

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

RODRIGO CARLOS TIBERIO

**ESTUDO DA VIABILIDADE TÉCNICO-ECONÔMICA DE SISTEMA DE
COGERAÇÃO DE ENERGIA A GÁS NATURAL PARA DATA CENTERS**

SÃO PAULO

2017

RODRIGO CARLOS TIBERIO

**ESTUDO DA VIABILIDADE TÉCNICO-ECONÔMICA DE SISTEMA DE
COGERAÇÃO DE ENERGIA A GÁS NATURAL PARA DATA CENTERS**

Monografia apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São
Paulo para obtenção do título de
Especialista em Energias
Renováveis, Geração Distribuída e
Eficiência Energética.

SÃO PAULO

2017

RODRIGO CARLOS TIBERIO

**ESTUDO DA VIABILIDADE TÉCNICO-ECONÔMICA DE SISTEMA DE
COGERAÇÃO DE ENERGIA A GÁS NATURAL PARA DATA CENTERS**

Monografia apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São
Paulo para obtenção do título de
Especialista em Energias
Renováveis, Geração Distribuída e
Eficiência Energética.

Área de Concentração:
Engenharia Elétrica e Mecânica

Orientador: (Prof. Msc. Ronaldo Andreos)

SÃO PAULO

2017

Tiberio, Rodrigo Carlos

Estudo da viabilidade técnico-econômica de sistema de cogeração de energia a gás natural para Data Centers. – São Paulo, 2017.

Dissertação apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

1.Energia 2.Engenharia Elétrica 3.Engenharia Mecânica 4.Curso de Graduação I. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica II.t.

RESUMO

Neste trabalho é feito um estudo de viabilidade técnico-econômica do uso de sistema de cogeração de energia a gás natural para aplicações em Data Centers.

O objetivo é proporcionar economia, alta eficiência e confiabilidade. Para isso, com base nas demandas térmicas e elétricas do data center, é feito um estudo termodinâmico minucioso, bem como uma análise da viabilidade, levando-se em conta as modificações que devem ser feitas com relação as plantas tradicionais, que incluem turbinas a gás, sistema de recuperação, chillers de absorção e torres de resfriamento.

O sistema de cogeração a gás natural, mostrou-se economicamente viável além de aumentar a disponibilidade do data center por ser uma fonte adicional às existentes.

Palavras-Chave: Cogeração de energia, Gás Natural, Data Centers, Eficiência, Economia.

ABSTRACT

In this work, it studies the technical and economic feasibility of using cogeneration system to natural gas for applications in data centers.

The goal is to provide economy, high efficiency and reliability. To this end, based on the thermal and electrical demands of the data center, a detailed thermodynamic study is done, as well as a feasibility analysis, taking into account the modifications that must be made in relation to traditional plants, which include gas turbines, recovery system, absorption chillers and cooling towers.

The natural gas cogeneration system has proved to be economically viable, as well as increasing the availability of the data center as an additional source for existing ones.

Keywords: *Energy cogeneration, Natural gas, Data Centers, Efficiency, Economy.*

LISTA DE FIGURAS

Figura 2. 1 – Processo de Cogeração de Energia.....	15
Figura 2. 2 – Sistema Convencional X Sistema de Cogeração	16
Figura 2. 3 – Fator de Utilização de Energia - FUE.....	17
Figura 2. 4 – Configuração Topping e Bottoming – Cogeração	18
Figura 3. 1 – Planta do Data Center Analisado.	27
Figura 3. 2 – Layout Interno do Data Center Analisado.	28
Figura 3. 3 – Diagrama Elétrico do Data Center Analisado.....	30
Figura 3. 4 – Diagrama de Refrigeração do Data Center Analisado.	32
Figura 3. 5 – Confinamento de Corredor Frio.....	32
Figura 3. 6 – Insuflamento no Data Center Analisado.....	33
Figura 3. 7 – Distribuição Energético do Data Center Analisado.....	34
Figura 4. 1– Processo de Cogeração do Data Center Analisado.....	36
Figura 4. 2– Planta do Data Center com a Usina de Cogeração.....	37
Figura 4. 3– Diagrama Elétrico do Data Center com a Planta de Cogeração.	38
Figura 4. 4– Diagrama de Refrigeração do Data Center	39
Figura 4. 5– Demanda e Geração de Energia Elétrica por Hora.....	41
Figura 4. 6– Demanda e Geração de Energia Térmica por Hora.....	41
Figura 4. 7– Cálculo de Qualificação da Cogeração.	42
Figura 4. 8– Cálculo do Fator de Utilização de Energia – FUE.....	43
Figura 4. 9– Distribuição Energética do Data Center com Cogeração.....	44
Figura 5. 1 – Gráfico Comparativo de Custo Convencional X Cogeração.....	48

LISTA DE TABELAS

Tabela 3. 1 – Resumo de Requisitos TIER.	26
Tabela 3. 2 – Demanda Elétrica do Data Center Analisado.	29
Tabela 3. 3 – Demanda Térmica do Data Center Analisado.	31
Tabela 3. 4 – Tabela de Classificação PUE.	34
Tabela 4. 1 – Demanda Elétrica do Data Center Analisado para Cogeração.	35
Tabela 4. 2 – Balanço Energético do Sistema de Cogeração Proposto.	39
Tabela 4. 3 – Qualificação da Cogeração – Requisitos da ANEEL.	42
Tabela 5. 1 – Diferenças de Custos na Contratação de Energia Elétrica.	45
Tabela 5. 2 – Custos de Cogeração a Gás Natural.	46
Tabela 5. 3 – Custos de Associados a Autoprodução de Energia Térmica.	46
Tabela 5. 4 – Custos Operacionais Atuais X Cogeração.	47
Tabela 5. 5 – Investimentos e Payback Simples.	48
Tabela 5. 6 – Análise Financeira do VPL.	49
Tabela 5. 7 – Análise Financeira do TIR.	51

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABS	Resfriador Líquido por Absorção
AC	Ar Condicionado
AG	Água Gelada
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
AQ	Água Quente
CAG	Central de Água Gelada
CCEE	Câmara de Comercialização de Energia Elétrica
CHILLER	Resfriador de Líquido para Sistema de Ar Condicionado
CO ₂	Dióxido de Carbono
COP	<i>Coefficient of Performance</i>
E	Energia
EE	Energia Elétrica
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
ET	Energia Térmica
FC%	Fator de Cogeração
FCS	Fator de Calor Sensível
FP	Fator de Potência
FUE	Fator de Utilização de Energia
GMG	Grupo Motor Gerador
GN	Gás Natural
HRSG	<i>Heat Recovery Steam Generator</i>
LiBr	Brometo de Lítio
MCE	Motor de Combustão Externa
MCI	Motor de Combustão Interna
PCI	Poder Calorífico Inferior
PUE	<i>Power Usage Effectiveness</i>
QTD	Quantidade

TE	Tarifa de Energia Elétrica
TG	Turbina a gás
TI	Tecnologia da Informação
TIR	Taxa Interna de Retorno
TV	Turbina a Vapor
UPS	<i>Uninterruptible Power Supply</i>
VPL	Valor Presente Líquido
μTG	Micro Turbina a Gás

LISTA DE SIMBOLOS E UNIDADES

cm	Centímetro
GW	Gigawatt
GWh	Gigawatt-hora
kcal	Quilocaloria
kcal/h	Quilocaloria por hora
kcal/m ³	Quilocaloria por metro cúbico
kg/s	Quilograma por segundo
kJ/kg	Quilojoule por quilograma
kW	Quilowatt
kWe	Quilowatt-elétrico
kWh	Quilowatt-hora
kWt	Quilowatt-térmico
m ²	Metro quadrado
m ³	Metro cúbico
m ³ /h	Metro cúbico por hora
MW	Megawatt
MWh	Megawatt-hora
R\$	Reais
R\$/KWh	Reais por quilowatt-hora
R\$/TR	Reais por tonelada de refrigeração
TR	Tonelada de Refrigeração
TR/h	Tonelada de Refrigeração por hora
US\$	Dólar
V	Volt
W	Watt

SUMÁRIO

1.1	INTRODUÇÃO	12
1.2	OBJETIVO	13
1.3	MOTIVAÇÃO E JUSTIFICATIVAS	13
2	ESTADO DA ARTE	14
2.1	DEFINIÇÃO DE COGERAÇÃO	15
2.2	CICLOS DE COGERAÇÃO.....	17
2.3	TECNOLOGIAS DE COGERAÇÃO	18
2.4	COMBUSTÍVEIS APLICADOS NA COGERAÇÃO	20
2.5	LEGISLAÇÃO	20
2.6	COGERAÇÃO QUALIFICADA	23
2.7	REQUISITOS DA QUALIFICAÇÃO	23
3	DATA CENTER	25
3.1	CLASSIFICAÇÃO	25
3.2	CARACTERÍSTICAS CONSTRUTIVAS DO DATA CENTER ANALISADO...26	
3.3	DEMANDA ELÉTRICA.....	29
3.4	DIAGRAMA ELÉTRICO	29
3.5	DEMANDA TÉRMICA	31
3.6	SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO.....	31
3.7	EFICIENCIA INICIAL DO DATA CENTER - PUE	33
4	PROPOSTA DE COGERAÇÃO PARA DATA CENTER.....	35
4.1	PROCESSO DE COGERAÇÃO PARA O DATA CENTER ANALISADO.....	35
4.2	DIAGRAMA ELÉTRICO COM COGERAÇÃO.....	37
4.3	SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO COM COGERAÇÃO	38
4.4	BALANÇO ENERGÉTICO DO SISTEMA DE COGERAÇÃO	39

4.5	QUALIFICAÇÃO DA COGERAÇÃO	42
4.6	CÁLCULO DO FATOR DE UTILIZAÇÃO DE ENERGIA (FUE)	43
4.7	EFICIENCIA DO DATA CENTER COM COGERAÇÃO - PUE	44
5	RESULTADOS E COMPARAÇÕES.....	45
5.1	CUSTO DA ENERGIA ELÉTRICA	45
5.2	CUSTO PARA A PRODUÇÃO DE ENERGIA – COGERAÇÃO.....	45
5.3	CUSTO DE ENERGIA TÉRMICA – ATUAL X COGERAÇÃO	46
5.4	CUSTOS OPERACIONAIS TOTAIS	47
5.5	INVESTIMENTOS.....	48
5.6	ANÁLISE DO VALOR PRESENTE LÍQUIDO - VPL.....	49
5.7	ANÁLISE DA TAXA INTERNA DE RETORNO - TIR	50
6	CONCLUSÃO.....	51
	BIBLIOGRAFIA FUNDAMENTAL	53

1.1 INTRODUÇÃO

Data center é um ambiente de missão crítica projetado para trabalhar 24x7x365 com até 99,995% de disponibilidade. Para atender tais exigências, o data center deve ser completamente redundante ao nível de sistemas elétricos, sistemas de refrigeração e rede.

Sua finalidade é abrigar milhares de servidores e banco de dados, *storages*, e ativos de rede, capaz de processar, armazenar e transportar grandes quantidades de informações. Os equipamentos são instalados em racks e possuem proteção contra incêndios, sistema de energia ininterrupta, sistema de refrigeração e sistema de segurança. Os data centers são fundamentais para serviços e atividades de diversos setores da economia: energia, transporte, bancos, saúde, telecomunicações, entretenimento, internet, entre outros.

Os custos operacionais e de energia representam 80% ou mais das despesas anuais de um data center, dentro deste contexto, torna-se imperativo que os data centers revisem suas estratégias de consumo de energia. Os maiores ofensores são os equipamentos de refrigeração.

A métrica que melhor indica a eficiência e otimização do uso de energia elétrica é o *Power Usage Effectiveness* (PUE). O PUE é a relação do consumo total pela energia consumida pelos equipamentos de tecnologia da informação (TI).

O grande desafio dos data centers é atingir valores próximos a um.

A cogeração é definida como um processo de produção e utilização de energia combinada de eletricidade e calor e por meio dela é possível atingir o objetivo de redução do PUE, assim como proporcionar economia de energia elétrica.

Por meio da cogeração, é possível aproveitar para produção de energia térmica, o calor antes perdido, aumentando a eficiência energética do processo, a qual pode chegar aos 90% da energia contida no combustível.

Nos processos convencionais de transformação da energia fóssil em energia elétrica, por mais eficiente que seja o processo, a maior parte da energia contida no combustível usado no acionamento dos geradores, é transformado em calor e perdido para o meio ambiente.

O sistema de cogeração para data centers, aproveita o calor gerado pela exaustão dos gases da geração de energia elétrica, a partir do gás natural do processo principal, para produzir água gelada para aplicação secundária no sistema de refrigeração.

1.2 OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é comprovar a viabilidade técnico-econômica do uso de sistema de cogeração de energia a gás natural para aplicações em Data Centers afim de proporcionar economia, eficiência e confiabilidade.

1.3 MOTIVAÇÃO E JUSTIFICATIVAS

O cenário digital vem sendo caracterizado pela crescente demanda de data centers, Segundo o IDC (2017), a cada 60 segundos, 38 mil horas de música são descarregadas e 150 milhões de e-mails são enviados no mundo. A quantidade de vídeo IP como YouTube e Netflix deve crescer em 4 vezes até 2020.

Todo este tráfego de informações exige que os data centers terão que ter uma infraestrutura robusta, escalável e confiável para atender esta demanda constante.

Segundo as previsões da Empresa de Pesquisa Energética (EPE), a demanda de energia elétrica no Brasil deverá crescer a uma taxa média de 4,8% ao ano, saindo de um patamar de consumo total de 456,5 mil gigawatts-hora (GWh), em 2010, para 730,1 mil GWh em 2020.

O custo da energia é um dos principais ofensores das despesas dos data centers. A preocupação com eficiência em data center vem se refletindo nas

características construtivas, tecnologias de refrigeração e até nos processos de compra de produtos. Atualmente muitas empresas só compram equipamentos com selo de eficiência energética.

Segundo a Frost & Sullivan, em curto prazo, o crescimento dos fornecedores de energia para data centers no Brasil, será impulsionado pela demanda por data centers verticais. A intenção é manter o nível com requisitos de eficiência energética e inovação tecnológica. Nos próximos anos, a necessidade de densificação dos sistemas de refrigeração, altamente eficientes e servidores podem vir a estimular o desenvolvimento do mercado.

Essa demanda por data centers de maior densidade energética, alta eficiência, alta disponibilidade e redução de custos operacionais motivou o estudo do uso da cogeração de energia para esta aplicação.

2 ESTADO DA ARTE

Devido ao caráter técnico do tema tratado a maior parcela da bibliografia encontrada foi de documentos técnicos de empresas especializadas com o aprimoramento da eficiência energética em Data Centers ou em Cogeração de energia a gás natural aplicadas em plantas de hospitais, shoppings, indústrias ou em processos específicos, não havendo fontes acadêmicas publicadas para embasamento.

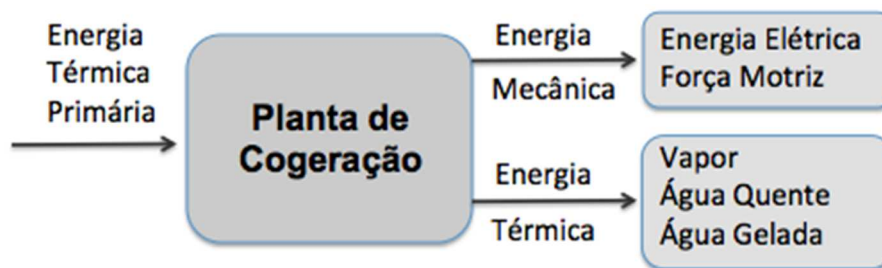
As propostas de eficiência energética em Data Center encontradas basearam-se primordialmente nas boas práticas de engenharia e na experiência adquirida pela equipe de gestores no decorrer das últimas décadas. Entretanto nos últimos anos, com o avanço dos mesmos equipamentos de TI a simulação numérica foi utilizada mais sistematicamente para garantir e comprovar as práticas antes utilizadas.

As propostas de Cogeração de energia encontradas, basearam-se em uso de turbinas a gás para geração de energia térmica combinada de água quente e absorção em chiller para climatização ou geradores a gás com geração de água gelada para refrigeração de edifícios comerciais, shopping center e etc.

2.1 DEFINIÇÃO DE COGERAÇÃO

A cogeração é um processo de produção simultânea de energia elétrica (ou mecânica) e energia térmica útil, com aproveitamento de mais de 70% da energia térmica proveniente da fonte de energética primária (Boyce, M. P. 2002).

Figura 2. 1 – Processo de Cogeração de Energia.



Com a cogeração pode-se obter um aproveitamento de até 85% da energia contida no combustível e o aproveitamento pode dar-se sob a forma de vapor, água quente e/ou fria, para uma aplicação secundária, que pode ou não estar ligada com o processo principal.

Nos processos convencionais de transformação da energia fóssil em energia elétrica (centrais termelétricas), por mais eficiente que seja o processo, a maior parte da energia contida no combustível, usado no acionamento das turbinas, é transformado em calor e perdido para o meio ambiente.

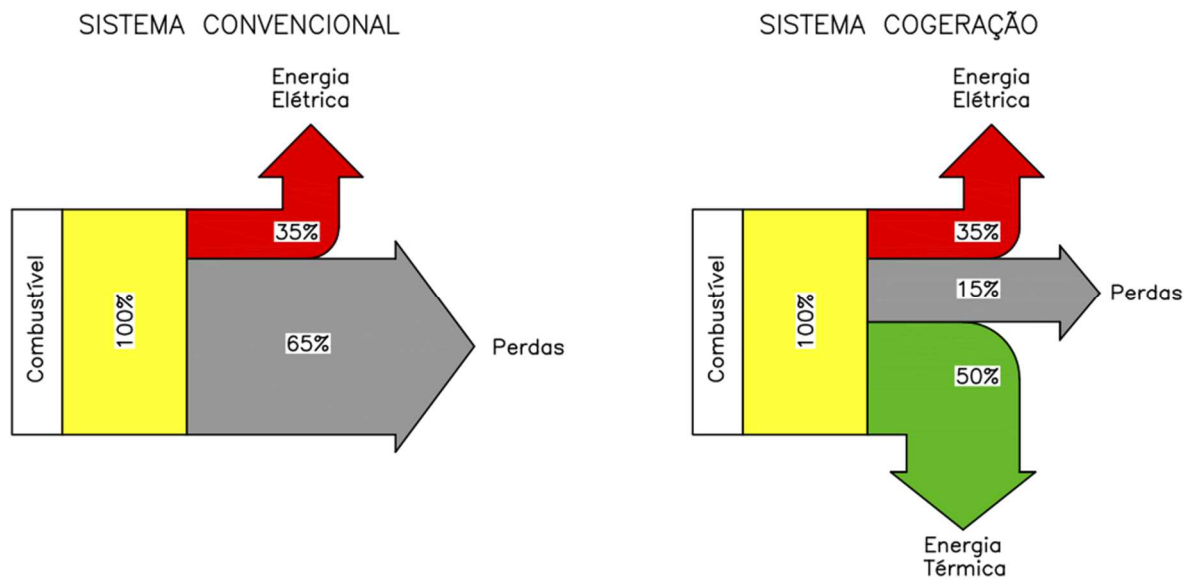
Todo gerador elétrico acionado por algum motor que usa algum combustível é chamado de gerador termelétrico. Por maior que seja a eficiência deste tipo de gerador, a maior parte da energia contida no combustível é transformada em calor e perdida para o meio-ambiente. Trata-se de uma limitação física que não pode ser contornada, independente do tipo de combustível (diesel, gás natural, carvão etc.) ou do tipo de motor (a explosão, a turbina, a gás ou a vapor).

Como muitas indústrias necessitam de energia térmica (vapor, água quente, ar quente ou água gelada), foi desenvolvido a cogeração, um gerador termelétrico em que o calor produzido é usado no processo produtivo.

A vantagem desta solução é que o consumidor economiza o combustível que necessitaria para produzir a energia térmica do processo.

Os sistemas de cogeração são aqueles em que se faz simultaneamente e de forma sequenciada, a geração de energia mecânico-elétrica e térmica a partir de um combustível, tal como os derivados do petróleo, o gás natural, o carvão ou biomassa.

Figura 2. 2 – Sistema Convencional X Sistema de Cogeração



Fonte: Própria.

Os sistemas de cogeração possuem um aproveitamento de energia maior que uma central de geração convencional. A quantificação deste aproveitamento energético é analisado mediante ao Fator de Utilização de Energia (*FUE*).

Figura 2. 3 – Fator de Utilização de Energia - FUE

$$FUE = \frac{\dot{W} + \dot{Q}_u}{\dot{m} \times PCI}$$

Onde:

FUE - Fator de Utilização de Energia;

W - Potência de eixo produzida pela maquina (kW);

Qu - Taxa de calor útil produzido ou recuperado (kW);

m - Vazão mássica de combustível (kg/s);

PCI: Poder calorífico inferior do combustível (kJ/kg);

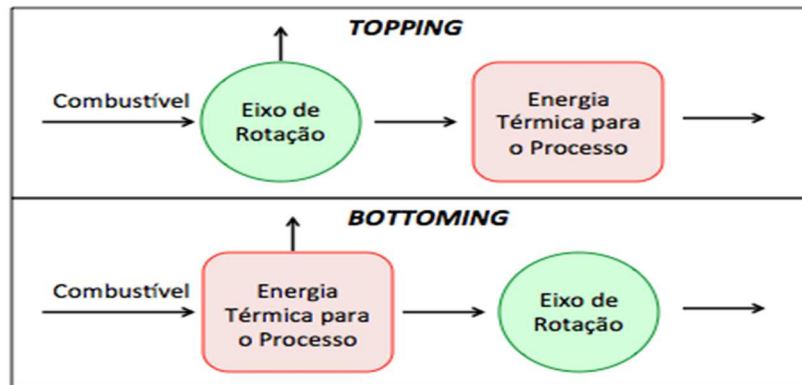
2.2 CICLOS DE COGERAÇÃO

As tecnologias de cogeração são usualmente classificadas em dois grupos, de acordo com a ordem relativa de geração de potência e calor, do ponto do fluxo energético.

O ciclo que opera em regime inferior ou *bottoming*, tem como geração principal energia térmica e o calor recuperado é utilizado na produção de energia elétrica. Este ciclo é normalmente usado em indústrias químicas, as quais estão associadas a processos que exigem altas temperaturas.

O ciclo que opera regime superior ou *topping*, tem como geração principal energia elétrica e o calor recuperado é utilizado na produção de energia térmica. (KEHLHOFER, 1999). Esse regime será utilizado para a planta de cogeração no data center analisado.

Figura 2. 4 – Configuração Topping e Bottoming – Cogeração



Fonte: Própria.

Os principais ciclos usados para configurações de centrais de cogeração são:

- Ciclo Rankine ou a vapor;
- Ciclo Brayton ou a gás;
- Ciclo combinado;
- Motores de combustão interna (Ciclo Diesel e Ciclo Otto).

2.3 TECNOLOGIAS DE COGERAÇÃO

As tecnologias mais utilizadas nos sistemas de cogeração são:

- **Turbinas a Gás (TG):** São usadas em cogeração de grande escala devido a sua confiabilidade. Sua manutenção é menor do que os Motores de Combustão Interna (MCI). As temperaturas dos gases de exaustão da TG são elevadas na ordem de 540°C. São geralmente utilizadas em escala maiores que 1 MW em regime de operação contínuo.
- **Turbinas a Vapor (TV):** São usadas em plantas térmicas e indústrias, o vapor usado nestas turbinas é produzido em um boiler, nele pode ser queimado qualquer tipo de combustível. Alternativamente um concentrador solar pode proporcionar a energia térmica à água para sua evaporação.

- **Microturbinas (μ TG):** São turbinas com o mesmo conceito das turbinas a gás, porém, em menor escala.
- **Motores de Combustão Interna (MCI):** Os motores de combustão interna são equipamentos de movimento alternativo e queimam o combustível dentro da câmara de combustão para produzir potência no eixo. Os MCI podem ser do tipo ignição por centelha com a queima de gás natural ou biogás ou do tipo compressão que faz uso do diesel, biodiesel ou óleo pesado. A manutenção nesses equipamentos deve ser contínua, já que possui um grande número de partes móveis. Os MCI são comumente usados em cogeração em potências menores a 1 MW com regime de operação contínuo e standby.
- **Motores Stirling:** São motores de combustão externa, onde a câmara de combustão é externa ao motor, assim, esse ciclo pode trabalhar com qualquer combustível (gás natural, gasolina, álcool, butano, entre outros) ou eventualmente usar energia solar. São utilizados para aplicações em baixa escala e seu nível de eficiência não ultrapassa 8%.
- **Resfriadores de líquido por Absorção (ABS):** Os resfriadores de líquido por absorção (ABS) podem utilizar o vapor ou a água no processo, e o seu ciclo frigorífico apresenta quatro estágios principais:□
 - I. O refrigerante (água) em estado líquido é aspergido sobre os tubos do evaporador, no lado casco do evaporador que está em quase vácuo (6 mmHg), provocando a sua evaporação e conseqüente retirada de calor sensível da água gelada que passa dentro dos tubos do evaporador (e que será utilizada portanto para climatizar os ambientes desejados), baixando a sua temperatura, em média, de 12,5°C para 7°C;
 - II. Ao mesmo tempo, solução concentrada de brometo de lítio (LiBr) é aspergida no lado casco do absorvedor. Por diferença de pressão e pela afinidade química, a solução concentrada de LiBr absorve o vapor d'água (refrigerante), atingindo o seu limite de absorção. O resfriamento provocado pela passagem da água de torre condensa a solução que se acumula no fundo do trocador;
 - III. A solução fraca ou diluída de LiBr acumulada é bombeada para o gerador, onde, aquecida através de uma fonte de calor externa (queima direta de gás natural, água quente, vapor d'água ou gases quentes), é separada através da evaporação do refrigerante (água);

IV. A solução concentrada de LiBr retorna para o absorvedor, reiniciando o ciclo, e o refrigerante (água) vaporizado flui para o condensador onde retorna ao estado líquido através da perda de calor latente pelo resfriamento provocado pela circulação da água de torre e também reinicia o ciclo (Andreas, R., 2016).

A característica particular do sistema de absorção consiste em requerer um consumo muito pequeno de energia elétrica, contudo, deve-se dispor de uma fonte térmica de temperatura relativamente alta (100°C). O equipamento envolvido em um sistema de absorção é maior e mais pesado que um sistema de compressão de vapor, e pode ser economicamente justificado nos casos onde é disponível uma fonte térmica adequada e que, de outro modo seria desperdiçada (Wyllen, G. V. et al., 1995), como é o caso da cogeração.

Dependendo da tecnologia, os chillers de absorção podem ter rendimento (COP) variando de 0,74 a 1,57.

2.4 COMBUSTÍVEIS APLICADOS NA COGERAÇÃO

Na cogeração é possível utilizar diversos combustíveis:

- **Sólidos:** bagaço da cana-de-açúcar, palha da cana-de-açúcar, lenha, pallets de madeira, carvão e lixo urbano;
- **Líquidos:** derivados de petróleo como óleo e diesel, biocombustíveis como etanol e biodiesel, resíduos de processo, como licor negro.
- **Gasosos:** gás natural, biogás, resíduos de processos, entre outros (Andreas, R., 2016).

2.5 LEGISLAÇÃO

Toda legislação publicada até janeiro de 1998 contempla a regulação da implantação de grandes projetos de geração de energia elétrica (maiores do que 50 MW), relegando a um plano secundário a cogeração, tido como a forma mais eficiente de produção de energia elétrica. As leis, decretos e portarias que, de

alguma forma, mencionaram especificamente a cogeração, foram publicadas até 1989. De lá para cá, nota-se uma preocupação exclusiva com a regulamentação com a atividade de Produtor Independente de Energia e do Autoprodutor de grande porte.

O que nos interessa no caso da implantação da cogeração, é a legislação sobre os Produtores Independentes de Energia e Autoprodutores, justamente a categoria em que se encaixa o data center que está sendo estudado.

Várias portarias foram publicadas desde 1989, tais como a portaria do antigo DNAEE (atual ANEEL) nº283 de 31/12/1985 que regula o fornecimento de energia elétrica de emergência, a portaria nº220 de 24/10/1991 que regulamenta a aquisição de energia elétrica excedente de Autoprodutores em contratos de longo prazo, até a lei nº9074 de 07/07/1995 que estabelece normas para concessões de serviços públicos e dá outras providências:

- Lei nº 9.074, de 7 de julho de 1995, em sua seção II, define e classifica o produtor independente de energia (PIE), também define e classifica quais consumidores estão autorizados para a compra desta energia. Entre outras, esta lei define que o PIE pode vender a energia produzida para as concessionárias de serviços públicos e para os consumidores livres com demanda elétrica igual ou superior a 3.000 kW, já para os consumidores cativos, a venda só poderá ocorrer com autorização prévia da concessionária de energia da região. Esta lei também assegura o livre acesso do PIE ao sistema de transmissão e distribuição.
- Decreto nº 2.003, de 10 de setembro de 1996, define e regulamenta a produção independente e a autoprodução de energia elétrica com fontes alternativas e renováveis. Este decreto complementa a Lei Nº 9.074 ampliando os acessos de produtores de energia industriais e comerciais.
- Lei nº 9.478, de 6 de agosto de 1997, define a política energética nacional que determina as diretrizes do uso racional das fontes de energia, inclusive as tecnologias alternativas.
- Decreto nº 5.163 de 30 de Julho de 2004, regulamenta a comercialização de energia elétrica, o processo de outorga de concessões e de autorizações de geração de energia elétrica, e dá outras providências. Este decreto define a

geração distribuída como sendo plantas com capacidade instalada inferior a 30 MW.

Principais Mecanismos Regulatórios – ANEEL Baseado na legislação vigente, a ANEEL estabelece diversos mecanismos regulatórios para fomentar a participação das fontes alternativas na geração de energia elétrica no país, conforme disposto a seguir:

- Resolução Normativa ANEEL nº 77 de 18 de agosto de 2004, estabelece os procedimentos vinculados à redução das tarifas de uso dos sistemas elétricos de transmissão e de distribuição, para empreendimentos hidroelétricos e aqueles com base em fonte solar, eólica, biomassa ou cogeração qualificada, cuja potência injetada nos sistemas de transmissão e distribuição seja menor ou igual a 30 MW.
- Resolução Normativa ANEEL nº 167 de 10 de outubro de 2005, esta resolução esclarece o processo de contratação de energia proveniente de geração distribuída. Dentre outros, esta resolução complementa o Decreto Nº 5.163 de 2004.
- Resolução Normativa ANEEL nº 235 de 14 de novembro de 2006, estabelece os requisitos para a qualificação de centrais termelétricas cogeneradoras de energia e dá outras providências. Revoga a resolução Nº 021 de 20 de janeiro de 2000.
- Resolução Normativa ANEEL nº 247 de 21 de dezembro de 2006, estabelece as condições para a comercialização de energia elétrica, oriunda de empreendimentos de geração que utilizem fontes primárias incentivadas, com unidade ou conjunto de unidades consumidoras cuja carga seja maior ou igual a 500 kW e dá outras providências. Esta resolução prevê uma redução de 50% nas tarifas de uso dos sistemas de transmissão e distribuição para as gerações incentivadas, no caso da cogeração a gás natural, para efeito de enquadramento, a capacidade da usina é limitada a 1 MW, este fato também limita os benefícios da cogeração qualificada previstos na resolução normativa da ANEEL Nº 77 de 2004.
- Resolução Normativa ANEEL nº 390 de 15 de dezembro de 2009, Estabelece os requisitos necessários à outorga de autorização para exploração e alteração da capacidade instalada de usinas termelétricas e de outras fontes alternativas

de energia, os procedimentos para registro de centrais geradoras com capacidade instalada reduzida e dá outras providências. Esta normativa estabelece a obrigatoriedade de registro para centrais com capacidade de geração de até 5 MW e de autorização para centrais com capacidade superior a 5 MW. Esta resolução foi criada para atualizar e completar os procedimentos contidos nas normas anteriores, entre outros estabelece a necessidade de emissão da licença ambiental para início da operação da planta e revoga a resolução nº 112, de 18 de maio de 1999.

- Resolução Normativa ANEEL Nº 482 de 17 de abril de 2012, estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração (75 KW) e minigeração (5 MW) distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências. Esta normativa foi um importante avanço na regulamentação brasileira para a cogeração. Entre outros, esta normativa prevê o sistema de medição bidirecional com sistema de compensação de energia na exportação à rede, no entanto a energia não pode ser comercializada, apenas abatida no volume consumido.

2.6 COGERAÇÃO QUALIFICADA

Conforme estabelecido na resolução normativa Nº 235 de 14 de novembro de 2006 da ANEEL, a central termelétrica cogeneradoras deverá atender os seguintes requisitos para fins de enquadramento na modalidade de cogeração qualificada:

2.7 REQUISITOS DA QUALIFICAÇÃO

- Estar regularizada perante ANEEL, conforme o disposto na legislação específica e na resolução nº 112 de 18 de maio de 1999, a qual foi revogada e substituída pela resolução normativa nº 390 de 15 de dezembro de 2009.
- O dispositivo desta resolução visa estabelecer os requisitos para o reconhecimento da qualificação de centrais termelétricas cogeneradoras, com vistas à participação nas políticas de incentivo ao uso racional dos recursos energéticos.

- Atender os requisitos mínimos de racionalidade energética, mediante o cumprimento das inequações (a) e (b) respectivamente:

$$\text{a) } \frac{E_t}{E_f} \geq 15\%$$

$$\text{b) } \left(\frac{E_t}{E_f} \right) \div X + \frac{E_e}{E_f} \geq F_c\%$$

Onde:

- **E_f - Energia da fonte:** energia recebida pela central termelétrica cogeneradora, no seu regime operativo médio, em kWh/h, com base no conteúdo energético específico, que no caso dos combustíveis é o Poder Calorífico Inferior (PCI);
- **E_e - Energia da utilidade eletromecânica:** energia cedida pela central termelétrica cogeneradora, no seu regime operativo médio, em kWh/h, em termos líquidos, ou seja, descontando da energia bruta gerada o consumo em serviços auxiliares elétricos da central;
- **E_t - Energia da utilidade calor:** energia cedida pela central termelétrica cogeneradora, no seu regime operativo médio, em kWh/h, em termos líquidos, ou seja, descontando das energias brutas entregues ao processo as energias de baixo potencial térmico que retornam à central;
- **F_c % - Fator de cogeração:** parâmetro definido em função da potência instalada e da fonte da central termelétrica cogeneradora, o qual se aproxima do conceito de Eficiência Energética;
- **X - Fator de ponderação:** parâmetro adimensional definido em função da potência instalada e da fonte da central termelétrica cogeneradora, obtido da relação entre a eficiência de referência da utilidade calor e da eletromecânica, em processos de conversão para obtenção em separado destas utilidades.

3 DATA CENTER

Data Center é um ambiente crítico, projetado para trabalhar 24x7x365 com objetivo de abrigar sistemas de armazenamento, processamento e transmissão de dados provendo segurança física, energia confiável e ininterrupta, refrigeração adequada e proteção contra incêndio.

Neste capítulo é descrita a planta do data center analisado, destacando-se as características construtivas, equipamentos, nível de redundância, eficiência, bem como, as demandas elétricas e térmicas necessárias para a sua operação.

3.1 CLASSIFICAÇÃO

Um data center é classificado por suas características de disponibilidade e redundância. Por ser tratar de ambientes críticos, devem ser aptos a operar com níveis de disponibilidade próximo a 100%.

O *Uptime Institute* estabeleceu quatro classificações *TIERs* de infraestrutura, baseado na redundância e tolerância a falhas:

TIER I - Infraestrutura básica com componentes de capacidade não redundante e único caminho de distribuição.

TIER II – Infraestrutura com componentes de capacidade redundante e único caminho de distribuição.

TIER III – Infraestrutura com componentes de capacidade redundante, um caminho de distribuição ativo e um caminho alternativo possibilitando manutenção concorrente sem parada no ambiente.

TIER IV – tolerante a falhas, com componentes de capacidade redundante, dois caminhos ativos e simultâneos, refrigeração contínua e compartimentarização que exige separação física dos componentes e caminhos para que uma falha individual não comprometa a redundância.

A Tabela 3.1 mostra os requisitos de redundância para classificação Tier.

Tabela 3. 1 – Resumo de Requisitos TIER.

	<i>Tier I</i>	<i>Tier II</i>	<i>Tier III</i>	<i>Tier IV</i>
Componentes de capacidade	N	N + 1	N + 1	N após qualquer falha
Caminhos de distribuição	1	1	1 ativo e 1 alternativo	2 ativos e simultâneos
Manutenção concorrente	Não	Não	Sim	Sim
Tolerância a falhas	Não	Não	Não	Sim
Compartimentarização	Não	Não	Não	Sim
Refrigeração contínua	Não	Não	Não	Sim

Data Centers com nível de classificação maior, possuem maior confiabilidade garantindo ao clientes maior tempo de operação sem interrupções ou paradas programadas. Atualmente os maiores data centers prestadores de serviços do Brasil são classificados em Tier III. No Brasil, apenas o Banco Santander e a Telebrás SA são classificados como TIER IV (*Uptime Institute 2017*).

3.2 CARACTERÍSTICAS CONSTRUTIVAS DO DATA CENTER ANALISADO

Localizado na cidade de São Paulo em uma área de 5.840 m², o data center possui um prédio de operações, área de recebimento de materiais, estacionamento, portaria, área de geradores a diesel, tanques externo de diesel, subestação e o modulo do data center seguro com cobertura projetada para abrigar o sistema de refrigeração e antenas de transmissão.

O data center é classificado em TIER III e foi projetado para ser seguro e eficiente.

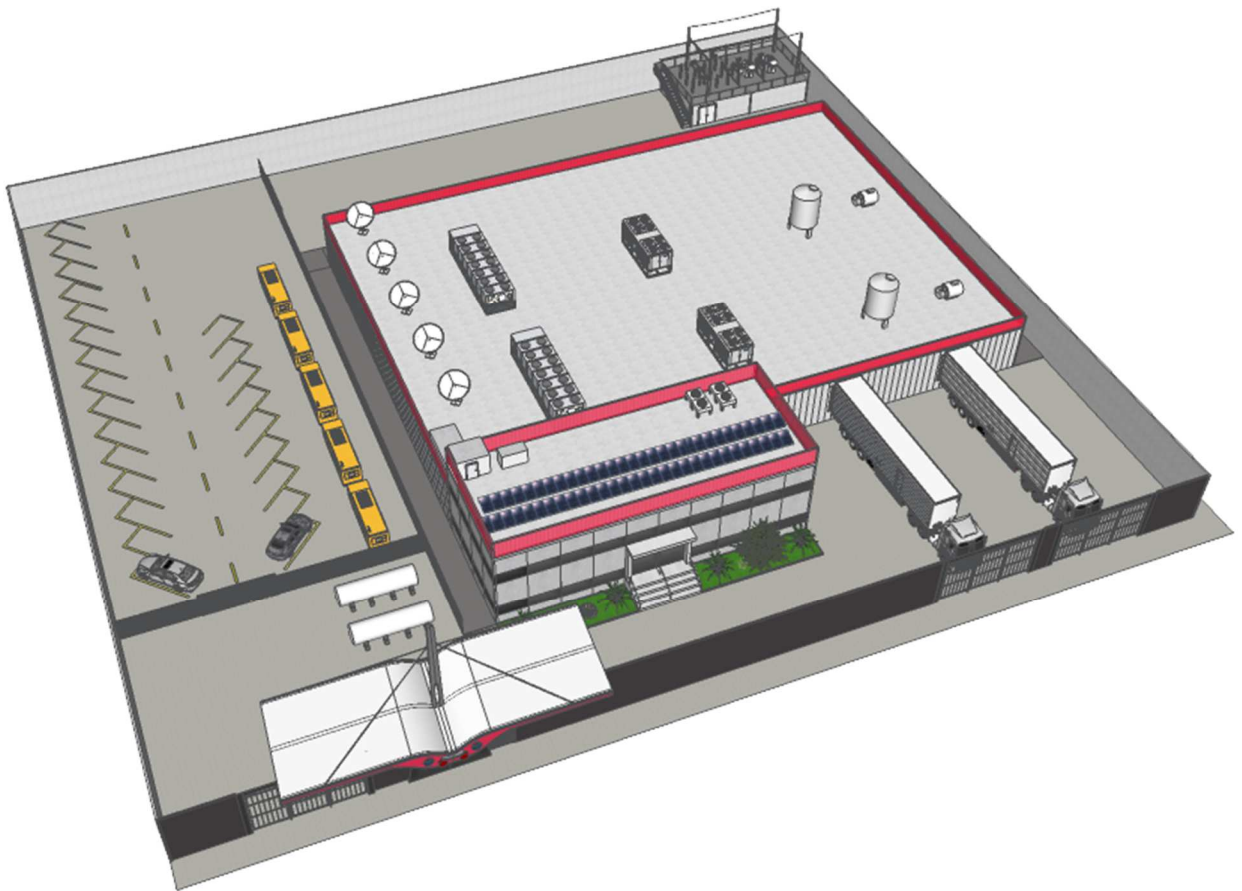
O sistema de segurança dispõe de equipe de operações e vigilância 24x7, controle de acesso com dupla autenticação e sistema de câmeras em todos os ambientes.

O data center possui sistema de detecção de incêndio comum e precoce como também sistema de combate através de agente limpo por inundação de gás Novec 1230.

As paredes foram construídas para resistirem a temperaturas de até 1.000°C por 120 minutos.

O prédio de operações possui sistema fotovoltaico para atender a demanda de refrigeração de conforto para este ambiente bem como a iluminação das áreas comuns.

Figura 3. 1 – Planta do Data Center Analisado.



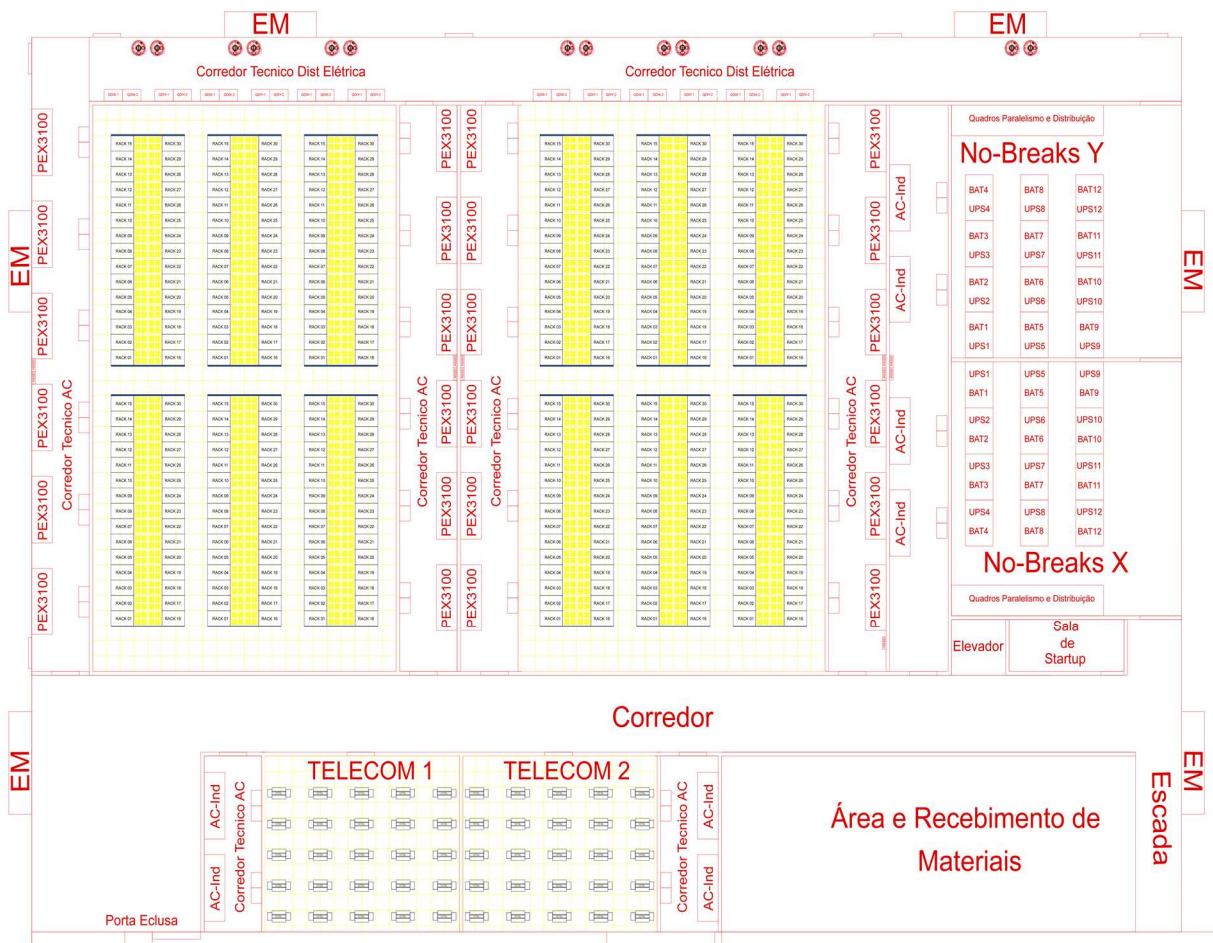
Fonte: Própria.

O módulo do data center seguro abriga 410 racks, sendo 360 racks fechados para equipamentos de TI e 50 racks abertos para operadoras de telecomunicações, além das salas de nobreaks, evaporadoras, painéis de alimentação e sistemas auxiliares.

Foi instalado piso elevado com altura útil de 90cm e forro com altura útil de 50cm.

A Figura 3.2 mostra o layout interno do data center analisado.

Figura 3. 2 – Layout Interno do Data Center Analisado.



Fonte: Própria.

3.3 DEMANDA ELÉTRICA

O data center possui uma demanda elétrica contratada de 2,5 MW. A Tabela 3.2 detalha as potências instaladas com base na planta tradicional, sem sistema de cogeração.

Tabela 3. 2 – Demanda Elétrica do Data Center Analisado.

DEMANDA ELÉTRICA			
Descrição das cargas	QTD	Pot. Un. Média (kW)	Pot. Total (kW)
Racks de TI.	360	4	1440
Racks de telecom.	50	2,2	110
UPS- fator de potência	14	2,4	33,6
Ilum. + Incend. + Aux.			60
Chillers elétricos	2	280,5	561
Evaporadoras (fan coil)	16	12	192
Total kWe			2396,6

A demanda média anual de carga elétrica é constante pois o ambiente opera em 24x7x365.

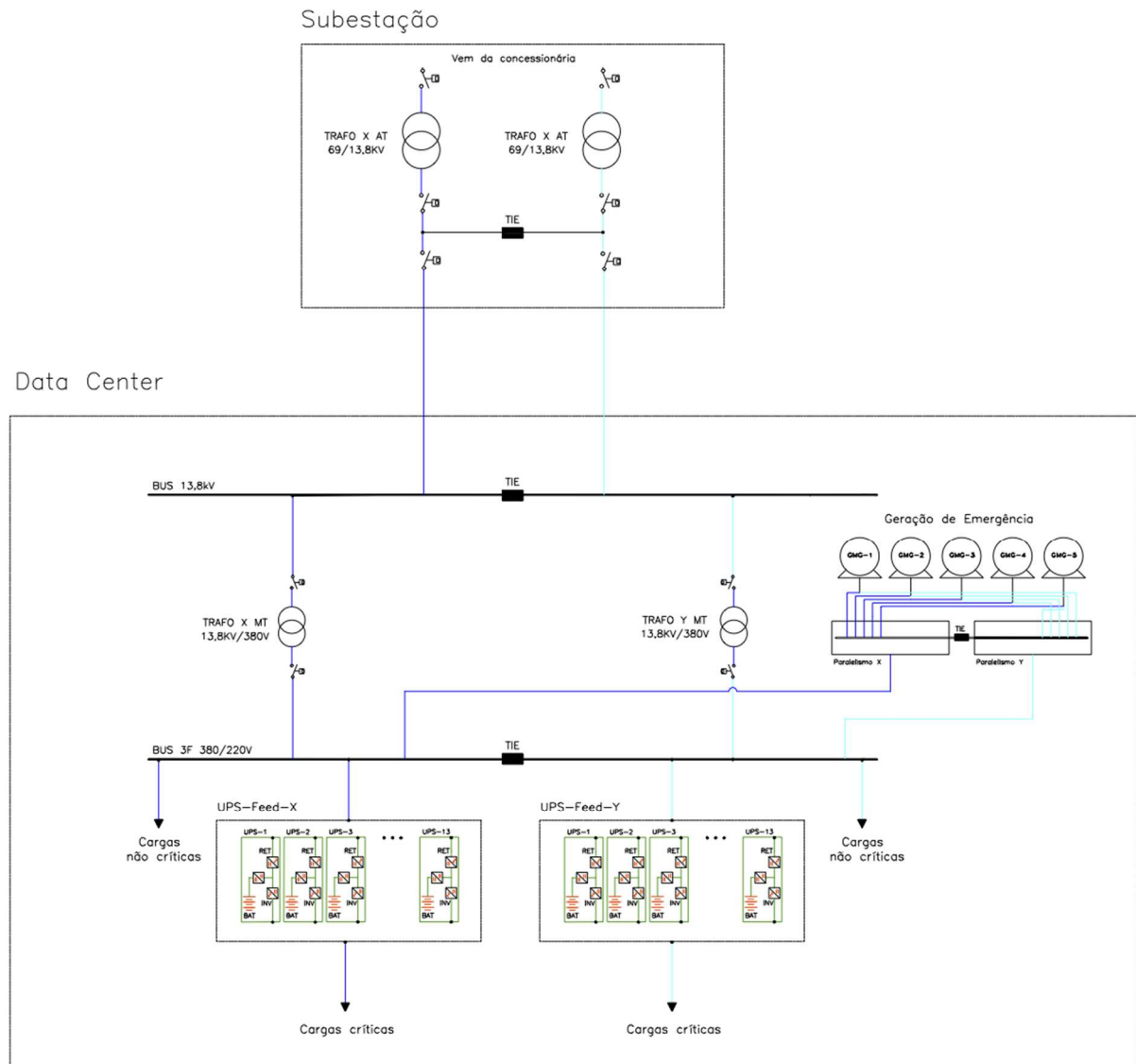
3.4 DIAGRAMA ELÉTRICO

O sistema elétrico foi projetado para atender os requisitos *TER III*, com componentes de capacidade redundante e caminho de distribuição alternativo, composto de :

- Subestação com dupla entrada de energia em alta tensão;
- 5 geradores a diesel de 625kW cada, com redundância (N+1);
- 28 Nobreaks de 120kW cada, com redundância (N+N).

A Figura 3.3 mostra o diagrama elétrico do data center analisado.

Figura 3.3 – Diagrama Elétrico do Data Center Analisado.



Fonte: Própria.

3.5 DEMANDA TÉRMICA

O data center possui uma demanda térmica de 623 toneladas de refrigeração (TR). A Tabela 3.3 detalha a demanda com base na planta tradicional, sem sistema de cogeração.

Tabela 3. 3 – Demanda Térmica do Data Center Analisado.

DEMANDA TÉRMICA			
Descrição das cargas	kWt (sensível)	Fator de calor sensível - chiller	Total kWt
Racks de TI.	1440	0,75	1920,0
Racks de telecom.	110	0,75	146,7
UPS	33,6	0,75	44,8
Ilum. + Incend. + Aux.	60	0,75	80,0
Total kWt			2191
Total TR			623

A demanda média anual de carga térmica é constante pois o ambiente opera em 24x7x365.

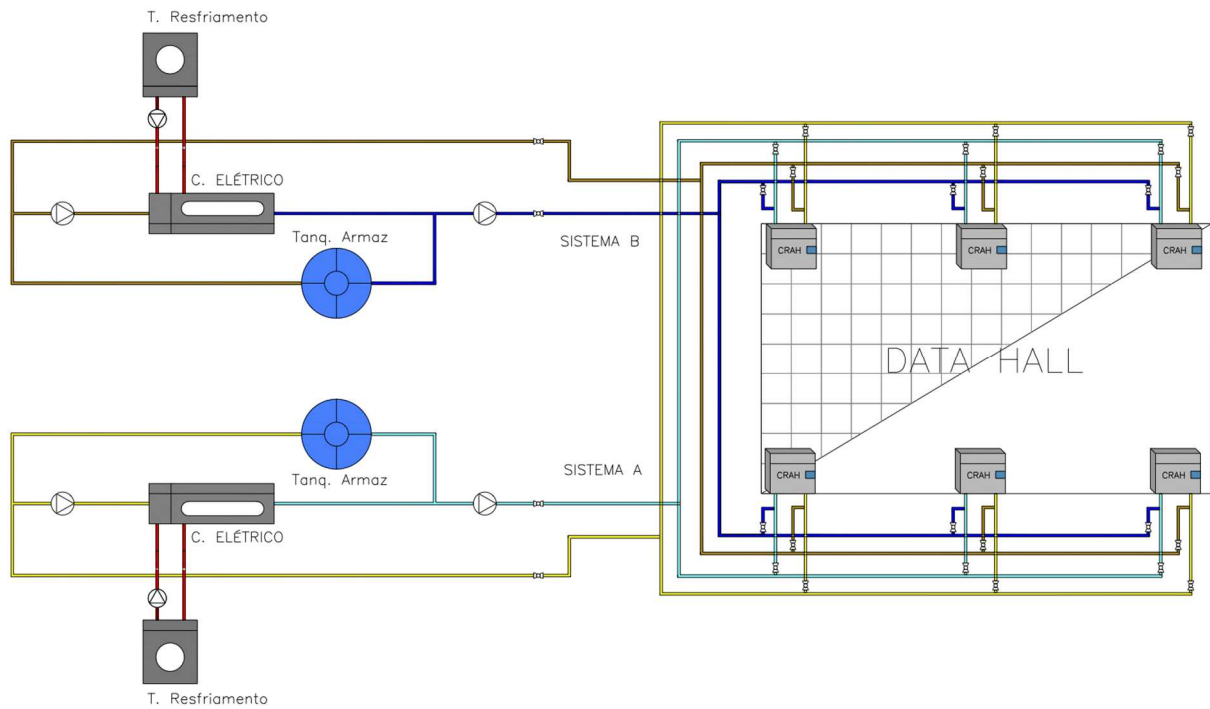
3.6 SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO

O sistema térmico também foi projetado para atender os requisitos de redundância *Tier III* capaz de operar sem interrupção. O sistema utiliza água gelada, e é composto de:

- 2 chillers elétricos de 650TR cada, com redundância (N+N);
- Anel duplo de água gelada;
- 2 tanques de armazenamento de água;
- 2 torres de resfriamentos
- 28 evaporadoras (fan coil), com redundância (N+75%) 16+12;

A Figura 3.4 mostra o diagrama de refrigeração do data center analisado.

Figura 3. 4 – Diagrama de Refrigeração do Data Center Analisado.



Fonte: Própria.

O data center possui corredores frio e quente confinados, esta configuração é utilizada para impedir a recirculação de ar quente para o corredor frio e também para evitar o insuflamento de ar frio onde não ha necessidade. A utilização de confinamento é fundamental para aumentar a eficiência do data center (Marin, P., 2011).

Figura 3. 5 – Confinamento de Corredor Frio.

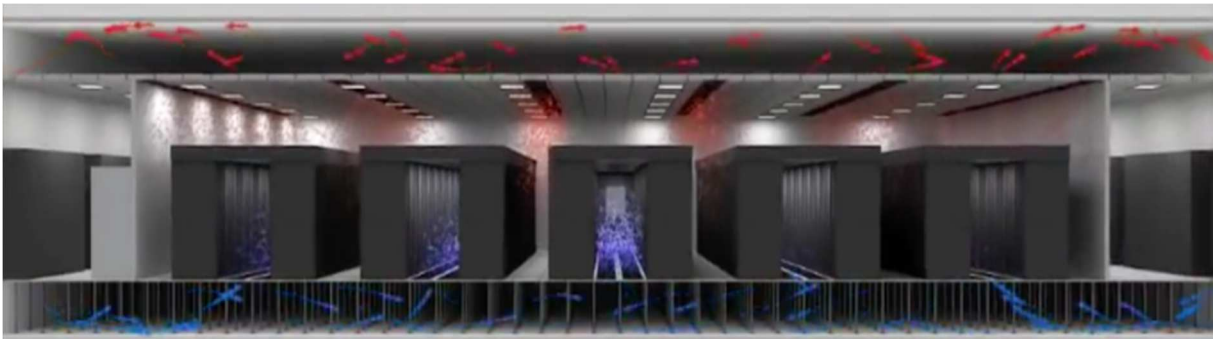


Fonte: [http:// innotechno.com.br/](http://innotechno.com.br/)

Nos corredores frio, as placas de piso elevado são perfuradas que permitem o insuflamento do ar pelo entrepiso. No corredor quente as placas são lisas para impedir a circulação de ar frio nesta área.

O ar quente retorna pelo entreferro através das grelhas até as evaporadoras.

Figura 3. 6 – Insuflamento no Data Center Analisado.



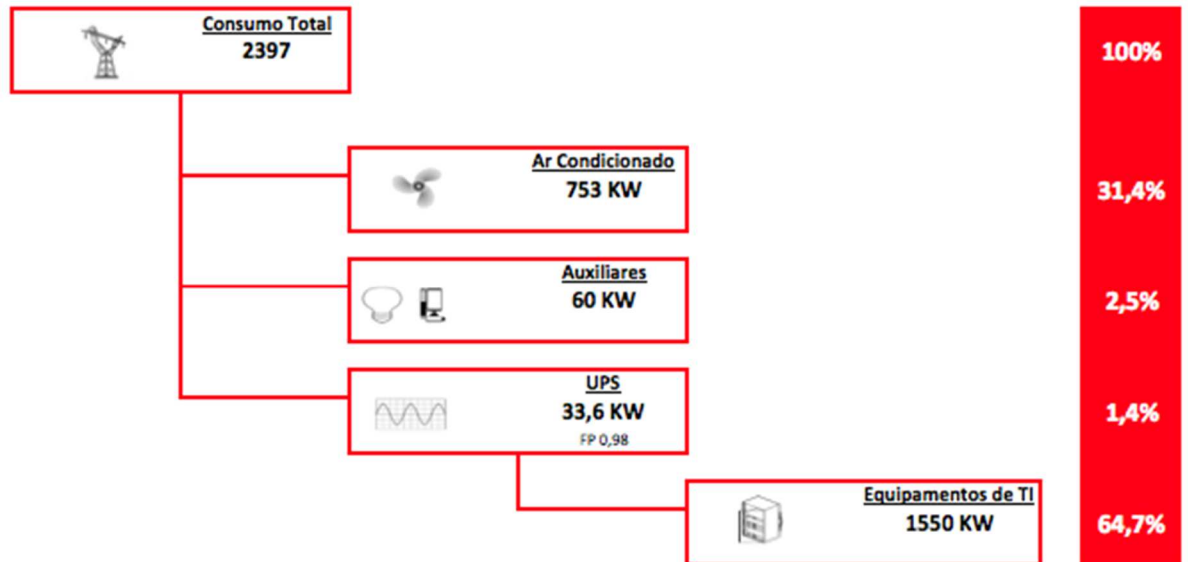
Fonte: Própria.

3.7 EFICIENCIA INICIAL DO DATA CENTER - PUE

A métrica que melhor indica a eficiência e otimização do uso de energia elétrica é o *Power Usage Effectiveness* (PUE). O PUE é a relação do consumo total pela energia consumida pelos equipamentos de tecnologia da informação (TI).

O grande desafio dos data centers é atingir valores próximos a um, isto significa reduzir o consumo de energia elétrica para sustentar as cargas úteis (equipamentos de TI), como também, custos com manutenção do sistema de refrigeração que irá trabalhar em um regime menor (Marin, P., 2011).

Figura 3. 7 – Distribuição Energético do Data Center Analisado.



Fonte: Própria.

O PUE do data center analisado é de 1,5 conforme cálculo abaixo:

$$PUE = \frac{\text{Consumo Total}}{\text{Carga de TI}} = \frac{2397 \text{ kW}}{1550 \text{ kW}} = 1,5$$

Tabela 3. 4 – Tabela de Classificação PUE.

Classificação	PUE	Nível de Eficiência
A	1,2	Muito Eficiente
B	1,5	Eficiente
C	2,0	Médio
D	2,5	Ineficiente
E	3,0	Muito Ineficiente

Este data center é considerado Eficiente e sua classificação é B.

4 PROPOSTA DE COGERAÇÃO PARA DATA CENTER

A possibilidade de operar em paralelo com o sistema existente que inclui rede da concessionária e geração de emergência a diesel, para plantas de cogeração, agrega uma série de benefícios, que vão desde a possibilidade de redução nas tarifas de energia elétrica cobradas pelas concessionárias, aumento da eficiência e da confiabilidade no fornecimento de energia.

O data center analisado, leva em consideração tal paralelismo com a rede, permitindo a importação de energia quando necessário e a exportação do excedente.

A planta de cogeração proposta tem por objetivo atender toda a demanda elétrica e térmica do data center analisado, aproveitando os sistemas existentes.

4.1 PROCESSO DE COGERAÇÃO PARA O DATA CENTER ANALISADO

A demanda elétrica do data center atualizado é de 1,84MW conforme a Tabela 4.1 abaixo, pois nesta demanda não é necessário considerar os chillers elétrico como na Tabela 3.2, pois o sistema de refrigeração utilizará os chillers de absorção.

Tabela 4. 1 – Demanda Elétrica do Data Center Analisado para Cogeração.

DEMANDA ELÉTRICA			
Descrição das cargas	QTD	Pot. Un. Média (kW)	Pot. Total (kW)
Racks de TI.	360	4	1440
Racks de telecom.	50	2,2	110
UPS- fator de potência	14	2,4	33,6
Illum. + Incend. + Aux.			60
Evaporadoras (fan Coil)	16	12	192
TOTAL kWe			1835,6

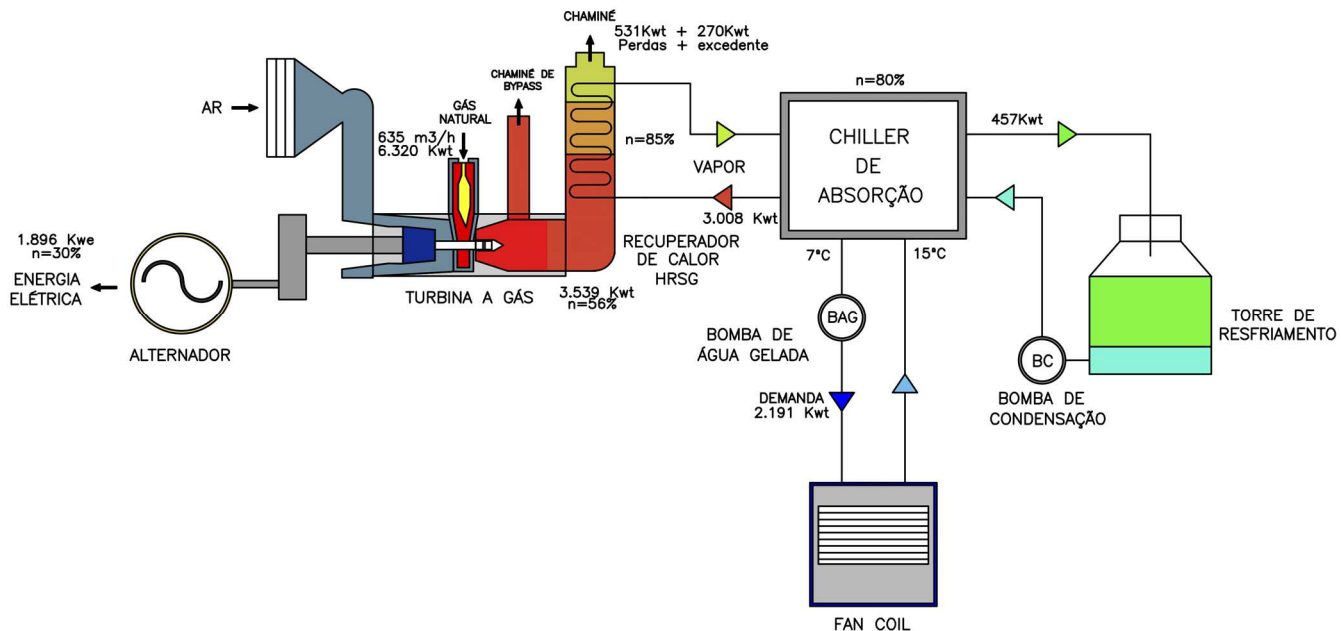
A demanda térmica do data center analisado é de 623 TR conforme mostrado na Tabela 3.3.

Para a planta de cogeração foi utilizados os seguintes equipamentos:

- 2 turbinas a gás natural Capstone C1000 Series de 1000kW cada;
- 2 recuperadores de calor *Heat Recovery Steam Generator* (HRSG);
- 2 chillers de absorção York de 325TR cada com COP de 0,8;
- 2 torres de resfriamento;
- 2 bombas de condensação.

Nas turbinas, ocorre a queima do gás natural para produção da energia elétrica e o calor recuperado pelos HRSG é utilizado na produção da água gelada utilizada pelos fan coils para refrigerar o data center.

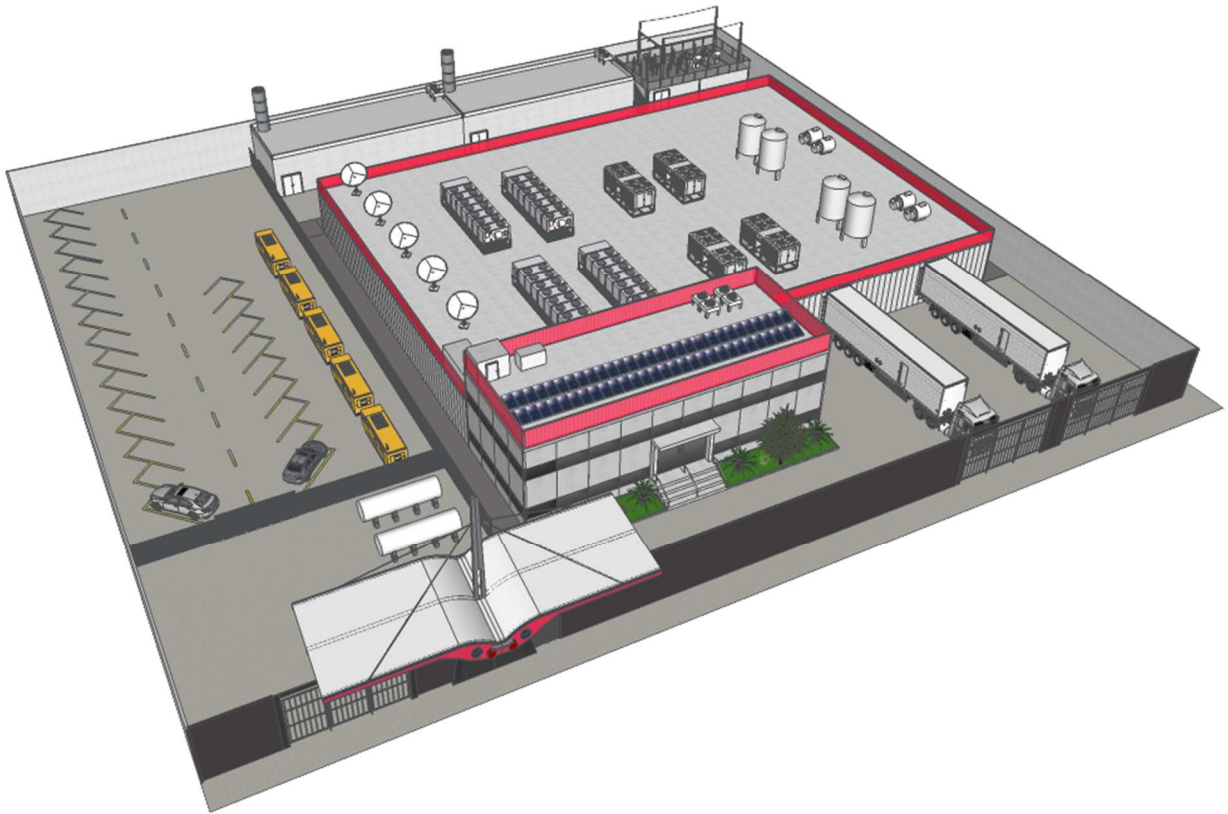
Figura 4. 1– Processo de Cogeração do Data Center Analisado.



Fonte: Própria.

A planta civil do data center foi modificada para receber a usina de cogeração.

Figura 4. 2– Planta do Data Center com a Usina de Cogeração.



Fonte: Própria.

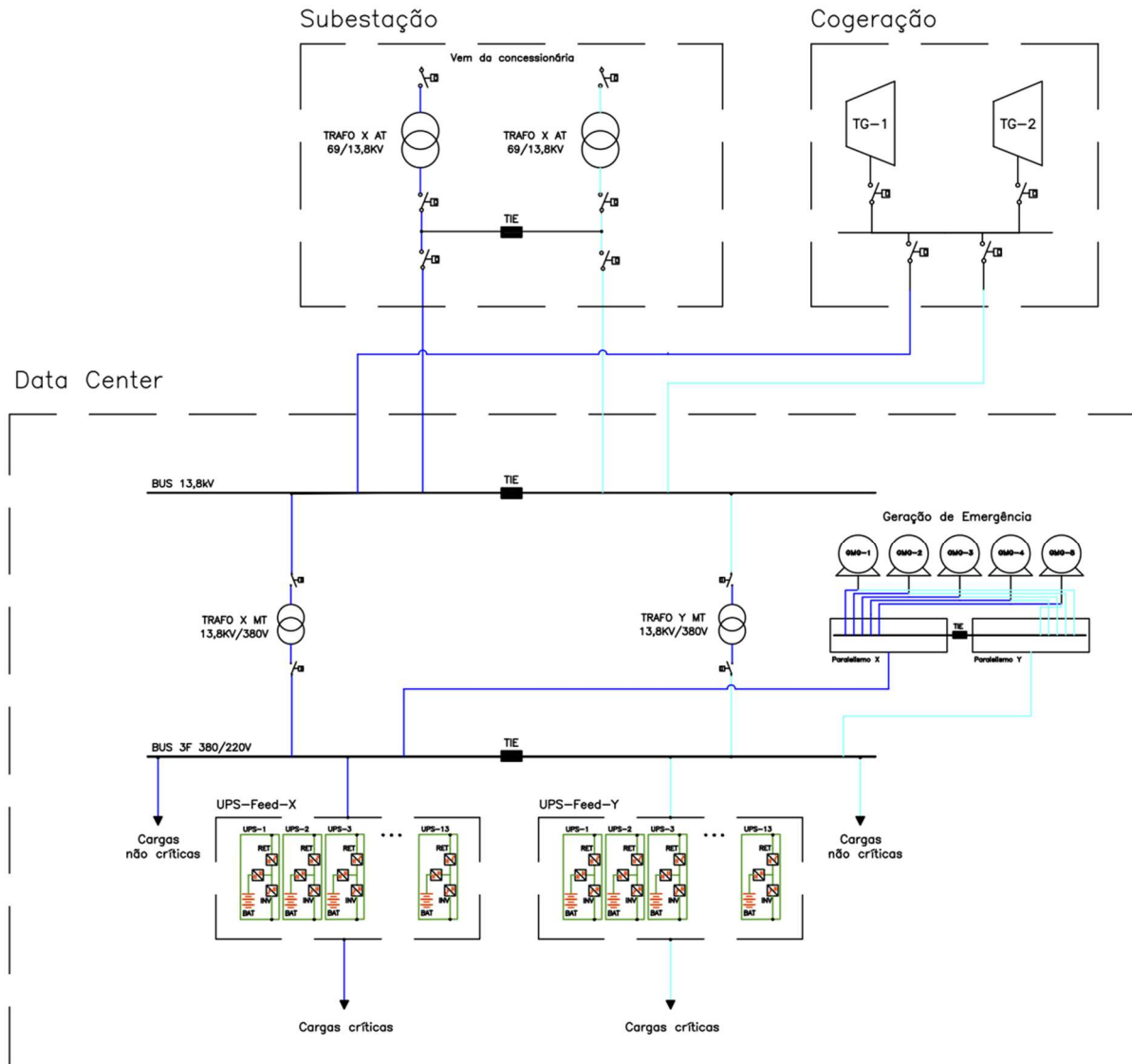
4.2 DIAGRAMA ELÉTRICO COM COGERAÇÃO

A cogeração duplica o nível de redundância e disponibilidade do data center pois o sistema convencional utiliza da rede da concessionária como fonte principal e gerador a diesel como fonte de emergência.

Na nova configuração, a usina de cogeração torna-se a principal fonte de energia tendo o sistema de geração a diesel como fonte de emergência e ainda a rede da concessionaria como terceira fonte de energia.

Essas fontes sobressalentes pode ser utilizadas em caso de manutenção ou falha no sistema de cogeração, geradores a diesel ou chillers de absorção.

Figura 4. 3– Diagrama Elétrico do Data Center com a Planta de Cogeração.



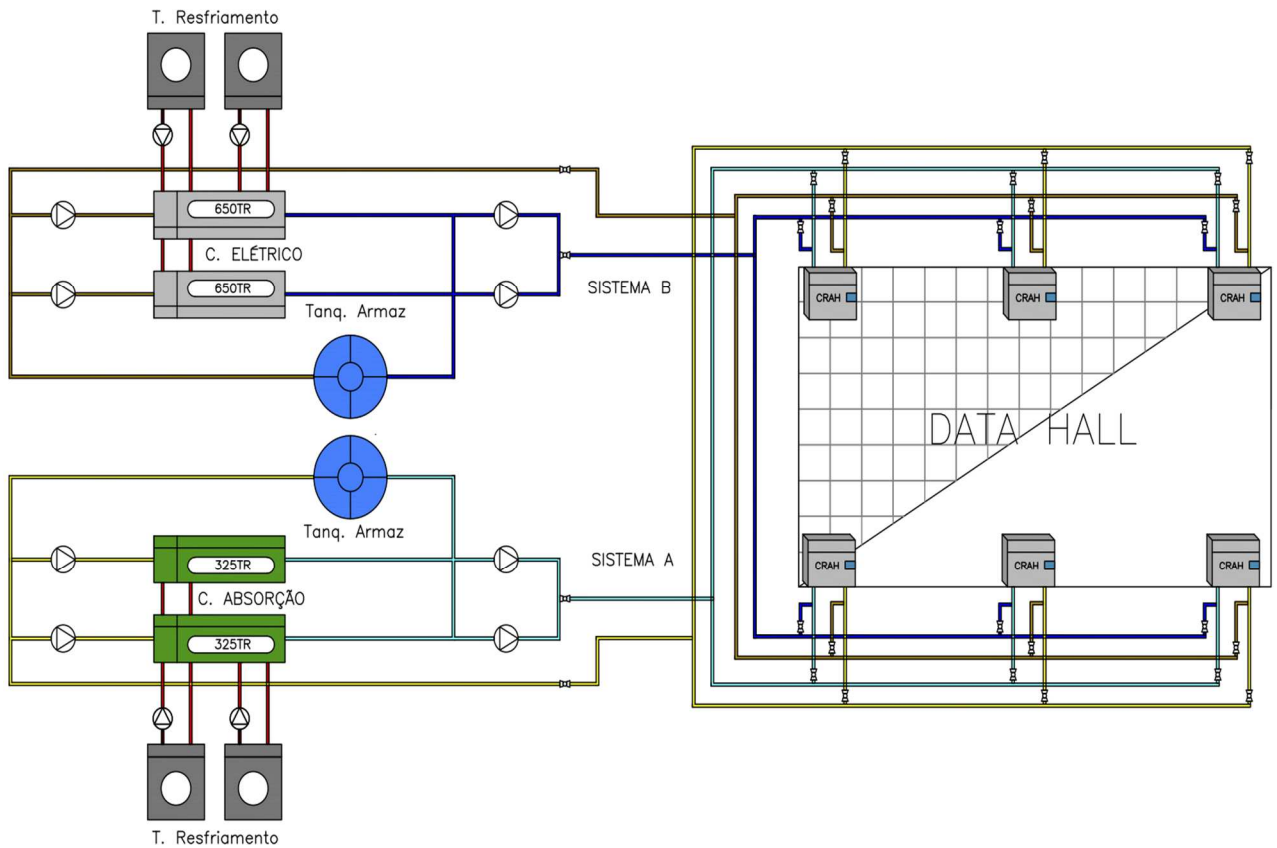
Fonte: Própria.

4.3 SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO COM COGERAÇÃO

A cogeração aumenta o nível de redundância e disponibilidade do sistema de refrigeração do data center pois, utiliza o calor recebido do processo de energia

elétrica nos chillers de absorção para gerar água gelada no primeiro anel com disponibilidade (N) incluindo o sistema de chillers elétricos como emergência com disponibilidade (N+N) no segundo anel.

Figura 4. 4– Diagrama de Refrigeração do Data Center com a Planta de Cogeração.



Fonte: Própria.

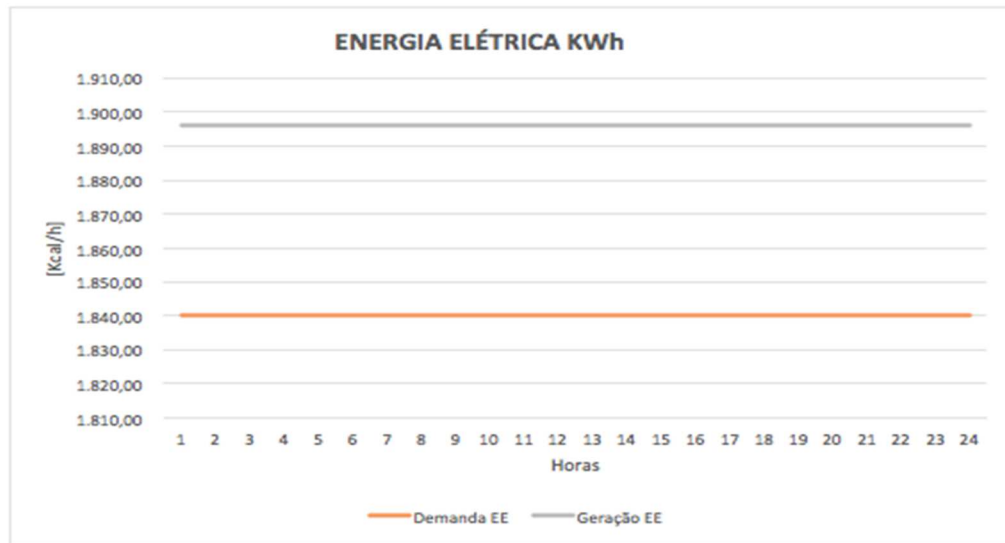
4.4 BALANÇO ENERGÉTICO DO SISTEMA DE COGERAÇÃO

A Tabela 4.2 mostra o balanço energético considerando o sistema proposto:

Tabela 4. 2 – Balanço Energético do Sistema de Cogeração Proposto.

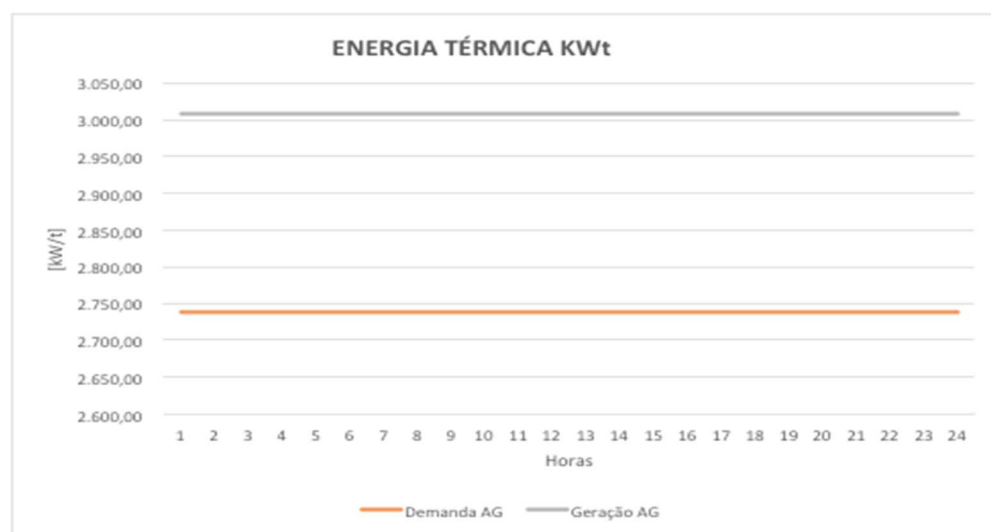
Balanco Energético		Qtd.	Unidade
Rendimento elétrico de 30% > GN	0,3349		m3 / kWh
Disponibilidade	95%		%
Turbina 1000 S - Capstone - São Paulo	948	2	kW
Vazão GN	635		m ³ / h
Potência Elétrica Gerada na Cidade de São Paulo	1.896		kWe
PCI GN	8.560		kcal/m3
Energia do Combustível - GN	5.435.200		kcal/h
	6.320		kWt
Demanda Elétrica	1.840		kWe
Energia Térmica	56%		%
Potência Térmica Gerada Cogen	3.539		kWt
	3.043.712		kcal/h
Perdas	14%		%
Potência térmica perdida nas turbinas	885		kWt
Eficiência recuperador - escape turbinas	85%		%
Potência térmica útil	3.008,30		kWt
	2.587.155		kcal/h
Potência térmica não utilizada (perdas rec. calor)	531		kWt
Perdas totais	1.416		kWt
COP - Chiller Absorção AG	80%		%
Demanda Ar Condicionado - AG	2.191		kWt
	623	2x 350	TRh
Energia Consumida Chiller Absorção	2.738		kWt
Carga elétrica excedente - média anual	56		kWe
Carga térmica excedente - média anual	270		kWt

A Figura 4.5 mostra a relação entre a demanda elétrica do data center e a geração elétrica do sistema por hora, onde a geração é maior que a demanda e o excedente é exportado a rede.

Figura 4. 5– Demanda e Geração de Energia Elétrica por Hora.

Fonte: Própria.

A Figura 4.6 mostra a relação entre a demanda térmica do data center e a geração térmica do sistema por hora. A demanda é menor do que a geração e o seu excedente térmico torna-se perda pois não é possível aproveitar o excesso.

Figura 4. 6– Demanda e Geração de Energia Térmica por Hora.

Fonte: Própria.

4.5 QUALIFICAÇÃO DA COGERAÇÃO

Abaixo, na Tabela 4.3, encontram-se os requisitos da qualificação da cogeração de acordo com a ANEEL.

Tabela 4.3 – Qualificação da Cogeração – Requisitos da ANEEL.

REQUISITOS ANEEL		
FONTE / POTÊNCIA ELÉTRICA INSTALADA	X	FC%
Derivados de Petróleo, Gás Natural e Carvão		
Até 5 MW	2.14	41
Acima de 5MW e até 20 MW	2.13	44
Acima de 20 MW	2.00	50
Demais Combustíveis		
Até 5 MW	2.50	32
Acima de 5MW e até 20 MW	2.14	37
Acima de 20 MW	1.88	42
Calor Recuperado do Processo		
Até 5 MW	2.60	25
Acima de 5MW e até 20 MW	2.17	30
Acima de 20 MW	1.86	35

Para verificar se os requisitos cumprem a Resolução da ANEEL Nº 235 para a qualificação de cogeração, foram executados os cálculos abaixo na Figura 4.7.

Figura 4.7– Cálculo de Qualificação da Cogeração.

Cálculo requisito de qualificação da Cogeração - ANEEL Resol. nº 235 14/11/06

<i>E_f</i>	6.653 kWh/h			
<i>E_e</i>	1.922 kWh/h	48%	$= \frac{E_t}{E_f} \geq 15\%$	Cumpre requisito (a)
<i>E_t</i>	3.211 kWh/h			
<i>X</i>	2,14			
<i>F_c</i>	41%	51%	$= \left(\frac{E_t}{E_f} \right) + X + \frac{E_e}{E_f} \geq F_c\%$	Cumpre requisito (b)

Cogeração Qualificada ANEEL

Fonte: Própria.

Onde:

- Ef - Energia da fonte (kWh/h);
- Ee - Energia da utilidade eletromecânica (kWh/h);
- Et - Energia da utilidade calor (kWh/h);
- Fc % - Fator de cogeração
- X - Fator de ponderação (adimensional);

4.6 CÁLCULO DO FATOR DE UTILIZAÇÃO DE ENERGIA (FUE)

Na caracterização dos índices de desempenho, vários são os indicadores, sendo uma prática comum avaliar a eficiência dos sistemas de cogeração através da chamada eficiência de primeira lei ou Fator de Utilização de Energia (*FUE*). Este parâmetro é a relação entre a energia térmica ou eletromecânica aproveitada no ciclo e a energia do combustível gasto para na geração do vapor. Segue abaixo na Figura 4.8, os cálculos do Fator de Utilização de Energia.

Figura 4. 8– Cálculo do Fator de Utilização de Energia – FUE.

Fator de Utilização de Energia - FUE

<i>W</i>	1.896 kW	$FUE = \frac{\dot{W} + \dot{Q}_u}{\dot{m} \times PCI} = 65\%$
<i>Qu</i>	2.191 kW	
<i>m x PCI</i>	6.320 kW	

Fonte: Própria.

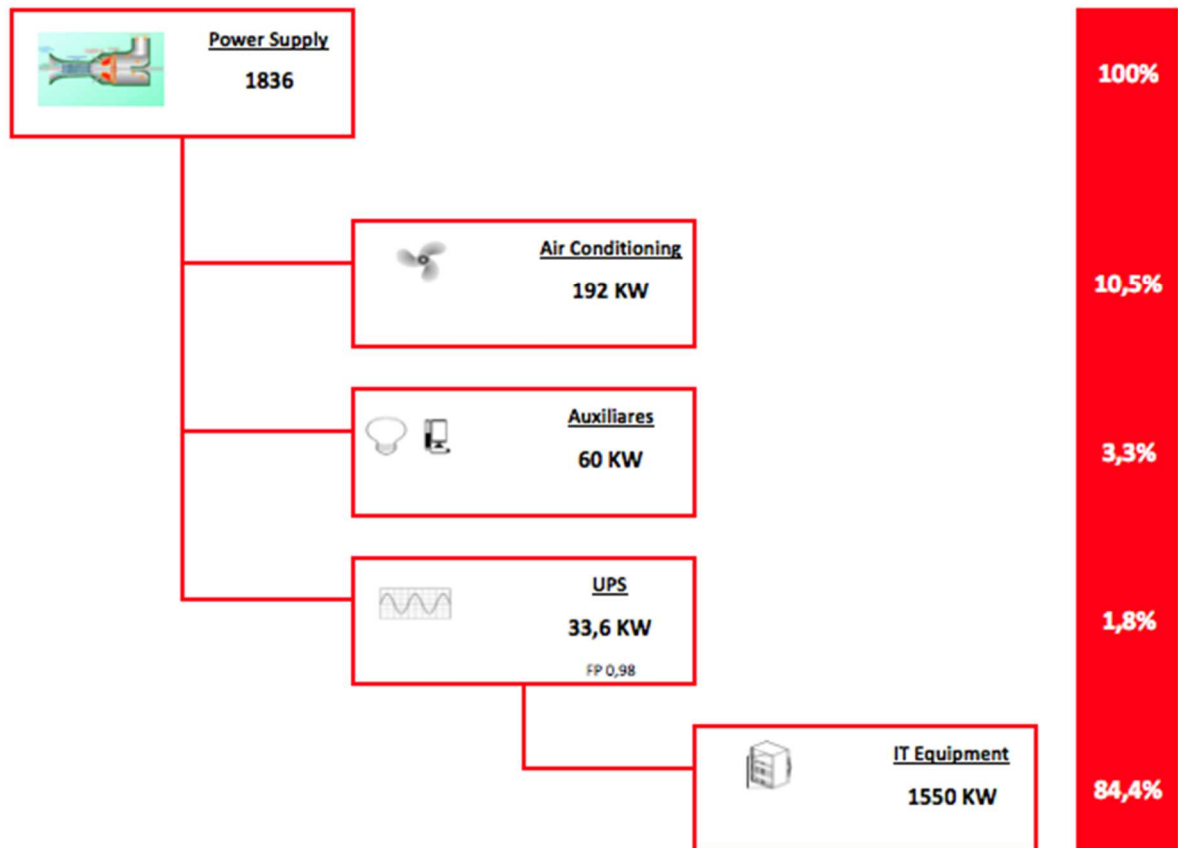
Onde:

- FUE - Fator de Utilização de Energia;
- W - Potência de eixo produzida pela maquina (kW);
- Qu - Taxa de calor útil produzido ou recuperado (kW);
- m - Vazão mássica de combustível (kg/s);
- PCI: Poder calorífico inferior do combustível (kJ/kg);

4.7 EFICIENCIA DO DATA CENTER COM COGERAÇÃO - PUE

A cogeração aumenta significativamente o PUE do data center, abaixo a distribuição energética do novo sistema.

Figura 4. 9– Distribuição Energética do Data Center com Cogeração.



Fonte: Própria.

O PUE do data center com cogeração é de 1,1 conforme cálculo abaixo:

$$PUE = \frac{\text{Consumo Total}}{\text{Carga de TI}} = \frac{1836 \text{ kW}}{1550 \text{ kW}} = 1,1$$

Com o sistema de cogeração o data center é considerado Muito Eficiente e sua classificação é A , conforme a Tabela 3.4.

5 RESULTADOS E COMPARAÇÕES

5.1 CUSTO DA ENERGIA ELÉTRICA

A Tabela 5.1 a seguir, apresenta as diferenças em termos de custos, na contratação da demanda e consumo de energia elétrica, para ambos os cenários (AES Eletropaulo Jun. 2017).

Tabela 5. 1 – Diferenças de Custos na Contratação de Energia Elétrica.

UTILIDADES	ATUAL	COGERAÇÃO
ENERGIA ELÉTRICA	AES Eletropaulo A4 Azul	AES Eletropaulo A4 VERDE
Demanda Energia Elétrica Única (kW)	2.500	2.500
Consumo Anual Ponta (kWh)	1.457.280,0	0
Consumo Anual Fora Ponta (kWh)	14.440.320	0
Consumo Anual Total (kWh)	15.897.600,0	0
Custo Específico (R\$/kWh) - C/ Impostos	0,4802	NA
Custo anual total de energia elétrica	R\$7.634.628	R\$314.118

As demandas contratadas permanecem iguais pois em caso de indisponibilidade de gás natural e/ou falha no sistema, a concessionária deverá suportar toda demanda elétrica para o ambiente permanecer em operação.

5.2 CUSTO PARA A PRODUÇÃO DE ENERGIA – COGERAÇÃO

A Tabela 5.2 a seguir, apresenta os custos associados à autoprodução de energia elétrica, a partir de gás natural.

A Sistema é composto por 2 turbinas de 1000 kW, ajustadas para São Paulo capital, ficando portanto com 948 kWe por unidade e fator de disponibilidade de 0,95.

Tabela 5. 2 – Custos de Cogeração a Gás Natural (Deliberação Arsesp nº 727, de 30-05-2017).

UTILIDADES	ATUAL	COGERAÇÃO
GERAÇÃO DE ENERGIA A GÁS NATURAL		Turbina
Capacidade de Geração Elétrica (kWe)	-	1.896
Disponibilidade	-	95%
Energia Elétrica Anual Gerada (kWh)	-	15.778.512
Consumo Anual de Gás Natural (m3)	-	5.485.996
Custo do GN de Cogeração (R\$/m3) - C/ Impostos	-	R\$1,269580
Custo com Manutenção da Turbina	-	R\$473.355
Custo anual de geração de energia elétrica	-	R\$7.438.265
Custo do kWh Gerado (R\$/kWh) - C/ Impostos	-	R\$0,47142

5.3 CUSTO DE ENERGIA TÉRMICA – ATUAL X COGERAÇÃO

A tabela 5.3 a seguir, apresenta os custos associados à autoprodução de energia térmica, com base no reaproveitamento dos gases de combustão das turbinas à gás natural, em comparação da geração de ar condicionado a partir de Energia Elétrica da Concessionária.

Tabela 5. 3 – Custos de Associados a Autoprodução de Energia Térmica.

UTILIDADES	ATUAL	COGERAÇÃO
AR CONDICIONADO - ELÉTRICO		
Carga Térmica (TRh)	623	623
Rendimento kW/TR (IPLV) da Central de Água Gelada	0,68	-
Demanda kW/TR (COP) da Central de Água Gelada	0,90	-
Demanda de Energia Elétrica do Sistema de Ar Cond. (kW)	561	-
Consumo EE Anual Total (kWh)	3.711.086	-
Custo com Manutenção do Ar Condicionado 623TR	R\$77.875	-
Custo com reposição de água e tratamento químico AC	R\$454.766	-
Custo com Energia Elétrica - Central de Água Gelada	R\$0,48024	-
Custo Energia - Central de Água Gelada	R\$1.782.204	-
Custo Total da Central de Água Gelada	R\$2.314.845	-
Custo Relativo por TR (R\$/TRh)	R\$0,4242	-
AR CONDICIONADO - Cogeração		
CARGA TÉRMICA ANUAL (TRh)	5.457.480	5.457.480
TR cogen [TR]		856
ENERGIA TÉR PROD PELA COGERAÇÃO [TRh/ano] :		7.494.537
AR CONDICIONADO A GÁS NATURAL - ABSORÇÃO		
Custo com Manutenção do Ar Condicionado		R\$64.166
Custo com reposição de água e tratamento químico AC		R\$824.355
Custo Total da Central de Água Gelada		R\$888.521
Custo Relativo por TR (R\$/TR)		R\$0,1186

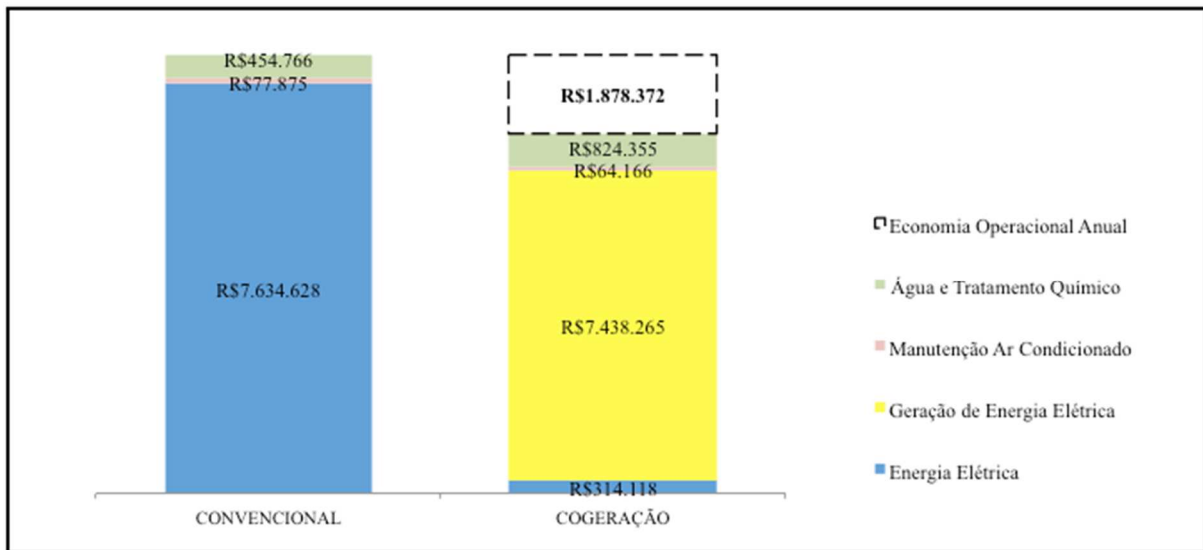
5.4 CUSTOS OPERACIONAIS TOTAIS

A tabela 5.4 a seguir, consolida todos os custos, para a configuração atual e para o cenário de cogeração, envolvendo não apenas o custo por unidade de gás e energia elétrica, mas também custos de manutenção, reposição de água e tratamento químico, bem como eventuais taxas a serem aplicadas pelas concessionárias de gás ou energia elétrica.

Tabela 5. 4 – Custos Operacionais Atuais X Cogeração.

CUSTOS OPERACIONAIS	ATUAL	COGERAÇÃO
Custo anual total de energia elétrica	R\$9.416.832	R\$314.118
Custo CAG (- EE)	R\$532.641	-
Custo manutenção ar condicionado elétrico	R\$77.875	-
Custo com reposição de água e tratamento químico AC	R\$454.766	-
Custo Geração Energia Elétrica		R\$7.438.265
Custo CAG cogeração		R\$888.521
Custos Operacionais Totais	R\$10.482.114	R\$8.640.903
VENDA MERCADO SPOT		140
Valor do MWh		R\$266,37
Economia com a venda (EE Excedente)		-R\$37.161,57
CUSTO OPERACIONAL TOTAL	R\$10.482.114	R\$8.603.742
ECONOMIA OPERACIONAL	REFERÊNCIA	R\$1.878.372
		17,92%

Esta análise dos custos operacionais demonstra que os custos da energia elétrica adquirida no cenário atual, por si só viabilizam a cogeração em relação a economia gerada. Adicionalmente é possível obter recursos com a venda de energia elétrica no mercado spot, com base nos preços definidos pela da CCEE, incrementando maior economia operacional.

Figura 5. 1 – Gráfico Comparativo de Custo Convencional X Cogeração.

Fonte: Própria

5.5 INVESTIMENTOS

A tabela 5.5 a seguir, apresenta os valores necessários para aquisição e instalação do sistema de cogeração no data center analisado e o retorno (*payback*) simples dos investimentos.

Tabela 5. 5 – Investimentos e Payback Simples.

INVESTIMENTOS - 1 US\$ = R\$ 3,20	ATUAL	COGERAÇÃO
Aquisição 2 Turbinas = US\$ 800 / kW	-	R\$4.853.760
Instalação turbinas = R\$ 1500 / kW	-	R\$2.844.000
Aquisição 2 Chillers Abs = US\$ 420 / TR	-	R\$837.312
Instalação chiller > R\$ 500 / TR	-	R\$311.500
Recuperador de calor	-	R\$171.108
Torre resfriamento + bombas = R\$ 120 / TR	-	R\$93.450
INVESTIMENTO TOTAL	R\$0	R\$9.111.130
PAYBACK SIMPLES	4,85 anos	

5.6 ANÁLISE DO VALOR PRESENTE LÍQUIDO - VPL

A Tabela 5.6 a seguir, demonstra os cálculos financeiros do Valor Presente Líquido (VPL).

Tabela 5. 6 – Análise Financeira do VPL.

Cálculo do VPL	2017		2018		2022		2023		2027		2038	
		Implantação	1º ano Op	5º ano Op	6º ano Op	10º ano Op	20º ano Op					
Energia Elétrica - A4 Verde												
Consumo energia adquirida		MWh/ano	0,00	0,00	0,00	20,91	1.720,00					
Tarifa energia (TE+TUSD)		4,5%	125.771,320	149.984,64	156.733,95	186.908,15	303.324,46					
Demanda contratada		MW	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50					
Subtotal 1		R\$	-314.428,30	-374.961,60	-391.834,87	-467.270,37	-758.311,14					
Venda de Energia Mercado Spot - MWh/ano		MWh/ano	139,51	139,51	139,51	139,51	139,51					
Inflação Energia - R\$/ MWh		4,5%	266,000	317,210	331,484	395,301	641,516					
Subtotal 2		R\$	37.109,96	44.254,31	46.245,76	55.148,92	89.498,60					
Demanda Ponta EE - sistema tradicional		MW	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50					
Tarifa contratada MW - inflação		4,5%	16.760,00	19.986,61	20.886,01	24.906,95	40.420,33					
Subtotal 3		R\$	502.800,00	599.598,35	626.580,28	747.208,64	1.212.609,81					
Demanda Fora de Ponta EE - sistema tradicional		MW	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50					
Tarifa contratada MW - inflação		4,5%	10.470,00	12.485,67	13.047,52	15.559,42	25.250,65					
Subtotal 4		R\$	314.100,00	374.570,09	391.425,75	466.782,48	757.519,38					
Consumo EE Ponta - sistema tradicional		MWh/ano	1.457,28	1.457,28	1.457,28	1.457,28	1.457,28					
Tarifa MWh - inflação		4,5%	557,70	665,07	695,00	828,80	1.345,01					
Subtotal 5		R\$	812.725,06	969.189,75	1.012.803,29	1.207.786,76	1.960.060,42					
Consumo EE F Ponta - sistema tradicional		MWh/ano	14.440,00	14.440,00	14.440,00	14.440,00	14.440,00					
Tarifa MWh - inflação		4,5%	415,84	495,90	518,21	617,98	1.002,89					
Subtotal 6		R\$	6.004.729,60	7.160.751,74	7.482.985,57	8.923.599,48	14.481.690,59					
Consumo energia elétrica - AC Elétrico		MWh/ano	3.711,08	3.711,08	3.711,08	3.711,08	3.711,08					
Tarifa e el CAG - Gerada Cogen - R\$/MWh/Inflação		4,5%	480,24	572,70	598,47	713,68	1.158,20					
Subtotal 7		R\$	1.782.209,06	2.125.317,45	2.220.956,74	2.648.532,22	4.298.178,58					
Gas Natural												
Queima Turbinas Cogeração - Consumo GN		M³ /ano	5.485.996,00	5.485.996,00	5.485.996,00	5.485.996,00	5.485.996,00					
Tarifa GN Cogem - R\$/m³ / Reajuste % (Deliberação Arsesp nº 727, de 30-05-2017)		4,5%	1,27	1,51	1,58	1,89	3,06					
Subtotal 8		R\$	-6.964.909,18	-8.305.783,75	-8.679.544,02	-10.350.517,69	-16.797.369,15					
Outros custos COGEN (Manut + Reposicao Agua)		R\$	4,5%	-888.520,67	-1.059.577,43	-1.107.258,41	-1.320.426,25	-2.142.857,77				
Outros custos geração tradicional (Manut + Reposicao Agua)		R\$	4,5%	532.640,76	635.184,01	663.767,29	791.554,84	1.284.577,19				
Investimento Inicial / Fluxo de Caixa			- 9.111.130,15	1.818.456,28	2.247.471,52	2.367.530,67	2.906.279,09	5.004.663,44				
Fluxo de caixa acumulado	20 anos		-7.292.673,87	1.029.199,68	3.396.730,35	14.183.154,30	57.800.226,73					
Avaliação da Viabilidade do Projeto implantação Cogeração Data Center - 20 anos de operação												
Payback simples	20 anos		4,85 ANOS									
Taxa de desconto - CENÁRIO PESSIMISTA	[%]		10,0%									
Valor presente	[R\$]	$Vp=Vf/(1+r)^t$	1.653.142,07	1.395.502,99	1.336.409,34	1.120.496,40	676.283,03					
Fluxo de caixa descontado acumulado	[R\$]		-9111130,15	-7.457.988,08	-1.500.229,83	-163.820,49	4.631.982,56	14.109.680,28				
Payback descontado - inflação	[Anos]		6,08 ANOS									
Valor Presente Líquido [R\$]	[R\$]		-6.779.989,16	-1.363.845,30	-148.927,72	4.210.893,24	12.826.982,07					
Taxa de desconto - CENÁRIO REALISTA	[%]		7,0%									
Valor presente	[R\$]	$Vp=Vf/(1+r)^t$	1.699.491,85	1.602.416,13	1.577.585,65	1.477.404,92	1.208.691,72					
Fluxo de caixa descontado acumulado	[R\$]		-9111130,15	-7.411.638,30	-854.972,75	722.612,90	6.782.732,68	21.404.207,96				
Payback descontado - inflação	[Anos]		5,53 ANOS									
Valor Presente Líquido [R\$]	[R\$]		-6.926.764,77	-799.039,96	675.339,16	6.339.002,50	20.003.932,67					
Taxa de desconto - CENÁRIO OTIMISTA	[%]		5,0%									
Valor presente	[R\$]	$Vp=Vf/(1+r)^t$	1.731.863,12	1.760.952,74	1.766.687,83	1.784.203,25	1.796.385,73					
Fluxo de caixa descontado acumulado	[R\$]		-9111130,15	-7.379.267,03	-375.886,45	1.390.801,39	8.503.941,36	28.245.029,54				
Payback descontado - inflação	[Anos]		5,21 ANOS									
Valor Presente Líquido [R\$]	[R\$]		-7.027.873,36	-357.987,09	1.324.572,75	8.098.991,77	26.900.028,14					

Para a análise financeira do VPL, foram analisados no período de 20 anos, que é o tempo médio de vida dos equipamentos. O estudo de viabilidade foi feito em três cenários, sendo um pessimista com taxas de inflação em 10%, realista (mais provável) com taxas de inflação em 7% e outro otimista com taxas de inflação em 5%.

Como a análise, foram obtidos os seguintes resultados:

- Cenário pessimista com taxa de desconto de 10% a.a.: o VPL foi de R\$ 12.826.982,07 com *payback* descontado de 6,08 anos;
- Cenário mais provável com taxa de desconto de 7% a.a.: o VPL foi de R\$ 20.003.932,67 com *payback* descontado de 5,53 anos;
- Cenário otimista com taxa de desconto de 5% a.a.: o VPL foi de R\$ 26.900.028,14 com *payback* descontado de 5,21 anos.

Portanto, podemos concluir que, em termos de análise financeira pelo VPL, o projeto torna-se mais viável quanto maior for projetada a inflação para o reajuste da energia elétrica, com a menor taxa de desconto. Nesse caso, o cenário mais viável é o otimista.

5.7 ANÁLISE DA TAXA INTERNA DE RETORNO - TIR

A Tabela 5.7 a seguir, demonstra os cálculos financeiros da Taxa Interna de Retorno (TIR).

Tabela 5. 7 – Análise Financeira do TIR.

Taxa de desconto - CENÁRIO PESSIMISTA		[%]	10,0%						
Valor presente	[R\$]	$Vp=Vf/(1+r)^t$	1.653.142,07	1.395.502,99	1.336.409,34	1.120.496,40	676.283,03		
Fluxo de caixa descontado acumulado	[R\$]	-9111130,15	-7.457.988,08	-1.500.229,83	-163.820,49	4.631.982,56	14.109.680,28		
Payback descontado - inflação	[Anos]	6,08 ANOS							
Valor Presente Líquido [R\$]	[R\$]		-6.779.989,16	-1.363.845,30	-148.927,72	4.210.893,24	12.826.982,07		
Taxa Interna de Retorno [%]			10,44%						
Taxa de desconto - CENÁRIO REALISTA		[%]	7,0%						
Valor presente	[R\$]	$Vp=Vf/(1+r)^t$	1.699.491,85	1.602.416,13	1.577.585,65	1.477.404,92	1.208.691,72		
Fluxo de caixa descontado acumulado	[R\$]	-9111130,15	-7.411.638,30	-854.972,75	722.612,90	6.782.732,68	21.404.207,96		
Payback descontado - inflação	[Anos]	5,53 ANOS							
Valor Presente Líquido [R\$]	[R\$]		-6.926.764,77	-799.039,96	675.339,16	6.339.002,50	20.003.932,67		
Taxa Interna de Retorno [%]			14,34%						
Taxa de desconto - CENÁRIO OTIMISTA		[%]	5,0%						
Valor presente	[R\$]	$Vp=Vf/(1+r)^t$	1.731.863,12	1.760.952,74	1.766.687,83	1.784.203,25	1.796.385,73		
Fluxo de caixa descontado acumulado	[R\$]	-9111130,15	-7.379.267,03	-375.886,45	1.390.801,39	8.503.941,36	28.245.029,54		
Payback descontado - inflação	[Anos]	5,21 ANOS							
Valor Presente Líquido [R\$]	[R\$]		-7.027.873,36	-357.987,09	1.324.572,75	8.098.991,77	26.900.028,14		
Taxa Interna de Retorno [%]			16,92%						

Para a análise financeira TIR, foram utilizados os mesmos fluxos de caixa utilizados na análise do VPL, considerando o mesmo período de 20 anos.

Como a análise, foram obtidos os seguintes resultados:

- Cenário pessimista com taxa de 10%, a TIR foi de 10,44%;
- Cenário realista com taxa de 7%, a TIR foi de 14,34%;
- Cenário otimista com taxa de 5%, a TIR foi de 16,92%.

6 CONCLUSÃO

O estudo comprova que o uso da cogeração a gás natural para data center é uma solução com viabilidade técnico-econômica.

Seu uso aumenta significativamente a confiabilidade do ambiente que opera com a autoprodução de energia elétrica e térmica, sendo a concessionária como sua primeira redundância usando o sistema térmico elétrico, e também o sistema de geração a diesel existente como segunda redundância.

Esse aumento de redundância tem um papel fundamental para atender os requisitos de certificação do *Uptime Institute*, como também, proporcionar uma oferta de serviços mais atrativa para clientes com necessidades críticas como bancos, operadoras de telefonia etc.

Além da confiabilidade, o uso da cogeração trás benefícios com a redução do consumo de energia elétrica para o sistema de refrigeração, aumentando a eficiência energética do data center e conseqüentemente a redução do PUE, atingindo o valor de 1,1 classificando-o na categoria A como muito eficiente.

Uma outra característica importante é a redução das emissões de CO₂ nas plantas e cogeração de energia, considerando a substituição da energia da rede proveniente de termelétricas.

Para data centers que utilizam água gelada em seu sistema de refrigeração, é possível aproveitar seu sistema elétrico e térmico atual, aumentando sua redundância e disponibilidade.

A maioria dos data centers de pequeno e médio porte utilizam sistemas de refrigeração por expansão direta, ou seja, sem utilização de água gelada. Neste cenário, a solução é trocar o sistema completo incluindo as evaporadoras e chillers, tais modificações podem inviabilizar o uso da cogeração.

Espaço físico e a disponibilidade de gás natural na localidade do data center, são aspectos que devem ser analisados para garantir a viabilidade técnica da instalação do sistema de cogeração.

Atualmente existe a dificuldade de encontrar profissionais capacitados para instalar, operar e manter os sistemas de chillers de absorção, além dos prazos para aquisição destes equipamentos e peças de reposição.

A implantação do sistema de cogeração é uma opção financeiramente atrativa com retorno dos investimentos 4,85 anos em um cenário otimista, considerando uma taxa de desconto de 5% ao ano, seu Valor Presente Líquido em chega em R\$ 26.900.028,14 com *payback* descontado de 5,21 anos e Taxa Interna de Retorno de 16,92%. Se considerarmos um cenário pessimista cm taxa de desconto de 10% ao ano, seu Valor Presente Líquido chega em R\$ 12.826.982,07 com *payback* descontado de 6,08 anos e Taxa Interna de Retorno de 10,44%.

Em todos os cenários financeiros analisados, no período de 20 anos, que é o tempo médio de vida dos equipamentos , o uso do sistema de cogeração de energia a gás natural é economicamente viável.

BIBLIOGRAFIA FUNDAMENTAL

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br>>. Acesso em: 20 Maio 2017.

ANDREOS, R. “Apostilas de Cogeração de Energia, curso de Pós Graduação em Energias Renováveis, Geração Distribuída”, 2016, Universidade de São Paulo, São Paulo.

ASSOCIAÇÃO DA INDÚSTRIA DE COGERAÇÃO DE ENERGIA. Disponível em: <<http://www.cogensp.com.br/>>. Acesso em: 12 Maio 2017.

Balestieri, J.A.P., 2002, “Cogeração: Geração Combinada de Eletricidade e Calor”, Editora UFSC, Florianópolis, 279 p.

BARBELI, M. C. A cogeração de energia e sua importância do ponto de vista técnico, econômico e ambiental. Empreendedorismo, Gestão e Negócios, v. 4, n. 4, mar. 2015, p. 238-246.

BOYCE, M. P. Handbook for Cogeneration and Combined Cycle Power Plants. New York: ASME Press, 2002. 557 p.

CAPSTONE TURBINE CORPORATION. Disponível em: <<http://www.capstoneturbine.com/>>. Acesso em: 03 Jun. 2017.

CARBONTRUST. Disponível em: <<http://www.carbontrust.com/>>. Acesso em: 22 de Maio 2017.

CHILLERS INDUSTRIAIS E COMERCIAIS. Disponível em: <<http://www.johnsoncontrols.com/>>. Acesso em: 04 Jun. 2017.

CLEMENTINO, L. D. A conservação de energia por meio da cogeração de energia elétrica. São Paulo, 2001.

COMPANHIA DE GÁS DE SÃO PAULO. Disponível em: <<http://www.comgas.com.br/>>. Acesso em: 11 Jun. 2017.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/>>. Acesso em: 11 Jun. 2017.

FROST & SULLIVAN. Disponível em: <<http://ww2.frost.com/>>. Acesso em: 11 Jun. 2017.

GARTNER TECHNOLOGY RESEARCH. Disponível em: <<http://www.gartner.com/>>. Acesso em: 10 Jun. 2017.

IDC ANALYZE THE FUTURE. Disponível em: <<http://br.idclatin.com/>>. Acesso em: 10 Jun. 2017.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. Evaluating the benefits of greater global investment. França: IEA, 2008.

KEHLHOFER, R.H.; WARNER, J.; NIELSEN, H.; BACHMAN, R. Combined-Cycle Gas & Steam Turbine Power Plant, PennWell Publishing Company, Oklahoma, 1999.

Marin, Paulo Sérgio., 2011, “Data Centers – Desvendando cada passo: conceitos, projeto, infraestrutura física e eficiência energética”, Editora Érica-Saraiva, São Paulo, 320 p.

MARTENS, A. The Energetic Feasibility of CHP Compared to the Separate Production of Heat and Power, Applied Thermal Engineering, 1998.

MINISTERIO DE MINAS E ENERGIA. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/>>. Acesso em: 8 Jul. 2017.

Simões Moreira, José Roberto., 2017, “Energias Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência Energética”, Editora LTC, São Paulo, 412 p.

OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO. Estrutura da Capacidade Instalada no SIN. Disponível em: <<http://www.ons.org.br>>. Acesso em: 22 Jun. 2017.

Parente, Virgínia. “Apostilas de Análise de Viabilidade Econômica de Projetos de Energia, curso de Pós Graduação em Energias Renováveis, Geração Distribuída”, 2016, Universidade de São Paulo, São Paulo.

Thermal Energy Equipment – Cogeneration. Energy Efficiency Guide for industry in Asia. Disponível em <www.energyefficiencyasia.org>. © UNEP. Pag. 1-19. Acesso em: 24 Jun. 2017.

Toro, Vicent Del., 1994, “Fundamentos de Máquinas Elétricas”, Editora LTC, 574 p.

Van Wylen, G., Sonntag, R. & Borgnakke, C., 1995, “Fundamentos da Termodinâmica Clássica”, Editora Edgard Blücher, São Paulo, 594 p.