



UNIVERSIDADE DO SUL DE SANTA CATARINA

LUIS FERNANDO FERREIRA VEDDY

**EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM DATACENTER:
REDUÇÃO NO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA COM UTILIZAÇÃO DO
FREE COOLING**

Palhoça

2022

LUIS FERNANDO FERREIRA VEDDY

**EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM DATACENTER:
REDUÇÃO NO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA COM UTILIZAÇÃO DO
FREE COOLING**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Curso de Engenharia Elétrica da
Universidade do Sul de Santa Catarina como
requisito parcial à obtenção do título de
Engenheiro Eletricista.

Orientadora: Prof^ª. Francielli Scarpini Barbosa Cordeiro, Ma. Eng.

Palhoça

2022

LUIS FERNANDO FERREIRA VEDDY

**EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM DATACENTER:
REDUÇÃO NO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA COM UTILIZAÇÃO DO
FREE COOLING**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Elétrica da Universidade do Sul de Santa Catarina como requisito parcial à obtenção do título de Engenheiro Eletricista.

Palhoça, 29 de novembro de 2022.

Prof. e orientadora Francielli Scarpini Barbosa Cordeiro, Ma. Eng
Universidade do Sul de Santa Catarina

Prof. Bruno William Wisintainer, Ms. Eng
Universidade do Sul de Santa Catarina

Gillie Pivetta da Igreja, Eng.

Dedico este trabalho a minha amada esposa Gabriela, minha querida mãe e demais familiares por serem minha base e inspiração diária.

AGRADECIMENTOS

A minha querida orientadora, professora Francielli Scarpini Barbosa Cordeiro pela dedicação e todo suporte que me deu neste trabalho. A meus professores que foram meus mentores de conhecimento ao longo da graduação. Ao colega e amigo Eng. Gillie Pivetta que facilitou o acesso a infraestrutura e equipe na qual é gestor.

“O ignorante afirma, o sábio dúvida, o sensato reflete.” (ARISTÓTELES).

RESUMO

O consumo energético em *Datacenters* é muito relevante em seu custo operacional, nestes ambientes o uso da refrigeração é essencial devido às características e alto valor dos equipamentos de telecomunicações que operam nele. Este trabalho se propõe a realizar um estudo de caso aplicando o uso de ventilação externa, também conhecida como *free cooling*, nos momentos em que a temperatura externa atende os requisitos para manter uma temperatura aceitável no interior do *Datacenter*. No desenvolvimento deste trabalho, realizado na cidade de São Bonifácio, localizado no estado de Santa Catarina, o sistema de *free cooling* demonstrou bons resultados reduzindo o tempo de operação dos compressores em diferentes períodos do ano.

Palavras-chave: *Free cooling*. Eficiência energética. *Datacenter*. Refrigeração.

ABSTRACT

The energy consumption in Datacenters is very relevant in its operational cost, in these environments the use of refrigeration is essential due to the characteristics and high value of the telecommunications equipment that operate in it. This work proposes to carry out a case study applying the use of external ventilation, also known as free cooling, at times when the external temperature meets the requirements to maintain an acceptable temperature inside the Datacenter. In the development of this work, carried out in the city of São Bonifácio, located in the state of Santa Catarina, the free cooling system showed good results by reducing the operating time of the compressors in different periods of the year.

Keywords: Free cooling. Energy efficiency. Datacenter. Refrigeration.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AC	<i>Alternate Current</i>
ASHRAE	Sociedade Americana de Engenheiros de Climatização
BTU	Unidade Térmica Britânica
DC	<i>Direct Current</i>
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
FCC	Fonte de corrente contínua
GEE	Gases de Efeito Estufa
HTTPS	<i>Hyper Text Transfer Protocol Secure</i>
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
LAN	Local Area Networks
LTE	<i>Long Term Evolution</i>
MME	Ministério de Minas e Energia
PNEF	Plano Nacional de Eficiência Energética
PBE	Programa Brasileiro de Etiquetagem
PME	Programa de Mobilização energética
PROCEL	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
QDCA	Quadro de Distribuição de Corrente Alternada
TI	Tecnologia da Informação
TR	Tonelada de refrigeração
UPS	Fonte de alimentação ininterrupta
V	Volt
W	Watt

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Etiqueta do Programa Brasileiro de etiquetagem	18
Figura 2 - <i>Datacenter</i> com <i>Routers</i> e <i>Switches</i>	20
Figura 3 - Croqui simplificado de um <i>datacenter</i>	21
Figura 4 - Banco com baterias de 2 V	21
Figura 5 - Ar-condicionado tipo Wall Mounted da Fabricante Trane	23
Figura 6 - Exemplo de um sistema de <i>free cooling</i>	27
Figura 7- Unidade Embratel em São Bonifácio/SC.....	30
Figura 8 - Banco de baterias, FCC e QDCA no local.....	31
Figura 9 - Equipamentos unidade São Bonifácio/SC	32
Figura 10 - Equipamentos do sistema de climatização TRANE 10 TR cada.....	33
Figura 11 - Controladora AGST modelo Conflex Duo	34
Figura 12 - Dumpers unidade São Bonifácio/SC	34
Figura 13 - DMI-A663CA.....	35

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Matriz energética Brasileira 2020	17
Gráfico 2 - Matriz elétrica Brasileira 2020.....	17
Gráfico 3 - Histórico de consumo de energia elétrica do edifício	36
Gráfico 4 - Histórico da fatura de energia elétrica da unidade consumidora	36
Gráfico 5 - Histórico da fatura de energia elétrica da unidade consumidora	37
Gráfico 6 - Climatização – Consumo elétrico médio diário por mês (kW/h).....	37
Gráfico 7 - Amostra de consumo de energia elétrica em 20/09/22	38
Gráfico 8 - Consumo de energia elétrica de 21/09/21 a 21/10/21	38
Gráfico 9 - Consumo de energia elétrica de 20/12/21 a 20/01/22	38
Gráfico 10 - Consumo de energia elétrica de 20/04/21 a 20/05/22	39
Gráfico 11 – Comparativo de projeção e realizado para fatura de Set/21 a Ago/22.	40

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Especificações de temperatura e umidade relativa.....	23
Tabela 2 – Conversão de unidades térmicas.....	24
Tabela 3 - Estimativa simplificada para carga térmica produzida em um <i>datacenter</i>	25
Tabela 4 – Taxas típicas de calor liberadas por pessoa	26
Tabela 5 - Dados de preventiva no QDCA instalado no local.....	31
Tabela 6 - Dados de preventiva na FCC instalada no local.....	32
Tabela 7 - Valores do <i>payback</i> por mês sem o custo do DMI-A663CA.....	40
Tabela 8 - Valores do <i>payback</i> por mês com custo do DMI-A663CA.....	41

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	13
1.1	JUSTIFICATIVA	14
1.2	DEFINIÇÃO DO PROBLEMA	14
1.3	OBJETIVOS	15
1.3.1	Objetivo Geral	15
1.3.2	Objetivos específicos	15
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	16
2.1	EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	16
2.1.1	Matriz energética.....	16
2.1.2	Políticas públicas no Brasil para eficiência energética	18
2.1.2.1	Energias renováveis.....	19
2.2	DATA CENTERS.....	19
2.2.1	Infraestrutura	20
2.2.2	Disponibilidade.....	22
2.2.3	Climatização	22
2.2.3.1	Carga térmica.....	23
2.2.3.2	Consumo Energético	26
2.3	FREE COOLING	27
3	METODOLOGIA.....	29
4	DESENVOLVIMENTO.....	30
4.1	ALIMENTAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA DOS EQUIPAMENTOS	31
4.2	EQUIPAMENTOS EXISTENTES NO LOCAL.....	32
4.3	EQUIPAMENTOS DO SISTEMA DE CLIMATIZAÇÃO.....	33
4.4	EQUIPAMENTOS DO SISTEMA DE FREE COOLING	34
4.5	HISTÓRICO	35
4.6	MEDIÇÃO	36
4.7	PAYBACK	39
4.8	DIFICULDADES	41
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	43
5.1	SUGESTÕES DE MELHORIAS	43
	REFERÊNCIAS	44

1 INTRODUÇÃO

A energia elétrica na atualidade é fator determinante no desenvolvimento econômico de uma sociedade, a eficiência do uso deste insumo ocorre do ponto de vista da geração, como também no consumo. Relacionar o consumo de energia com os resultados obtidos disponibiliza dados para o gerenciamento do problema, com isso é possível realizar estudos para obter os mesmos resultados diminuindo o consumo de energia elétrica (BARROS; BORELLI; GEDRA, 2015).

No Brasil, existem programas que incentivam a busca pela eficiência energética, como por exemplo o Plano Nacional de Eficiência Energética (PNEF) que pretende reduzir em 10% o consumo de energia através de mecanismos de ação voluntária e compulsória até 2030. O Programa Brasileiro de Etiquetagem, iniciado em 1984 é mais conhecido pela população, é gerido pelo Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (Inmetro) e tem como objetivo informar o desempenho do produto ao consumidor, como por exemplo a eficiência energética do equipamento (LEITE, 2012).

As áreas de tecnologia ao longo dos anos requisitam cada vez mais a disponibilidade, isso converge em consumo constante de energia, na falta, é comum a contingência através de bancos de baterias, porém com tempo limitado. Parte fundamental da tecnologia são os meios de comunicação, *datacenters* (centro de dados) são responsáveis pela conexão e direcionamento dos dados utilizados por diferentes sistemas interligados pela internet (FACCIONI FILHO, 2016). Estes ambientes concentram grande quantidade de equipamentos de alto custo monetário, e que também requerem diversas especificações para sua operação, dentre eles, temperatura ambiente capaz de suprir o aquecimento gerado pelos milhares de processadores e outros periféricos.

A climatização do *datacenter* é feita geralmente com uso de ar-condicionado de precisão, monitorando a temperatura do ambiente interno e fazendo uso de compressores elétricos. Este modelo de climatização tem boa representatividade no consumo total do *datacenter*, em especial nos momentos em que há o acionamento dos compressores.

Os custos com o consumo de energia elétrica destinado a refrigeração se mostram significativos a ponto de muitos ficarem localizados em regiões nórdicas como Dinamarca, Finlândia, Noruega, Islândia e Suécia. Outras soluções também começam se tornar realidade, em 2015 lançou um *datacenter* submerso de 17,2 toneladas por 3 meses no Oceano Pacífico. Porém há diversas estruturas que não contam com tal investimento, muitos *datacenters* estão

localizados fisicamente em diversas posições continentais, seja por custo, redundância ou fácil acesso para manutenção.

Um exemplo típico são os *datacenters* de telecomunicações no Brasil, o tráfego de dados que partem de residências, comércio, indústria e governo precisam não apenas de um caminho, mas também um direcionamento da informação ao destino correto.

Em algumas regiões do Brasil onde existem *datacenters*, a temperatura externa varia de forma que em determinados períodos do ano há constantes períodos abaixo dos 17°, isso dispensaria o uso dos compressores, utilizando apenas uma ventilação no *datacenter*, este método recebeu o nome de *free cooling* (do inglês, arrefecimento livre). Essa estratégia tem se tornado uma boa ferramenta na busca de eficiência energética neste segmento, criando redução de consumo energético, sem afetar o resultado do produto.

Desta forma, busca-se aqui realizar um estudo de caso realizando uma aplicação real de *free cooling* em um *datacenter* e mensurar a viabilidade, demonstrando se existe redução real no consumo energético sem afetar o desempenho dos equipamentos em operação no ambiente.

1.1 JUSTIFICATIVA

Um *Datacenter* tem consumo expressivo de energia elétrica, sua eficiência energética é importante para seu detentor e para a sociedade, reduzindo o custo de operação e também colaborando na redução de consumo e impacto na demanda de geração de energia.

Nesta premissa, a utilização de uma ferramenta de refrigeração no *datacenter* que utilize métodos de baixo custo sem prejudicar o desempenho dos equipamentos torna-se indispensável em regiões propícias ao uso de ventilação externa.

1.2 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

Este trabalho técnico-científico tem como objetivo avaliar se uso da técnica de *free cooling* traz aumento na eficiência energética no consumo de energia elétrica destinada a refrigeração em um *datacenter* sem comprometer os serviços e equipamentos contidos neste tipo de infraestrutura.

1.3 OBJETIVOS

De modo a solucionar o problema de pesquisa proposto, foram elencados os seguintes objetivos gerais e específicos.

1.3.1 Objetivo Geral

Este trabalho visa coletar dados e mensurar o consumo energético com refrigeração em *datacenter* na cidade de São Bonifácio - SC antes e depois da implantação de um sistema de *free cooling*.

1.3.2 Objetivos específicos

Para atingir o objetivo geral, é necessária a contemplação dos seguintes objetivos específicos:

- a) Delimitar a umidade e temperatura no ambiente externo aceitável para que o *free cooling* não danifique os equipamentos contidos no *datacenter*;
- b) Monitorar o consumo de energia nos refrigeradores com DMI T5T;
- c) Monitorar a temperatura interna com DMI T5T;
- d) Coletar dados da temperatura externa de dados abertos fornecidos pela estação meteorológica mais próxima;
- e) Avaliar se houve baixo custo de implantação e aumento na eficiência energética no *datacenter*.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo são apresentados conceitos fundamentais sobre a eficiência energética em *datacenters* com metodologias de *free cooling* e sobre as características peculiares dos equipamentos de telemetria utilizados no acompanhamento das variações no consumo de energia do *datacenter*.

2.1 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Com a utilização de equipamentos mais eficientes, todos podem colaborar no uso mais eficiente da energia. A eficiência energética abrange uma gama de fontes de energia extraídas de uma fonte primária, para aumentar a eficiência energética é fundamental o uso de energias de fontes renováveis.

Conforme Barros, Borelli e Gedra (2015):

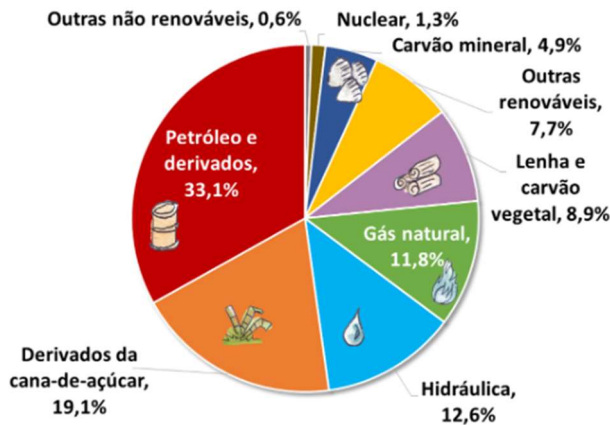
A energia é um insumo que alimenta processos e transformações, até que se obtenha um resultado final. Esse resultado pode ser algo material, como por exemplo um produto, ou ainda algo abstrato, como o conforto térmico.

2.1.1 Matriz energética

O portfólio de origens das fontes primárias de energia é chamado de matriz energética, no Gráfico 1 é possível visualizar os dados da matriz energética brasileira, onde o petróleo e derivados ainda predominam.

O Brasil se destaca no uso de fontes renováveis, apesar da sua matriz consumir mais energia de fontes não renováveis, se destaca quando comparado a matriz energética mundial no uso de energias renováveis. Lenha, carvão vegetal, hidráulica, derivados de cana e outras, quando observadas juntas, tornam quase a metade de matriz energética, 48,3% renovável. (EPE, 2020).

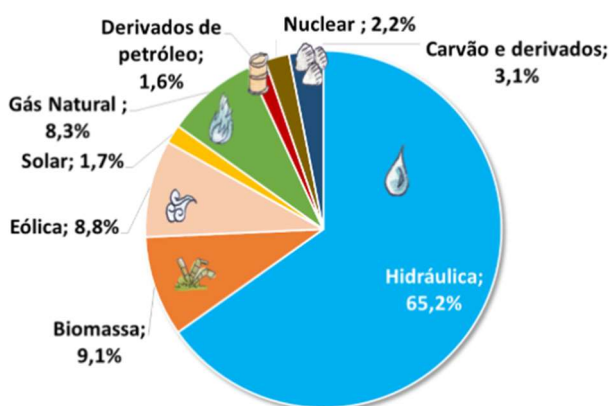
Gráfico 1 - Matriz energética Brasileira 2020



Fonte: Balanço Energético Nacional, 2020, citado por EPE.

Apesar da matriz energética Brasileira possuir apenas 12,6% de energia Hidráulica, na matriz elétrica a representatividade desta fonte era de 65,2% em 2020 conforme Gráfico 2.

Gráfico 2 - Matriz elétrica Brasileira 2020



Fonte: Balanço Energético Nacional, 2020, citado por EPE.

Um fator importante a se observar é o alto impacto ambiental causado por uma usina hidroelétrica, apesar de ser uma fonte de energia renovável fazendo uso da água, em sua construção muitas árvores são derrubadas ou submersas. A fauna e flora aquática e terrestre sofrem perdas, ocorre o assoreamento do leito dos rios, desmoronamento de barreiras e diversos outros impactos transformam a visão atual sobre os impactos ambientais gerados por este tipo de geração (KHAN ACADEMY, 2022).

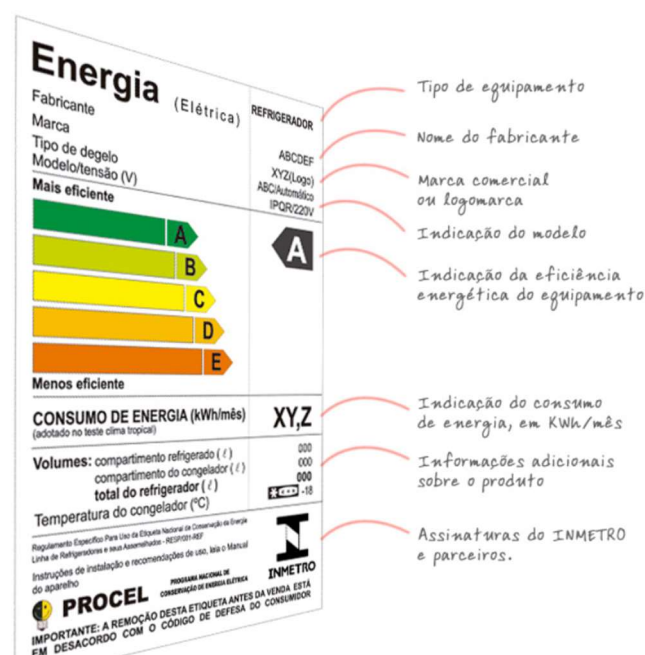
2.1.2 Políticas públicas no Brasil para eficiência energética

A existência do ministério e energia no Brasil demonstra a importância do tema energia, assim como a existência de diferentes políticas federais, estaduais e municipais que envolvem o uso eficiente de energia.

Em 1981, a primeira iniciativa governamental com foco em medidas de eficiência energética promoveu a criação do Programa Conserve, que dentre os objetivos se visualiza a busca por desenvolvimento de produtos eficientes e a conservação de energia na indústria. Em 1982, ano seguinte ao do Programa Conserve, surge o Programa de Mobilização energética (PME), incentivando a substituição dos derivados de petróleo por fontes renováveis de energia (MME, 2014).

O Ministério de Minas e Energia em conjunto com o Ministério da Indústria e Comércio exterior lançaram em 1985 a portaria interministerial n. 1.877, estabelecendo o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (Procel) que buscou promover o uso racional de energia elétrica no território nacional. Uma das iniciativas do programa foi o Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), coordenado pelo Inmetro e promovendo o uso eficiente de energia elétrica, além de fornecer informações sobre a eficiência energética dos equipamentos. Na Figura 1 é possível visualizar a etiqueta do PBE, muito popular e conhecida pelos brasileiros no dia a dia.

Figura 1 - Etiqueta do Programa Brasileiro de etiquetagem



Fonte: Inmetro (2022).

Apesar das políticas citadas anteriormente e muitas outras que surgiram nos últimos anos, dentre elas o Plano Nacional de Energia 2030, que visa um planejamento a longo prazo para eficiência energética, o Brasil ainda se mostra debilitado no assunto quando comparado a outros países desenvolvidos.

Segundo Seixas (2020):

Apesar de todo o desenvolvimento que tivemos nos últimos anos, o Brasil ainda se encontra muito atras de vários países desenvolvidos, como Estados Unidos e membros da União Europeia, em suas políticas de eficiência energética.

2.1.2.1 Energias renováveis

No grupo de energias renováveis, as fontes de energia são consideradas inesgotáveis por se renovarem constantemente ao serem utilizadas. Diferentes fontes de energia podem ser utilizadas, como a energia hídrica, solar, eólica, biomassa, geotérmica e oceânica.

Conforme as condições climáticas, regionais ou estações do ano, algumas das fontes de energia renovável podem ter variações na sua geração, a solar a noite, a hídrica durante secas e a eólica quando não há ventos, são exemplos que demonstram essa desvantagem.

O fato de serem consideradas fontes de energia limpa é relacionado com a emissão de gases de efeito estufa (GEE) quando comparadas com fontes fósseis. As fontes renováveis de energia são consideradas limpas, pois emitem menos GEE que as fontes fósseis (EPE, 2020).

2.2 DATACENTERS

Conhecidos também como centros de processamento de dados, hoje tem o nome *datacenter* mais popularizado entre os profissionais de tecnologia, estes ambientes são projetados de forma a fornecerem um ambiente controlado para equipamentos eletrônicos de alto desempenho.

Este ambiente é essencial para empresas que necessitam de alta disponibilidade, como serviços de dados, transações bancárias e outras (MARQUES, 2013).

Os equipamentos mais comuns em um *datacenter* são *routers*, *switchs* e diferentes tipos de servidores (Banco de dados, cache, etc..) que ficam fixados em *racks* posicionados lado a lado, formando corredores dentro do *datacenter*, conforme demonstrado na Figura 2.

Figura 2 - *Datacenter* com *Routers* e *Switches*



Fonte: Autor (2022).

2.2.1 Infraestrutura

A localização de um *datacenter* é importante por motivos de disponibilidade e também de topologia, locais próximos de acessos a estradas principais, concessionárias de energia, centros de serviços reforçam diversos fatores, incluindo a segurança. É comum a utilização de piso elevado para passagem de cabeamento, assim como a construção sobre bases elevadas para proteção contra alagamentos. Na Figura 3 pode-se observar um croqui simplificado de um *datacenter*.

2.2.2 Disponibilidade

A disponibilidade dos serviços tem alta relevância em fatores financeiros, no caso de indisponibilidade os impactos variam de acordo com o porte e segmento dos recursos envolvidos, podendo acarretar a (TELECO, 2022):

- a) perda de produtividade por ociosidade dos colaboradores;
- b) perda de oportunidade de negócios;
- c) perda de informações importantes;
- d) indisponibilidade no atendimento ao cliente;
- e) alto custo de intervenção técnica;
- f) lucro cessante: reparação aos danos materiais sofridos por negligência imperícia, culpa e omissão de outro, sendo um prejuízo ocasionado.

A conexão de *datacenters* com a internet requer de modo geral uma redundância de *links* com o *backbone* da internet e um sistema de climatização com alto controle de temperatura e umidade.

2.2.3 Climatização

A climatização é fundamental para o funcionamento eficiente dos equipamentos alocados em um *datacenter*, na implantação os projetos seguem premissas de condicionamento industrial necessitando de alta precisão no controle da temperatura, umidade e dos padrões de filtragem. Os ajustes de *set point* (ponto de ajuste) de temperatura e umidade relativa tornam necessária a utilização de aparelhos de climatização com elevado desempenho e precisão (CHAGAS, 2013).

Tradicionalmente é comum o uso de condicionadores de ar baseados mecanicamente por compressão a vapor, refrigeradores deste modelo podem consumir até 50% da energia elétrica total consumida no *datacenter*.

Figura 5 - Ar-condicionado tipo Wall Mounted da Fabricante Trane



Fonte: TRANE (2015).

2.2.3.1 Carga térmica

A quantidade de calor sensível e latente, que precisa ser retirada ou inserida no ambiente visando condições de conforto desejáveis ou com objetivo de manter os requisitos para o funcionamento de equipamentos contidos no ambiente, é denominada carga térmica. A Sociedade Americana de Engenheiros de Climatização (ASHRAE), entidade internacional na área de padronização para climatização, recomenda índices de temperatura e umidade relativa para entrada de ar nos equipamentos em *datacenters*, estes índices podem ser visualizados na Tabela 1.

Tabela 1 - Especificações de temperatura e umidade relativa

ESPECIFICAÇÕES DO AMBIENTE				
Classe	Temperatura permitida (°C)	Temperatura recomendada (°C)	% umidade relativa permitida	% umidade relativa recomendada
1	15 até 32.2	20 até 25	20-80	40 -55

Fonte: TELECO (2022).

O site Engenharia e Arquitetura (2018) aponta que:

Carga térmica é a quantidade de calor que deve ser retirada ou fornecida a um local ou sistema, por unidade de tempo, objetivando a manutenção de determinadas condições térmicas.

O *datacenter* é composto por diversos equipamentos, como por exemplo roteadores, *switchs* e centrais telefônicas que geram uma carga térmica intensa e constante.

Compactos e com nanotecnologia, os equipamentos de TI não param de evoluir, porém dissipam muito calor devido ao aumento no processamento de informação em um espaço físico muito pequeno. A exemplo disso pode-se citar o servidor Intel R1208WT2GSR, que possui uma dissipação térmica de 824 Watts/h, onde é possível converter para outras unidades de medida, como BTU/h (*British Thermal Unit*) ou TR (tonelada de refrigeração) conforme a Tabela 2.

Tabela 2 – Conversão de unidades térmicas

DE	PARA	Fator de multiplicação
BTU/h	Watts	0,293
Watts	BTU/h	3,41
TR	Watts	3530
Watts	TR	0,000283

Fonte: Adaptado de RASMUSSEN (2007).

A carga térmica de um *datacenter* precisa ser calculada conforme a dissipação de calor de cada equipamento. Porém, segundo Morais (2007), é possível obter uma estimativa eficaz e ágil utilizando algumas regras que trazem resultados dentro da margem de erro da análise mais complexa. Estas regras consistem no preenchimento e cálculo dos dados solicitados na Tabela 3.

Tabela 3 - Estimativa simplificada para carga térmica produzida em um *datacenter*

Item	Dados Necessários	Cálculo da dissipação térmica
Equipamento TI	Potência total das cargas de TI em Watts	Igual à Potência total das cargas de TI em Watts
UPS com bateria	Potência nominal do sistema elétrico em Watts	$(0,04 \times \text{Potência nominal sistema}) + (0,06 \times \text{potência de carga de TI total})$
Distribuição de energia	Potência nominal do sistema elétrico em Watts	$(0,02 \times \text{Potência nominal sistema}) + (0,02 \times \text{potência de carga de TI total})$
Iluminação	Área do chão (metros quadrados)	$21,53 \times \text{área do chão (m}^2\text{)}$
Pessoas	Nº máximo de pessoas no centro de dados	$100 \times \text{Nº máx. de pessoas}$
Total	Subtotais de parcelas acima	Soma dos subtotais de dissipação térmica

Fonte: Adaptado de RASMUSSEN (2007).

A título de comparação com o calor dissipado no servidor Intel, na Tabela 4 é demonstrado taxas típicas de calor liberadas por indivíduos em diferentes ambientes.

Tabela 4 – Taxas típicas de calor liberadas por pessoa

Nível de atividade	Local	Calor total (W)		Calor Sensível (W)	Calor Latente (W)
		Homem adulto	Ajustado M/F1		
Sentado no teatro	Teatro Matinê	115	95	65	30
Sentado no teatro, noite	Teatro noite	115	105	70	35
Sentado, trabalho leve	Escritórios, hotéis, apartamentos	130	115	70	45
Atividade moderada em trabalhos de escritório	Escritórios, hotéis, apartamentos	140	130	75	55
Parado em pé, trabalho moderado, caminhando	Loja de varejo ou de apartamentos	160	130	75	55
Caminhando; parado em pé	Farmácia, agência bancária	160	145	75	70
Trabalho sedentário	Restaurante	145	160	80	80
Trabalho leve em bancada	Fábrica	235	220	80	140
Dançando moderadamente	Salão de baile	265	250	90	160
Caminhando 4,8 km/h; trabalho leve em máquina operatriz	Fábrica	295	295	110	185
Jogando boliche	Boliche	440	425	170	255
Trabalho pesado	Fábrica	440	425	170	255
Trabalho pesado em máquina operatriz; carregando carga	Fábrica	470	470	185	285
Praticando esportes	Ginásio, academia	585	525	210	315

Fonte: Adaptado ABNT NBR 16401-1 (2008).

2.2.3.2 Consumo Energético

O consumo elétrico médio de um *datacenter* gira em torno de 50% para a climatização, nas cargas críticas (equipamentos) a representatividade é de 36%, já em fontes de alimentação (UPS) a participação é de 11% e 3% para iluminação (MARIN, 2016).

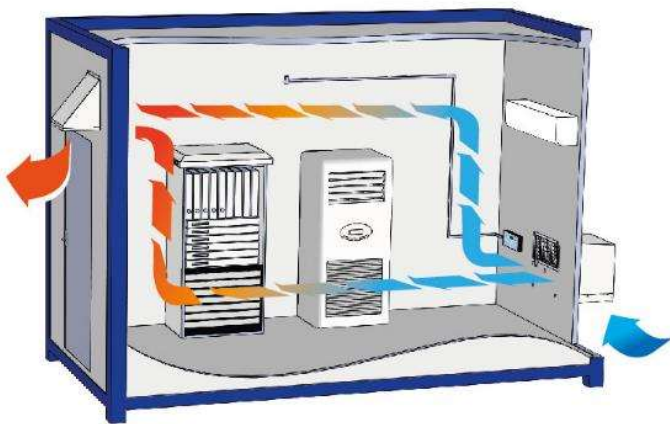
Para TOSSI (2014), em alguns casos o consumo de energia elétrica de um *datacenter* em termos financeiros, tem custos de energia que correspondem de 40 a 50% do orçamento total da operação do *datacenter*.

2.3 FREE COOLING

Baseado em um ciclo economizador, também conhecido como *free cooling* (resfriamento gratuito), consiste basicamente no aproveitamento de ar fresco externo para resfriar um ambiente, podendo reduzir significativamente o consumo de energia de uma sala de equipamentos, pela redução da dependência do ar-condicionado.

Este processo se dá mediante a abertura de *dampers* motorizados, para admissão de ar externo e expurgo do ar interno aquecido, além do acionamento de ventiladores de alta vazão, ou até pelo aproveitamento dos próprios ventiladores das máquinas de ar condicionado (neste caso usando *dampers* motorizados para fechamento do retorno de ar aquecido da sala para as máquinas), proporcionando assim um grande volume de trocas de ar no ambiente e fazendo com que a temperatura interna fique muito próxima da temperatura externa.

Figura 6 - Exemplo de um sistema de *free cooling*



Fonte: PIXEL (2022).

As condições entálpicas do ar externo determinam se é necessário o uso de refrigeração mecânica por ciclo de compressão de gás refrigerante, conforme visto anteriormente na Tabela 1, caso essas condições atendam os requisitos, o sistema insufla no ambiente o ar externo e expurga o ar interno. Em horários quentes é comum o uso de sistema complementar de ventilação adiabática. (ENGENHARIA E ARQUITETURA, 2022).

A empresa Cooper systems (2022) esclarece o funcionamento de um sistema com ventilação adiabática:

O sistema de ventilação adiabática consiste na captação de ar exterior, sendo este filtrado e resfriado através do princípio do resfriamento adiabático evaporativo. Este princípio ocorre devido à nebulização de água dentro dos lavadores de ar, forçando a evaporação da mesma, sendo este insuflado nos ambientes a serem ventilados através de uma rede de dutos e grelhas.

Segundo o site Engenharia e Arquitetura (2022), se faz necessário a avaliação de temperatura e umidade das 8.760 horas do ano nos locais da instalação antes da implantação. Ainda cita como exemplo a região de Campinas-SP, onde dentro de um raio de 100 km estão localizados grandes *datacenters*, nesta região se observa que mais de 80% das horas atendem os requisitos para *free cooling*. Também informa que em um projeto do *datacenter* do Banco Santander fez uso de um sistema de automação comparando a entalpia do ar externo com a entalpia do ar de descarga dos equipamentos de TI, quando a entalpia do ar externo é menor que a do ar de retorno, ocorre o acionamento exaustores para expurgo através de *dampers* para que o ar-condicionado capte o ar externo.

3 METODOLOGIA

Segundo Barros, Borelli e Gedra (2015), deve se iniciar com uma inspeção de campo para realizar o levantamento das características da instalação, também informa que não existe regra ou norma única que padronize a estrutura de um diagnóstico energético. Neste estudo de caso, foi uma prática que Barros, Borelli e Gedra (2015) citam como muito utilizada no mercado, onde a estrutura básica se observa a seguir:

- a) Objetivo informando de onde partiu a solicitação do projeto ou se é ligado a um objetivo da organização;
- b) Identificação da instalação com os detalhes do que é contemplado no diagnóstico e do local físico;
- c) Descrição e detalhamento dos tipos de fonte de energia contempladas, as ações planejadas e materiais utilizados
- d) Metas e benefícios com base em projeções de dados existentes e esperados após a implantação;
- e) Prazos e custos com informações financeiras de implantação e operação e cronograma das etapas macro;
- f) Análise de viabilidade comparando os dados obtidos nos tópicos anteriores;
- g) Estratégia de medição e verificação para avaliar os resultados alcançados em eficiência energética;
- h) Conclusões e recomendações com base no planejado e obtido nesta estrutura;

4 DESENVOLVIMENTO

O estudo de caso se trata de uma investigação empírica com coleta e organização de dados, a observância de resultados contrários aos esperados é muito bem aceita por demonstrarem falhas que tornam possível a busca por soluções. O desenvolvimento do trabalho se iniciou com revisão bibliográfica dos principais aspectos envolvidos no contexto de um sistema de *free colling* quando aplicado a um *datacenter*: Matriz energética, Políticas públicas no Brasil, Infraestrutura, Disponibilidade e Climatização.

Com base na revisão, buscou-se um caso real para realização do acompanhamento e coleta de dados no qual apresentasse os elementos típicos de um sistema de *free colling*. Este estudo de caso foi realizado em um *site* Embratel, que faz parte do grupo Claro SA, em São Bonifácio – Santa Catarina.

Figura 7- Unidade Embratel em São Bonifácio/SC



Fonte: Autor (2022).

O escopo deste trabalho, limitou-se ao levantamento dos equipamentos contidos na infraestrutura alvo, componentes implementados para o funcionamento do sistema de *free colling*, potência instalada, carga térmica, histórico de consumo energético, medição do consumo e temperatura com coleta e disponibilização em servidor HTTPS remoto através de comunicação via cabo ligado a um modem LTE (*Long Term Evolution*).

4.1 ALIMENTAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA DOS EQUIPAMENTOS

Os equipamentos de telecomunicações geralmente possuem alimentação 48 V, por este motivo é comum possuírem bancos de baterias e também fontes de corrente contínua (FCC). No local do estudo junto ao quadro de corrente alternada (QDCA) ficam a FCC e o banco de baterias demonstrado na figura 8.

Figura 8 - Banco de baterias, FCC e QDCA no local



Fonte: Autor (2022).

Na Tabela 5 há informações da alimentação elétrica do QDCA, já na Tabela 6, pode-se visualizar as especificações da FCC e dados coletados em uma manutenção preventiva.

Tabela 5 - Dados de preventiva no QDCA instalado no local

QDCA	
Tipo de ligação trifásica	
Capacidade (kW)	75
Tensão de trabalho (V) FF/ FN	220/127
Disjuntor geral (A)	100
Quantidade de disjuntores monofásico	12
Quantidade de disjuntores bifásico	6
Quantidade de disjuntores trifásico	5
Bitola alimentação (mm)	35
Temperatura do cabo fase R (°C)	24
Temperatura do cabo fase S (°C)	24
Temperatura do cabo fase T (°C)	24

Fonte: Autor (2022).

Tabela 6 - Dados de preventiva na FCC instalada no local

Dados preventiva 04/10/2022 FCC (Fonte de corrente contínua)			
Fabricante	eltek	Capacidade (A)	600
Modelo	Sr 600a -48v + 24v 280/220vca	Corrente DC (A)	51
Data de fabricação	04/10/2012	Corrente AC (A) R	9,1
Bitola cabeamento de alimentação (mm)	10	Corrente AC (A) S	8,3
Disjuntor de alimentação (A)	60	Corrente AC (A) T	6,8
Tensão RS (V)	224	Capacidade total do banco (Ah)	800
Tensão RT (V)	223	Quantidade de unidades retificadoras possíveis	12
Tensão TR (V)	228	Quantidade unidades retificadoras existentes	10
Tensão de carga DC (V)	53,4		

Fonte: Autor (2022).

4.2 EQUIPAMENTOS EXISTENTES NO LOCAL

Devido a questões de segurança, os dados referentes aos equipamentos de processamento e transmissão que ficam no local não são detalhados neste trabalho, porém é possível informar que este *datacenter* é considerado de pequeno porte em relação ao tamanho da infraestrutura, o que não se reflete necessariamente na importância dos dados transmitidos por ele. Na Figura 9 pode-se observar alguns destes equipamentos.

Figura 9 - Equipamentos unidade São Bonifácio/SC



Fonte: Autor (2022).

4.3 EQUIPAMENTOS DO SISTEMA DE CLIMATIZAÇÃO

Para garantir a temperatura em torno de 23 °C a instalação conta com dois equipamentos TRANE de 10 TR (tonelada de refrigeração) cada, pode-se visualizá-los na Figura 10.

Figura 10 - Equipamentos do sistema de climatização TRANE 10 TR cada



Fonte: Autor (2022).

Tabela 6 – Dados de preventiva nos equipamentos de climatização no local

Dados preventiva 04/10/2022	
Quantidade compressores	2
Capacidade total (TR)	10
Fabricante trane	Trane
Modelo	SWMB050N00000834
Data de fabricação	11/2018
Tipo	Wall Monted
Corrente (A) R	17
Corrente (A) S	16
Corrente (A) T	18
Temperatura externa (°C)	28
Temperatura interna (°C)	23

Fonte: Autor (2022).

4.4 EQUIPAMENTOS DO SISTEMA DE FREE COOLING

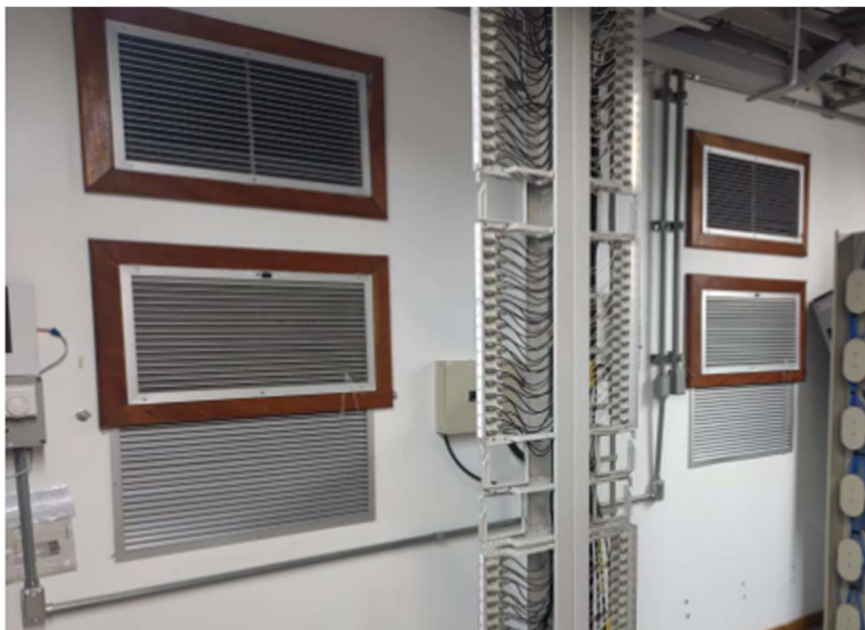
Para o controle da automação do *free cooling*, foi utilizado a controladora do fabricante AGST, modelo Conflex Duo, visualizada na Figura 11. Este controlador microprocessado é programado e dedicado para automação de duas máquinas de ar-condicionado, para climatização de ambientes críticos como o apresentado neste estudo de caso, possui alta confiabilidade e precisão no controle da temperatura e umidade. Na Figura 12 também pode-se visualizar os 4 *dampers* motorizados utilizados para troca de ar. Este sistema de automação tem um custo de aproximadamente R\$8.778,90.

Figura 11 - Controladora AGST modelo Conflex Duo



Fonte: AGST (2022).

Figura 12 - Dumpers unidade São Bonifácio/SC



Fonte: Claro (2022).

Para coleta dos dados foi utilizado o equipamento DMI-T5T (Figura 13) que possui interface web embarcada com conexão Ethernet (LAN RJ45) nativa, com seu *datalogger* integrado, possibilita avaliação posterior dos dados coletados. O DMI-T5T possui 6 entradas 4 a 20 mA, 6 saídas 0 a 10 V, 3 entradas rápidas 1000 Hz e 4 entradas Wiegand 26 bits.

Na data deste trabalho o custo deste equipamento era de R\$ 1.920,00, porém é preciso deixar claro que este equipamento foi utilizado apenas para avaliar a viabilidade da aplicação do *free cooling*, após isso a controladora da AGST funciona e opera normalmente sem este equipamento.

Figura 13 - DMI-A663CA



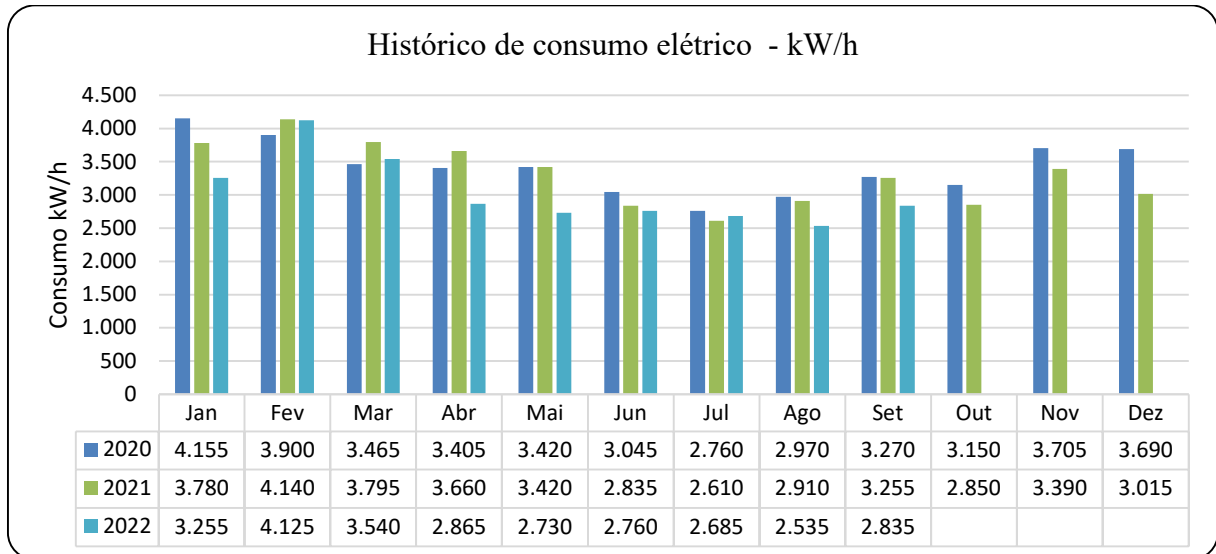
Fonte: ISSO (2022).

4.5 HISTÓRICO

A medição do consumo de energia elétrica do sistema de refrigeração passou a ser realizado apenas na implantação do sistema de *free cooling*, desta forma não houve acesso à característica de consumo do sistema de climatização deste período prévio. Foi realizado coleta por 24 horas para mapear o consumo típico do sistema de refrigeração instalado antes do *free cooling* entrar em operação. Para efeitos comparativos foi utilizado o histórico da concessionária de energia no qual abrange não apenas o sistema de refrigeração, mas todos os equipamentos contidos no local.

No Gráfico 3, é possível visualizar o histórico de consumo registrado pela concessionária de energia, neste gráfico os valores são referentes ao consumo total da instalação.

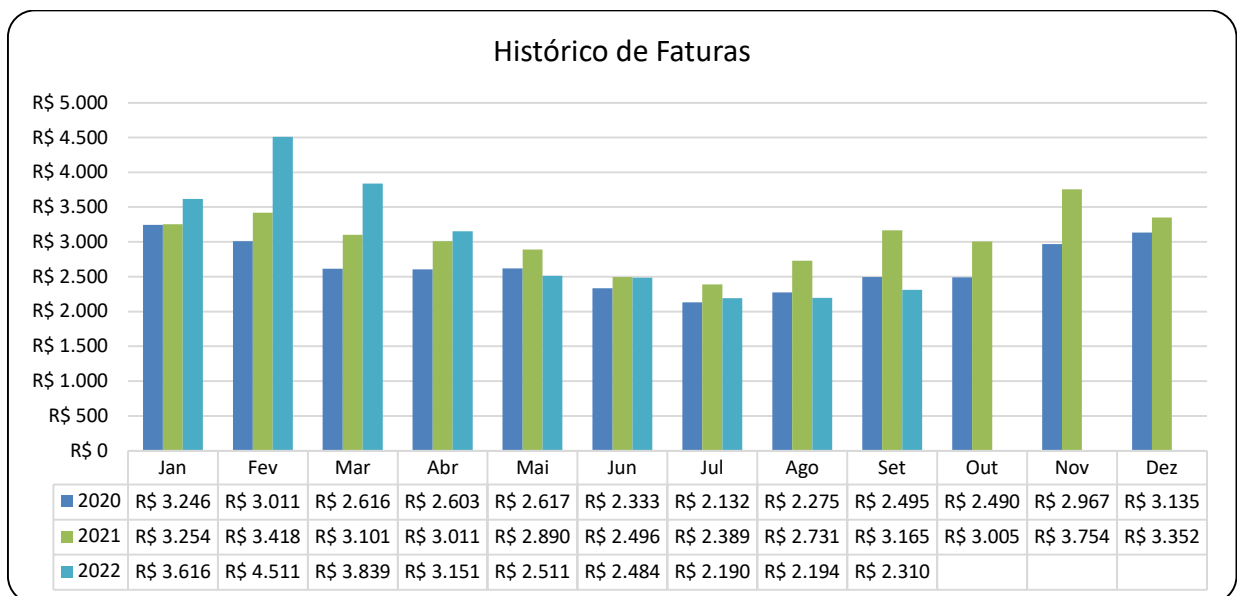
Gráfico 3 - Histórico de consumo de energia elétrica do edifício



Fonte: Adaptado com dados internos da Concessionária de energia COPERZEM (2022).

No Gráfico 4, é apresentado o histórico da fatura de energia elétrica da instalação.

Gráfico 4 - Histórico da fatura de energia elétrica da unidade consumidora



Fonte: Adaptado com dados internos da Concessionária de energia COPERZEM (2022).

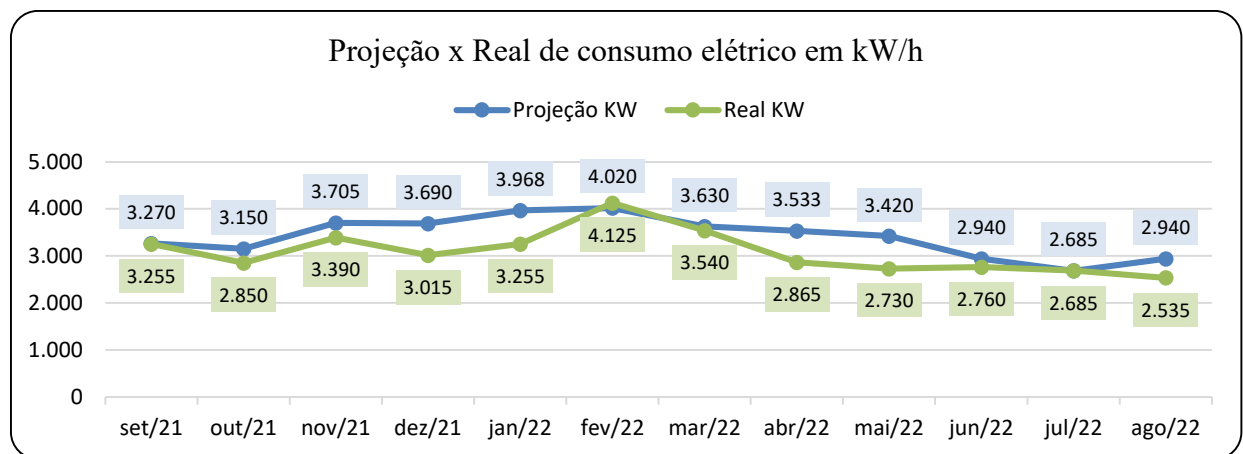
4.6 MEDIÇÃO

A medição isolada do sistema de refrigeração iniciou em 20 de setembro de 2021, com leituras e registros a cada 15 minutos por um equipamento de telemetria modelo DMI- A663CA do fabricante ISSO, logo na instalação e ajustes dos equipamentos do sistema *free cooling* o

comportamento dos compressores que trabalhavam de forma constante já apresenta redução na operação. A coleta de dados se limitou à disponibilidade do equipamento de telemetria no local, esta disponibilidade se encerrou em 17 de agosto de 2022 quando a empresa Claro considerou como viável o sistema e realocou o equipamento para telemetria, todo o sistema de *free cooling* em São Bonifácio/SC passou de temporário para permanente.

Para fins de comparação, com base no histórico de consumo de energia elétrica total da instalação, foi realizado a projeção em kW no período de 09/2021 a 08/2022. No Gráfico 5, o comparativo da projeção sem o *free cooling* e o real após implantação é demonstrado.

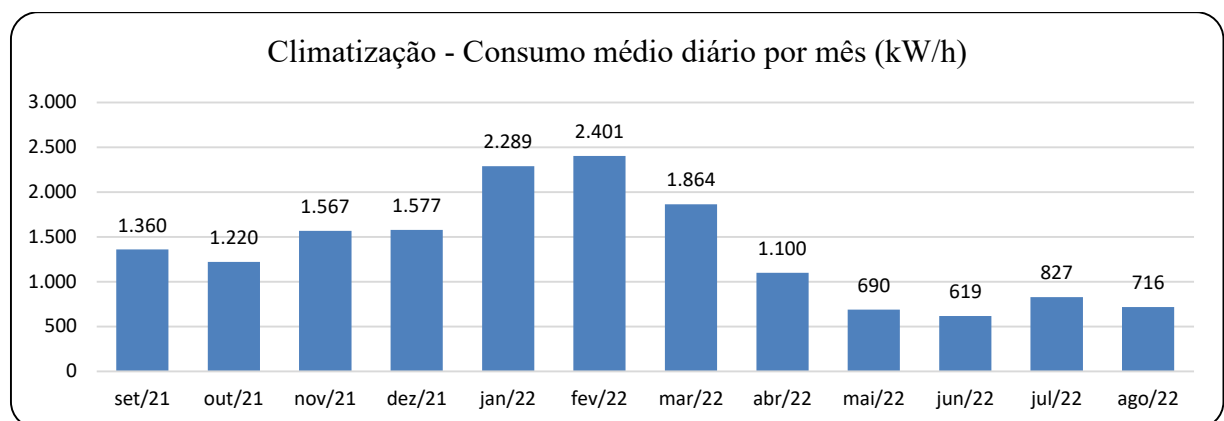
Gráfico 5 - Histórico da fatura de energia elétrica da unidade consumidora



Fonte: Projeção do autor e real da Concessionária de energia COPERZEM (2022).

Com a instalação do DMI-A663CA também foi possível a coleta de dados em relação ao consumo de energia elétrica do sistema de climatização, no gráfico 6 é apresentado o consumo total por mês no período em que o equipamento de medição esteve instalado.

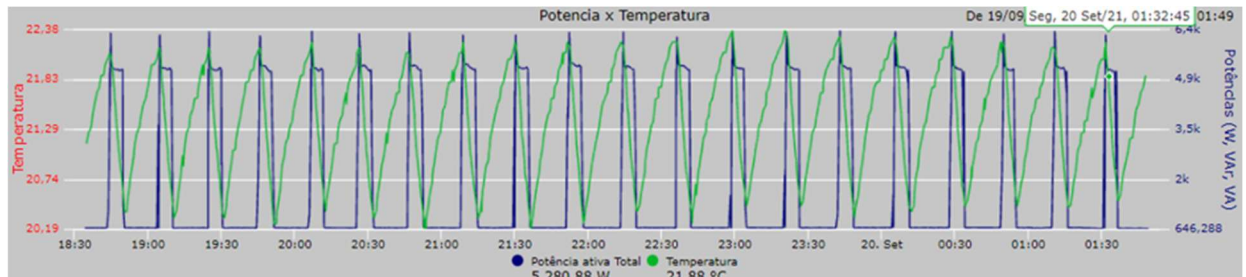
Gráfico 6 - Climatização – Consumo elétrico médio diário por mês (kW/h)



Fonte: Adaptado com dados internos do equipamento do DMI A663CA instalado (2022).

Na data em que a instalação do *free cooling* estava ocorrendo, foi realizada uma amostra da operação típica do sistema de climatização na instalação, se observa este comportamento no Gráfico 7 no qual o constantemente o sistema atingia picos de consumo de até 6,4 kW/h.

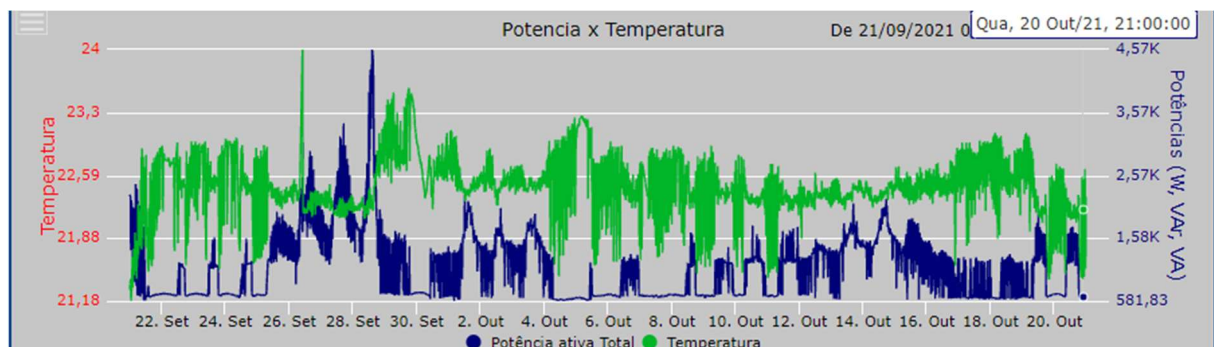
Gráfico 7 - Amostra de consumo de energia elétrica em 20/09/22



Fonte: Dados internos do equipamento do DMI A663CA instalado (2022).

Após entrar em operação, o comportamento do consumo de energia elétrica do sistema de climatização apresentou características diferentes e com maior variação, este comportamento pode ser observado no Gráfico 8.

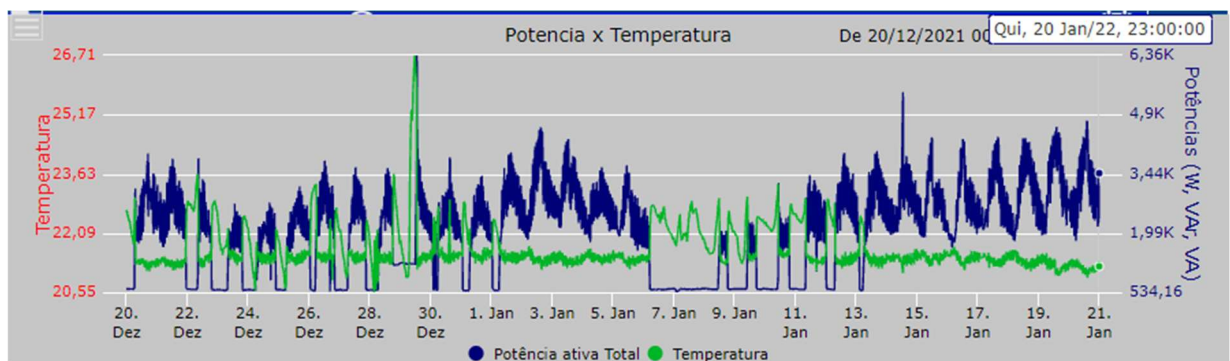
Gráfico 8 - Consumo de energia elétrica de 21/09/21 a 21/10/21



Fonte: Dados internos do equipamento do DMI A663CA instalado (2022).

Mesmo em períodos mais quentes, estas características persistiram conforme Gráfico 9.

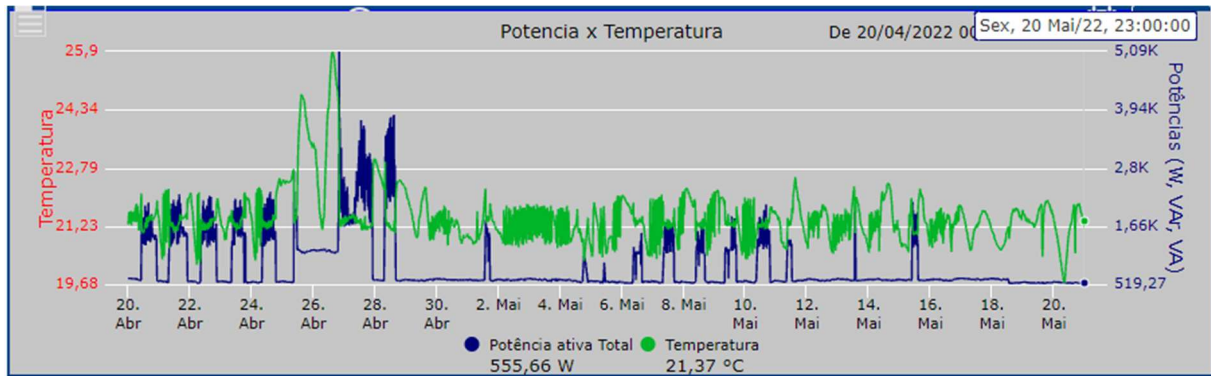
Gráfico 9 - Consumo de energia elétrica de 20/12/21 a 20/01/22



Fonte: Dados internos do equipamento do DMI A663CA instalado (2022).

Ao iniciar o período do ano com temperaturas mais baixas, o comportamento demonstrou diferenças significativas da operação típica do sistema de climatização, a redução no acionamento dos compressores pode ser observado na linha azul do gráfico 10.

Gráfico 10 - Consumo de energia elétrica de 20/04/21 a 20/05/22



Fonte: Dados internos do equipamento do DMI A663CA instalado (2022).

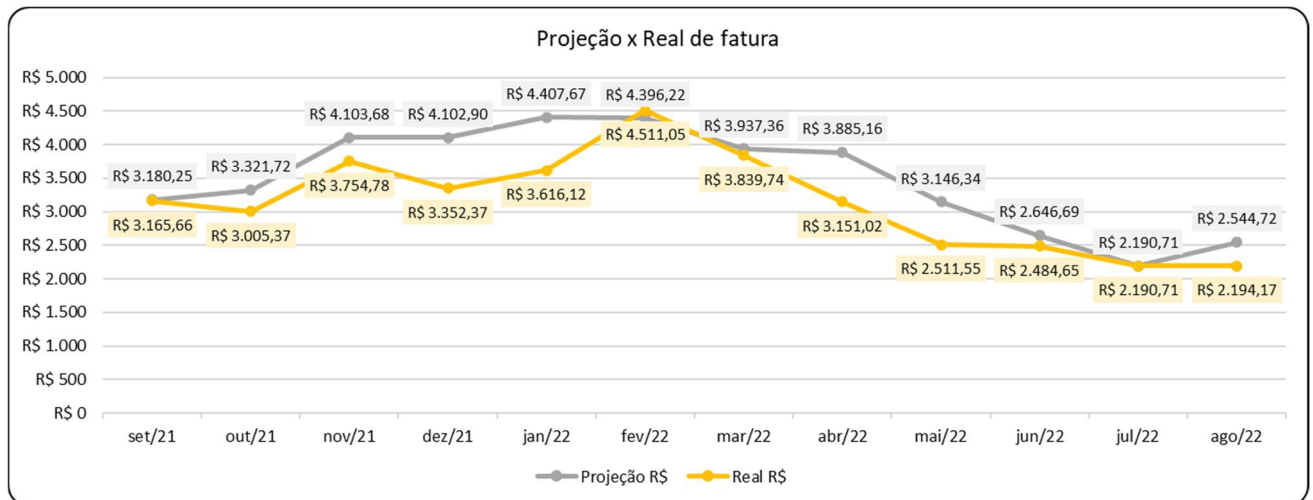
4.7 PAYBACK

Para avaliação da viabilidade da implantação do sistema de *free cooling* neste caso, utilizando a metodologia de *payback* (do português, “retorno”), este cálculo visa avaliar em quanto tempo o investimento leva para se pagar. Neste trabalho é demonstrado o *payback* pela metodologia de *payback* simples, demonstrado na equação 1.

$$Payback\ simples = \frac{investimento\ inicial}{ganhos\ no\ período} \quad (1)$$

No gráfico 11 pode-se observar a projeção do valor da fatura de energia elétrica com base na projeção de consumo sem o sistema de *free cooling*, em comparativo pode-se observar o valor real da fatura no período com a utilização do *free cooling*.

Gráfico 11 – Comparativo de projeção e realizado para fatura de Set/21 a Ago/22.



Fonte: Projeção do autor e real da Concessionária de energia COPERZEM (2022).

Considerando os dados obtidos e demonstrados no gráfico 11, o consolidado ao longo deste período apresenta uma redução de R\$4086,23 no período de 12 meses, ou ainda uma média mensal de R\$340,52. Desta forma, é apresentado o cálculo de *payback* simples para dois cenários, na equação 2 é considerada apenas a implantação do sistema de *free cooling*, já na equação 3 é demonstrada a implantação com o sistema de coleta de dados auxiliar (DMI-T5T).

Considerando o custo total de implantação da controladora AGST realizado pelo fabricante, o método de *payback* simples demonstra que este investimento se pagará em 26 meses, conforme equação 2:

$$\text{Payback simples} = \frac{8778,9}{340,52} = 26 \text{ meses} \quad (2)$$

Tabela 7 - Valores do *payback* por mês sem o custo do DMI-A663CA

Projeção <i>Payback</i> Simples					
Mês	Custo	Mês	Custo	Mês	Custo
Mês 1	R\$ 8.438,38	Mês 10	R\$ 5.373,70	Mês 19	R\$ 2.309,02
Mês 2	R\$ 8.097,86	Mês 11	R\$ 5.033,18	Mês 20	R\$ 1.968,50
Mês 3	R\$ 7.757,34	Mês 12	R\$ 4.692,66	Mês 21	R\$ 1.627,98
Mês 4	R\$ 7.416,82	Mês 13	R\$ 4.352,14	Mês 22	R\$ 1.287,46
Mês 5	R\$ 7.076,30	Mês 14	R\$ 4.011,62	Mês 23	R\$ 946,94
Mês 6	R\$ 6.735,78	Mês 15	R\$ 3.671,10	Mês 24	R\$ 606,42
Mês 7	R\$ 6.395,26	Mês 16	R\$ 3.330,58	Mês 25	R\$ 265,90
Mês 8	R\$ 6.054,74	Mês 17	R\$ 2.990,06	Mês 26	R\$ 0,00
Mês 9	R\$ 5.714,22	Mês 18	R\$ 2.649,54		

Fonte: Autor

É importante evidenciar que neste caso, após avaliação positiva do sistema pela empresa Claro, o equipamento DMI-T5T que realizava a coleta e armazenamento de dados foi retirado, ficando apenas a controladora AGST no local. Porém, se for considerado o custo de DMI, onde a instalação foi realizada por mão de obra própria, sem custo, para este cenário o *payback* será de 32 meses conforme equação 3.

$$\text{Payback simples com DMI} = \frac{10698,9}{340,52} = 32 \text{ meses} \quad (3)$$

Tabela 8 - Valores do *payback* por mês com custo do DMI-A663CA

Projeção <i>Payback</i> Simples					
Mês	Custo	Mês	Custo	Mês	Custo
Mês 1	R\$ 10.358,38	Mês 13	R\$ 6.272,14	Mês 25	R\$ 2.185,90
Mês 2	R\$ 10.017,86	Mês 14	R\$ 5.931,62	Mês 26	R\$ 1.845,38
Mês 3	R\$ 9.677,34	Mês 15	R\$ 5.591,10	Mês 27	R\$ 1.504,86
Mês 4	R\$ 9.336,82	Mês 16	R\$ 5.250,58	Mês 28	R\$ 1.164,34
Mês 5	R\$ 8.996,30	Mês 17	R\$ 4.910,06	Mês 29	R\$ 823,82
Mês 6	R\$ 8.655,78	Mês 18	R\$ 4.569,54	Mês 30	R\$ 483,30
Mês 7	R\$ 8.315,26	Mês 19	R\$ 4.229,02	Mês 31	R\$ 142,78
Mês 8	R\$ 7.974,74	Mês 20	R\$ 3.888,50	Mês 32	R\$ 0,00
Mês 9	R\$ 7.634,22	Mês 21	R\$ 3.547,98		
Mês 10	R\$ 7.293,70	Mês 22	R\$ 3.207,46		
Mês 11	R\$ 6.953,18	Mês 23	R\$ 2.866,94		
Mês 12	R\$ 6.612,66	Mês 24	R\$ 2.526,42		

Fonte: Autor

Neste capítulo foi possível apresentar um consolidado de dados com especificações elétricas do sistema de alimentação, climatização e de operação do sistema de *free cooling*. O equipamento DMI-A663CA se mostrou um complemento formidável para armazenamento e acesso remoto a dados de instalações remotas. Mesmo sem dados do histórico de consumo do sistema de climatização também é possível utilizar dados da fatura de energia da instalação para criar projeções e avaliar com metodologias de *payback*.

4.8 DIFICULDADES

Devido ao fato de ser um estudo de caso em uma aplicação corporativa, após a empresa avaliar internamente como viável o sistema de *free cooling*, foi retirado o equipamento DMI-

A663CA para utilização em outra localidade no Brasil, por este motivo não foi possível a coleta por período maior.

Por se tratar de local sensível e com alto valor financeiro envolvido, informações com detalhes e funções dos equipamentos de telecomunicações armazenados no local não foram detalhadas aqui devido a sigilo estratégico da Claro.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após o desenvolvimento deste estudo de caso e conhecendo o contexto energético envolvido, no qual o Brasil apresenta diferentes tipos de fontes de energia elétrica e também se observa um movimento social para a busca por eficiência energética para redução de custos, mas também para minimizar impactos ambientais, mostrou-se a aplicação de um sistema de *free cooling* em Santa Catarina na cidade de São Bonifácio.

Ao observar os dados coletados, é importante ressaltar que apesar de seus benefícios, o sistema de *free cooling* deve ser utilizado como um complemento na climatização de um ambiente de *datacenter*. As mudanças de temperatura e umidade da localidade tornam sua operação variável, principalmente no verão.

Neste estudo de caso, nota-se que pela amostra da operação do sistema de climatização antes da implantação do *free cooling*, os compressores sofriam acionamento e desligamento constantes, após a implantação os dados demonstraram que estes acionamentos foram reduzidos e em muitos períodos apenas o *free cooling* climatizou a instalação.

O *payback* simples aplicado também demonstrou que esta aplicação pode-se mostrar um investimento interessante, além de colaborar no consumo sustentável de energia elétrica.

5.1 SUGESTÕES DE MELHORIAS

Ainda que o objetivo de avaliar a aplicação do sistema de *free cooling* no estado de Santa Catarina tenha sido alcançado, a aplicação de um equipamento como o DMI-A663CA para realizar coleta de dados do comportamento e consumo de energia elétrica do sistema de climatização pode facilitar a avaliação final dos resultados.

Também é importante prever instalações que possuem equipamentos com restrição de acesso a informações de equipamentos pois, em operadoras de telecomunicações é comum equipamentos estratégicos com dados sigilosos.

REFERÊNCIAS

- ABNT. **NBR 16401-1**. 2008. Disponível em:
http://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/EngMec_NOTURNO/TM374/NBR_16401-1_2008.pdf.
 Acesso em: 28 abr. 2022.
- AGST. **Controlador Conflex DUO**. Disponível em:
<https://www.agst.com.br/produto/controlador-conflex-duo>. Acesso em: 03 mai. 2022. Acesso em: 23 abr. 2022.
- BARROS, Benjamim Ferreira de; BORELLI, Reinaldo; GEDRA, Ricardo Luis. **Eficiência Energética: técnicas de aproveitamento, gestão de recursos e fundamentos**. São Paulo: Saraiva, 2015. 153 p.
- CHAGAS, Marcos Wilson Pereira D. **Sistemas de Energia e Climatização - Aplicações Práticas em Telecomunicações e Data Center**. São Paulo. Editora Saraiva, 2013. 9788536520315. Disponível em:
<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788536520315/>. Acesso em: 10 abr. 2022.
- COOPERSYSTEMS. **Ventilação Adiabática**. Disponível em:
<http://coopersystems.com.br/adiabatica.php>. Acesso em: 03 mai. 2022.
- COOPERZEM. **Agência Virtual**. Disponível em:
<http://cooperzem.pstconnect.net.br:8080/agenciavirtual>. Acesso em 25 set. 2022.
- ENGENHARIA E ARQUITETURA. **Aplicações típicas com sistemas free cooling**. 2022. Disponível em: <http://www.engenhariaarquitectura.com.br/2022/04/aplicacoes-tipicas-com-sistemas-free-cooling>. Acesso em: 10 mai. 2022.
- ENGENHARIA E ARQUITETURA. **Carga Térmica: princípios básicos**. 2018. Disponível em: <http://www.engenhariaarquitectura.com.br/2018/01/carga-termica-principios-basicos>. Acesso em: 15 mai. 2022.
- EPE. **Matriz Energética e Elétrica**. 2020. Disponível em:
<https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>. Acesso em: 16 abr. 2022.
- FIGUEIRÊDO, José Jair Cavalcante de. **Análise de dependabilidade de sistemas Data Center baseada em índices de importância**. 2011. 103 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciência da Computação, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2011.
- SEIXAS, Paulo Sergio da Silva. **Eficiência Energética**. Curitiba: Contentus, 2020. 186 p.
- LEITE, Antonio Dias. **Eficiência e Desperdício da Energia no Brasil**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012. 160 p.
- FACCIONI FILHO, Mauro. **Conceitos e infraestrutura de datacenters**. Palhoça: Unisulvirtual, 2016. 117 p.

INMETRO. **Conheça mais sobre a etiqueta do PBE**. 2019. Disponível em: <https://www.gov.br/inmetro/pt-br/assuntos/avaliacao-da-conformidade/programa-brasileiro-de-etiquetagem/conheca-mais-sobre-a-etiqueta-do-pbe>. Acesso em: 22 abr. 2019.

IPEA. **Ipea divulga nova edição do Boletim Mercado de Trabalho**. 2016. Disponível em: http://www.ipea.gov.br/portal/index.php?option=com_content&view=article&id=27678&catid=10&Itemid=9. Acesso em: 16 abr. 2022.

ISSO. **DMI A663CA**. Disponível em: <https://isso.digital/produto/175/5#caracteristica>. Acesso em: 03 mai. 2022. Acesso em: 26 abr. 2022.

KHAN ACADEMY. **Impactos socioambientais das usinas hidrelétricas**. 2018. Disponível em: [https://pt.khanacademy.org/science/8-ano/fontes-de-energia/produzindo-energia-eletrica/a/impactos-socioambientais-das-usinas-hidreletricas#:~:text=Destrui%C3%A7%C3%A3o%20da%20vegeta%C3%A7%C3%A3o%20natural%3B,migrat%C3%B3rios%20e%20reprodutivos%20\(piracema\)%3B](https://pt.khanacademy.org/science/8-ano/fontes-de-energia/produzindo-energia-eletrica/a/impactos-socioambientais-das-usinas-hidreletricas#:~:text=Destrui%C3%A7%C3%A3o%20da%20vegeta%C3%A7%C3%A3o%20natural%3B,migrat%C3%B3rios%20e%20reprodutivos%20(piracema)%3B). Acesso em: 12 abr. 2022.

MARIN, Paulo Sérgio. **Data Centers - Engenharia: Infraestrutura Física**. São Paulo: PM Books, 2016. 280 p.

MARQUES, Mauricio Ronei. Estudo de caso: **Estudo De Caso: Gerenciamento de um projeto de Datacenter com as boas práticas do Project Management Institute (PMI)**. 62 f. Monografia (Especialização) - Curso de Especialista em Teleinformática e Redes de Computadores, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

MME. **Relatório de Atividades do Comitê Gestor de Indicadores e Níveis de Eficiência Energética – CGIEE**. 2014. Disponível em: https://www.gov.br/mme/ptbr/assuntos/conselhos-e-comites/arquivos/conselhos-e-comites/RelatorioCGIEE2014_formatooficial.pdf. Acesso em: 18 abr. 2022.

MORAIS, Dayler Losi de. **Análise de ampliação de infraestrutura de um centro de dados: sistema tradicional versus híbrido**. 2010. 78 f. Dissertação (Doutorado) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade de Brasília, Brasília, 2010.

PIXEL. **Free Cooling system**. Disponível em: <https://pixel.tj/en/solutions/free-cooling-system>. Acesso em: 02 mai. 2022.

PREFEITURA DE SÃO BONIFÁCIO. **Aspectos Geográficos**. 2015. Disponível em: <https://www.saobonifacio.sc.gov.br/cms/pagina/ver/codMapaItem/60415>. Acesso em: 07 mai. 2022.

RASMUSSEN, Neli. **Calculating Total Cooling Requirements for Data Centers**. Disponível em: <http://socrates.acadiau.ca/courses/comp/dsilver/2923/readings/APC%20Cooling%20Calc.pdf>. Acesso em: 16 mai. 2022.

TELECO. **Data Center I: Conceitos e Características**. Disponível em: https://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialdatacenterincendio1/pagina_2.asp. Acesso em: 19 abr. 2022.

TELECO. **Data Center I: Refrigeração e Controle de Umidade**. Disponível em: https://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialdcseg1/pagina_5.asp. Acesso em: 19 abr. 2022.

TOSSI, Luis. **Eficiência energética em Data Centers**. Revista de Redes, Telecom e Instalações, São Paulo, n. 166, p. 38-51, mar. 2014. Mensal.

TRANE. **Catálogo IOM Wall Mounted**. 2015. Disponível em: https://www.trane.com/content/dam/Trane/Commercial/lar/br/produtos-sistemas/equipamentos/Unitarios/Self_Containeds/Wall_Mounted/Catalogo_IOM-WallMounted%28PKG-SVX002B-PT%29.pdf. Acesso em: 19 abr. 2022.