em grelhadores, geladeiras, ar-condicionado, lavadoras e secadoras de roupas, e até mesmo em geradores. Vale ressaltar que, por

razões legais, o uso do GLP para aquecer piscinas, saunas, motores e caldeiras é proibido, uma medida que surgiu durante a Guerra do Golfo, motivada pelo temor de escassez de petróleo.

Neste contexto, optamos por utilizar o sistema de absorção por queima direta que incorpora bombas de calor reversíveis por absorção de gás, em uma pousada de pequeno porte com cinco quartos de casais. A escolha se justifica pela sua eficiência energética e pelo seu potencial de redução de custos operacionais, proporcionando um ambiente mais atrativo para o empresário de hortelaria. Com essa solução, a pousada pode otimizar o uso do GLP, garantindo aquecimento de água e climatização de ambientes de maneira sustentável e econômica. Assim, contribuímos para a melhoria do uso energético em regiões decentralizadas através de solucionar problemas de infraestrutura elétrica através de um enriquecimento de demanda e fratura para distribuidoras de GLP, pois seria capaz de suprir a demanda em curto ou médio prazo.

A Figura 1 ilustra os diferentes campos de aplicação do GLP e de outros gases combustíveis similares, destacando as diversas maneiras pelas quais esses recursos podem ser integrados nas operações de uma pousada.

Figura 1 - Sistema de utilização de aquecimento por chiller de absorção em pousadas



Fonte: Elaborado pelas autoras (2024)

O gás liquefeito de petróleo (GLP) apresenta uma ampla gama de aplicações, que podem ser agrupadas em duas categorias principais.

A primeira é o uso direto, onde o gás é queimado diretamente para atender às necessidades do usuário final. Exemplos disso incluem o preparo de alimentos, o aquecimento de água e o controle da temperatura em ambientes internos e externos.

Essas aplicações diretas tornam o GLP uma escolha popular e acessível para

residências e estabelecimentos comerciais. A segunda categoria é o uso indireto, onde o GLP é convertido em outra forma de energia para satisfazer as demandas dos usuários.

Um exemplo notável dessa aplicação é o sistema de chiller de absorção, que utiliza GLP como fonte de energia para gerar resfriamento. Nesse sistema, o gás é queimado para aquecer uma solução de absorvedor e refrigerante, permitindo a produção de água gelada, que pode ser utilizada na climatização de ambientes. Essa abordagem é especialmente eficaz em ambientes comerciais, como pousadas, onde a eficiência energética e a sustentabilidade são prioridades.

Assim, a versatilidade do GLP, tanto em usos diretos quanto indiretos, demonstra seu valor na operação de estabelecimentos, oferecendo soluções eficientes e sustentáveis para diversas necessidades.

No setor hoteleiro de Fortaleza, a eficiência energética é uma questão crítica, uma vez que os altos custos de energia elétrica representam um dos principais gastos operacionais, ficando apenas atrás das despesas com pessoal. Segundo a Associação Brasileira da Indústria de Hotéis (ABIH), cerca de 6% dos custos de um hotel são relacionados ao consumo de energia elétrica. Essa pressão financeira leva os hotéis a buscar medidas de eficiência energética que podem resultar em uma redução de até 60% no consumo de energia e água. A implementação de projetos de eficiência energética pode reduzir o consumo em até 60%, abordando áreas como climatização e aquecimento de água (Witzler, 2024).

Estudos apontam que a adoção de sistemas de aquecimento por energia solar e outras tecnologias sustentáveis está crescendo, com uma economia potencial de até 80% em energia (Oliveira, 2024). Para pousadas, a média de consumo energético é elevada, refletindo a necessidade de soluções como o sistema de aquecimento em chiller de absorção por queima direta, que pode otimizar o uso de GLP e melhorar a eficiência operacional.

b. Viabilidade técnica de equipamentos híbridos ou alimentados a GásLiquefeito de Petróleo

Os equipamentos necessários para proporcionar conforto e atender às necessidades básicas em áreas remotas podem ser reestruturados focando no

sistema de absorção de calor para aquecimento. O uso dessa tecnologia pode resultar em uma significativa diminuição do consumo de energia em comparação aos métodos convencionais.

4.2.1. Aquecimento de Água e Climatização por Absorção

Os sistemas de aquecimento e climatização baseados em absorção utilizam GLP como fonte de energia, oferecendo uma alternativa mais econômica e sustentável ao consumo elétrico tradicional. Equipamentos como os chillers de absorção Robur utilizam uma mistura de amônia e água para realizar a troca de calor de maneira eficiente, sendo uma solução ideal para pequenos hotéis e pousadas em regiões sem acesso confiável à eletricidade. O calor fornecido pelo GLP é aproveitado para promover a climatização e aquecer a água, reduzindo a dependência do sistema elétrico durante os picos de consumo.

4.2.2. Redução do Consumo de Energia com Sistemas de Absorção

Os chillers de absorção oferecem uma economia significativa em relação aos aparelhos de ar-condicionado e aquecedores elétricos convencionais. Enquanto os sistemas elétricos exigem grande capacidade de rede para funcionar em horários de pico, os chillers a gás são capazes de distribuir a demanda de energia de forma mais uniforme, minimizando sobrecargas e custos elevados com eletricidade. Isso é especialmente vantajoso para pousadas de pequeno porte, como as analisadas neste estudo, onde a redução de custos operacionais é crucial para viabilizar o negócio.

Portanto, a implementação de sistemas de absorção de calor com GLP representa uma solução prática e econômica para o aquecimento e climatização em áreas remotas, ao mesmo tempo em que diminui os custos energéticos em comparação com métodos convencionais. A próxima seção irá apresentar um estudo de caso detalhado, analisando a viabilidade técnica e os cálculos de consumo para um cenário específico de uma pousada.

4. ESTUDO DE CASO: VIABILIDADE TÉCNICA DO SISTEMA CHILLER POR ABSORÇÃO

A Tabela 2 apresenta o consumo médio diário das famílias em uma pousada

de 5 quartos de casal, que será utilizado como base para projetar um sistema de aquecimento eficiente com chiller de absorção. O foco é a análise comparativa entre um sistema convencional de aquecimento elétrico e o uso de um sistema de chiller por absorção movido a gás.

Tabela 2 - Consumo de uso dos aparelhos utilizados em uma pousada

Aparelhos elétricos	Qtd.	Período de uso	Potência (W)	Consumo médio diário (kWh)
Chuveiro elétrico	5	06:30-06:40; 18:00-18:20	5000	2,5
Pia com aquecimento elétrico	5	07:00-07:15; 19:00-19:15	6000	3
Hidromassagem aquecida	5	20:00-20:30	8200	4,1
TOTAL				9,6

Fonte: Elaborada pelas autoras (2024).

A análise do consumo de energia para aquecimento de água em uma pousada revela que o uso de chiller por absorção se destaca em comparação ao sistema convencional. Com um consumo total diário de 9,6 kWh para os aparelhos utilizados — incluindo chuveiros elétricos (2,5 kWh), pias com aquecimento elétrico (3 kWh) e hidromassagens aquecidas (4,1 kWh) — é evidente que a demanda energética é significativa.

A eficiência do sistema de aquecimento pode ser melhorada com a instalação de chuveiros a gás para uso noturno, que pode reduzir a dependência de aparelhos elétricos. Ao implementar um chuveiro a gás, o consumo elétrico da pousada poderia ser otimizado, considerando a eficiência do aquecimento direto da água.

Por outro lado, o chiller por absorção, que aquece a água para as pias e hidromassagens, oferece uma alternativa mais sustentável e econômica. Esse sistema pode utilizar energia térmica de forma eficiente, reduzindo a necessidade de geradores a gás, especialmente em locais onde a energia solar está indisponível durante o dia. Além disso, o uso de um chiller por absorção pode resultar em custos operacionais mais baixos a longo prazo, minimizando a dependência de combustíveis fósseis e promovendo uma abordagem mais sustentável para o aquecimento de água. A

integração desse sistema não só maximiza a eficiência energética, mas também contribui para a redução do impacto ambiental, fazendo do chiller uma opção viável e econômica para o aquecimento eficiente em pousadas.

Assim, a escolha de um sistema de aquecimento que utilize chiller por absorção, em vez de depender exclusivamente de aquecedores elétricos, representa um passo significativo rumo a práticas sustentáveis e à otimização dos custos operacionais nas operações da pousada.

5. METODOLOGIA

A metodologia adotada neste estudo envolve uma análise abrangente de várias variáveis que influenciam os custos e a eficiência operacional de sistemas de aquecimento, especificamente comparando um chiller convencional com um chiller de absorção por queima direta. Essa abordagem sistemática considera não apenas os custos diretos de aquisição e instalação, mas também os custos operacionais e de manutenção ao longo do tempo, que são cruciais para a avaliação da viabilidade econômica de cada sistema.

O custo do quilowatt-hora atual é essencial para calcular os custos operacionais do sistema, sendo este valor referente ao preço vigente da energia elétrica na região de interesse. O reajuste anual no custo da energia elétrica também é considerado nesta análise, onde a inflação e os ajustes anuais são levados em conta. Utiliza-se o IGPM, que oferece uma visão das flutuações de preços no mercado energético, sendo esta informação vital para prever os custos futuros.

Em relação ao valor de um chiller convencional, este se refere ao custo total de aquisição e instalação do equipamento, que opera utilizando energia elétrica. Os custos associados à manutenção básica do chiller convencional são analisados, incluindo revisões e reparos, que garantem a eficiência do sistema ao longo de sua vida útil. A análise também abrange os custos do aquecedor a gás que opera em conjunto com o chiller, assim como os custos de manutenção necessários.

O estudo considera o custo de aquisição e instalação do chiller de absorção, que utiliza calor proveniente da queima de gás para gerar frio, representando uma alternativa mais econômica em determinados contextos de consumo energético. A manutenção básica do chiller de absorção também é contemplada, incluindo os custos de manutenção que podem diferir dos custos do chiller convencional.

Os dados referentes ao IGPM e às previsões de inflação são utilizados para estimar as variações nos custos de eletricidade e gás, assim como nos investimentos iniciais e em manutenção. O OPEX, que é o custo operacional total, é calculado considerando três componentes principais: o custo de eletricidade, que reflete o consumo de energia elétrica do chiller convencional, o custo de gás, que é essencial para o funcionamento do chiller de absorção e do aquecedor a gás, e o custo de manutenção, que inclui as despesas associadas à manutenção de ambos os sistemas.

A análise detalhada dessas variáveis permite uma comparação robusta entre os dois sistemas de aquecimento. Compreender os custos operacionais e de manutenção,

juntamente com os custos de instalação, é fundamental para determinar a viabilidade econômica de cada opção. Essa metodologia não apenas fundamenta a análise comparativa, mas também fornece uma base sólida para a tomada de decisão sobre qual sistema implementar, considerando tanto a eficiência quanto o impacto financeiro a longo prazo.

Tabela 3 - Alguns exemplos de resultados dado pela análise

Resultados:					
IGP-M (mensal médio)	0,41%	0,41%	0,41%	2,21%	2,21%
TIR (a.m.)	1,02%	1,02%	5,71%	2,79%	7,55%
TIR (a.a.)	12,92%	12,92%	94,61%	39,15%	139,43%
ECONOMIA ACUMULADA	R\$ 63.973,35	R\$ 63.973,35	R\$ 556.746,58	R\$ 444.948,03	R\$ 2.318.008,70
ECONOMIA MENSAL MÉDIA	R\$ 1.066,22	R\$ 1.066,22	R\$ 9.279,11	R\$ 7.415,80	R\$ 38.633,48
PAYBACK SIMPLES	73,2 meses	73,2 meses	8,4 meses	10,5 meses	2,0 meses

Fonte: Elaborado pelas autoras (2024).

Com base nas variáveis analisadas, o estudo revela que o chiller de absorção apresenta uma eficiência de 87,5% em relação ao sistema combinado de chiller convencional e aquecedor a gás. Essa eficiência decorre da capacidade do chiller de absorção de operar com uma fonte de calor, que pode ser mais econômica em situações de alta demanda de energia. Além disso, o uso de chiller de absorção pode resultar em menores custos operacionais em longo prazo, apesar do investimento inicial mais elevado.

Em contraste, as variáveis que não favoreceram o uso do chiller de absorção representam cerca de 12%, especialmente em cenários de baixo consumo de energia. A análise indica que, em contextos onde o consumo de energia é reduzido, a viabilidade econômica do chiller de absorção pode ser comprometida, especialmente em um país como o Brasil, onde a matriz energética é predominantemente hídrica. Essa característica gera um custo de energia relativamente baixo, o que pode tornar o uso de tecnologias que exigem um investimento maior, como o chiller de absorção, menos atrativo.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através deste case foi possível ter um material que indica que a implementação de um sistema híbrido utilizando chiller por absorção de queima direta representa uma solução viável e promissora para o setor hoteleiro, especialmente no contexto brasileiro. O case analisado permite observar a importância de alternativas energéticas que favoreçam a eficiência e a sustentabilidade, ao mesmo tempo em que oferecem benefícios econômicos significativos.

Um dos principais desafios enfrentados é o investimento inicial necessário, que, em um país em desenvolvimento, pode ser um fator limitante para a adoção de tecnologias mais eficientes. No entanto, a análise demonstra que, apesar do custo elevado do chiller de absorção, os ganhos em eficiência energética e a redução nos custos operacionais a longo prazo justificam o investimento. Além disso, a utilização do gás LP como fonte complementar pode minimizar a dependência de sistemas de armazenamento de energia, tornando a operação mais prática e econômica.

É crucial que futuros estudos considerem um cenário mais abrangente, envolvendo a participação das comunidades e analisando as necessidades reais das populações que não têm acesso adequado à energia. Isso permitirá um planejamento mais preciso da quantidade de energia a ser gerada e a adaptação das soluções propostas às condições locais. Testes práticos e estudos de caso adicionais são fundamentais para validar os resultados e garantir a aplicabilidade do modelo.

Além disso, a busca por alternativas que possam reduzir os custos operacionais do sistema híbrido, como melhorias na cadeia de suprimento de gás, será uma área importante para investigações futuras. Em suma, o chiller por absorção de queima direta se destaca como um investimento que não apenas atende à demanda por eficiência energética, mas também oferece benefícios econômicos relevantes para empresas do setor hoteleiro em busca de soluções sustentáveis e competitivas.

REFERÊNCIAS

Balanco Energético Nacional 2023. Brasília.

COSTA, AP; SILVA, JR Eficiência energética em sistemas de climatização: um estudo de caso com chillers de absorção. Em: **São Paulo: ABCM** . São Paulo. Anais: [sn]. pág. 150–157.

COSTA, M. F. Avaliação de Sistemas de Aquecimento de Água em Ambientes de Hospedagem. **Revista de Energias Renováveis**, p. 75–84, 2021.

DINIZ, J. Eficiência Energética no Brasil: Impactos e Oportunidades. **Editores Energia**, 2018.

HOMEM, Heloísa. Eficiência energética no setor hoteleiro. Revista Hotéis. Disponível em: <https://www.revistahoteis.com.br/eficiencia-energetica-no-setor-hoteleiro/>. Acesso em: 27 set. 2024.

LEMOS, A.; SANTOS, C. **Soluções Energéticas Sustentáveis no Brasil**. Brasília: Editora UFG, 2019., 2019a.

LEMOS, C. G.; SANTOS, A. C. Eficiência energética no contexto de países em desenvolvimento. **Revista Brasileira de Energia**, v. 12, n. 4, p. 123–145, 2019b.

MENDES, F. C.; SILVA, R. M. Análise de eficiência em sistemas de aquecimento de água convencionais e modernos. **Journal of Renewable Energy**, v. 22, p. 235–256, 2020a.

MENDES, R.; SILVA, M. **Aquecimento de Água e Eficiência Energética em Hotéis: Uma Análise Comparativa**.

NATIONAL ENERGY POLICY. **US NATIONAL POLICY DEVELOPMENT GROUP. National Energy Policy. Washington, D.C.: U.S. Government Printing Office, 2001.** Washington, D.C.: U.S. : Government Printing Office, 2001.

OLIVEIRA, Luísa. Eficiência energética no setor hoteleiro. Revista Hotéis. Disponível em: <https://www.revistahoteis.com.br/eficiencia-energetica-no-setor-hoteleiro/>. Acesso em: 27 set. 2024.

PIRES, H. A.; DE OLIVEIRA, F. L. Aquecimento de água em ambientes comerciais e residenciais: Análise de custo-benefício. **Engenharia Térmica**, p. 75–86, 2021.

SALAZAR, D. **Inovações Tecnológicas e Eficiência Energética**. Curitiba: Editora UFPR, 2012.

SOUZA, A. L. Utilização do Gás Liquefeito de Petróleo (GLP) na geração de energia térmica. **Revista Brasileira de Energia**, n. 2, p. 45–60, 2020.

WITZLER. Reduza sua conta de luz no mercado livre de energia. Disponível em: <https://www.witzler.com.br/hotelaria-reduza-sua-conta-de-luz-no-mercado-livre-de-energia/>. Acesso em: 27 set. 2024.