

ANDERSON MAGRINI

AVALIAÇÃO ENERGÉTICA E FINANCEIRA PARA UTILIZAÇÃO DE  
SISTEMAS DE AR-CONDICIONADO ACIONADOS POR ENERGIA  
FOTOVOLTAICA: ESTUDO DE CASO PARA APLICAÇÃO EM DATA  
CENTER

São Paulo

2020

ANDERSON MAGRINI

AVALIAÇÃO ENÉRGICA E FINANCEIRA PARA UTILIZAÇÃO DE  
SISTEMAS DE AR-CONDICIONADO ACIONADOS POR ENERGIA  
FOTOVOLTAICA: ESTUDO DE CASO PARA APLICAÇÃO EM DATA  
CENTER

Monografia apresentada à Escola  
Politécnica da Universidade de São Paulo  
para obtenção do título de especialista em  
energias renováveis e eficiência  
energética.

Área de Concentração: Engenharia  
Elétrica

Orientador: Prof. Ênio Akira Kato

São Paulo  
2020

## RESUMO

Responsáveis por processar e armazenar dados, os data centers ganharam espaço com o avanço da tecnologia nas últimas décadas. A fim de garantir disponibilidade acima de 99,982%, uma série de equipamentos tais como UPSs, Chillers, Fancoils, soluções e conceitos foram implementados com o passar dos anos, assim como surgiram normas e padrões a serem seguidos para garantir requisitos mínimos de operação dos DCs. Devido a todos esses equipamentos e componentes de infraestrutura que são continuamente alimentados mesmo que quando não utilizados para poder garantir a redundância e a continuidade da operação, o consumo de eletricidade e suas dimensões físicas são expressivos. Partindo do princípio da demanda crescente de energia elétrica e espaço físico sobre telhados ociosos que os data centers possuem, dimensionou-se no presente trabalho um sistema fotovoltaico para atender a utilização de eletricidade que o prédio exige em seu sistema de refrigeração. Escolheu-se um site na região metropolitana de São Paulo, levantou-se seus dados de consumo elétrico, PUE, custo R\$/kWh e equipamentos instalados. Com base nas informações colhidas mensurou-se a quantidade de painéis fotovoltaicos imprescindíveis para suprir o uso de energia elétrica com o sistema de climatização do empreendimento. É importante ressaltar o grande movimento que as empresas de software, tais como IBM, Microsoft, Google entre outras tem feito em relação ao uso de energia renováveis em seus data centers ou parceiros comerciais, esse movimento, o uso de energias renováveis em futuros empreendimento de DC pode se tornar atrativo.

**Palavras Chaves:** Data center, Energias Renováveis, Ar-condicionado, PUE, Resiliência

## ABSTRACT

Responsible for processing and storing data, data centers have gained space with the advancement of technology in recent years. In order to guarantee availability above 99.982%, a series of equipment such as UPSs, chillers, fancoils, solutions and concepts have been implemented over the years, as well as regulation and standards have emerged to ensure minimum operating requirements for DCs. Due to all these equipment and infrastructure components that are continuously powered even if unused to ensure redundancy, the consumption of electricity and DC physical dimensions are significant. Based on the principle of the growing demand that data centers have for electricity and their physical space on the empty rooftop, a photovoltaic system was designed to meet the electricity usage that the building requires in its cooling system. The site chosen in is located the metropolitan region of São Paulo and its electrical consumption data, PUE, cost R\$ / kWh, installed equipment were collected. Based on the information collected, it was calculated the number of photovoltaic panels that were essential to supply the use of electricity with the enterprise's air conditioning system. It is important to highlight the great movement that software companies, such as IBM, Microsoft, Google, among others, are making regarding the use of renewable energy in their data centers or business partners. This movement can make the use of renewable energy in future became more attractive. for DCs.

**Keywords:** Data centre, Renewable Energy, Air conditioning, PUE, Resiliency

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

|                                                                       |    |
|-----------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 01 – Carga de Trabalho dos Data Centers e Uso de Energia ..... | 10 |
| Figura 02 – Data Center .....                                         | 13 |
| Figura 03 – Sistema de UPS e CRAH .....                               | 14 |
| Figura 04 – Mapa Uptime Institute .....                               | 15 |
| Figura 05 – Data Center Tiers e Disponibilidade .....                 | 16 |
| Figura 05 – Layout de um Data Center .....                            | 20 |
| Figura 06 – Piso Elevado de Data Center .....                         | 20 |
| Figura 07 – Infraestrutura Elétrica Caminhos Redundantes .....        | 22 |
| Figura 08 – Diagrama Unifilar Bloco Redundante .....                  | 23 |
| Figura 09 – No-Break Uso Doméstico .....                              | 24 |
| Figura 10 – Diagrama de um UPS .....                                  | 25 |
| Figura 11 – UPS de 1200 KVA .....                                     | 25 |
| Figura 12 – Diagrama STS .....                                        | 26 |
| Figura 13 – Moto-gerador Sotreq .....                                 | 27 |
| Figura 13 – Modelo de PDU .....                                       | 28 |
| Figura 14 – CRAH e o piso elevado .....                               | 30 |
| Figura 15 – O Sol .....                                               | 31 |
| Figura 16 – Mapa Da Irradiação no Brasil .....                        | 32 |
| Figura 17- Gerald Pearson, Daryl Chapin e Calvin Fuller .....         | 34 |
| Figura 18 – Célula fotovoltaica .....                                 | 35 |
| Figura 19 – Sistema On-Grid .....                                     | 36 |
| Figura 20 – Conceito de Horas de Sol Pleno .....                      | 38 |
| Figura 21 – Cálculo no Plano Inclinado .....                          | 42 |
| Figura 22 – Diagrama de blocos da infraestrutura elétrica .....       | 43 |
| Figura 23 – Queda no valor do kW fotovoltaico .....                   | 47 |
| Figura 24 – Payback Descontado .....                                  | 50 |
| Figura 25 – Painéis Fotovoltaicos no Telhado .....                    | 51 |
| Figura 26 – Telhado no Prédio Estudado .....                          | 52 |

## LISTA DE TABELAS

|                                                                  |    |
|------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 01 – Descrição dos Tiers .....                            | 16 |
| Tabela 02 – Parâmetros de PUE .....                              | 19 |
| Tabela 03 – Dados Climatológicos de Barueri.....                 | 42 |
| Tabela 06 – Dimensionamento fotovoltaico de 100% do sistema..... | 45 |
| Tabela 07 – Consumo em kWh cenário 100%.....                     | 46 |
| Tabela 08 - Dimensionamento fotovoltaico de 50% do sistema ..... | 46 |
| Tabela 09 - Consumo em kWh cenário 50% .....                     | 47 |
| Tabela 04 – Valores de OPEX e CAPEX Usados Como Base .....       | 48 |
| Tabela 05 – Custos Estimados .....                               | 48 |
| Tabela 10 – Custo vs Economia .....                              | 49 |
| Tabela 11 – Área por Cenário Estudado.....                       | 52 |

## LISTA DE EQUAÇÕES

|                 |    |
|-----------------|----|
| Equação 01..... | 18 |
| Equação 02..... | 37 |
| Equação 03..... | 37 |
| Equação 04..... | 38 |
| Equação 05..... | 39 |
| Equação 06..... | 39 |
| Equação 07..... | 40 |
| Equação 08..... | 40 |
| Equação 09..... | 49 |

## SUMÁRIO

|                                                               |           |
|---------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1. INTRODUÇÃO .....</b>                                    | <b>9</b>  |
| 1.1. Apresentação .....                                       | 9         |
| 1.2. Objetivos .....                                          | 11        |
| <b>2. REVISÃO LITERARIA .....</b>                             | <b>13</b> |
| 2.1. Data center.....                                         | 13        |
| 2.1.1. Certificações.....                                     | 15        |
| 2.1.2. PUE .....                                              | 18        |
| 2.1.3. Características Civas.....                             | 19        |
| 2.1.4. Entrega de Energia Elétrica.....                       | 21        |
| 2.1.5. UPS - Uninterruptible Power Supply.....                | 23        |
| 2.1.6. STS – Static Transfer Switch.....                      | 26        |
| 2.1.7. Gerador .....                                          | 26        |
| 2.1.8. PDU.....                                               | 28        |
| 2.1.9. Chiller .....                                          | 28        |
| 2.1.10. CRAH .....                                            | 29        |
| 2.2. Energia solar .....                                      | 30        |
| 2.2.1. Radiação e irradiação.....                             | 31        |
| 2.2.2. História do efeito fotovoltaico e a célula solar ..... | 32        |
| 2.2.3. Conversão fotovoltaica .....                           | 34        |
| 2.2.4. Inversor Fotovoltaico .....                            | 36        |
| <b>3. TEORIA .....</b>                                        | <b>37</b> |
| 3.1. Dimensionamento solar.....                               | 37        |
| 3.2. Viabilidade econômica .....                              | 39        |
| 3.2.1. Payback Simples .....                                  | 39        |
| 3.2.2. Payback Descontado.....                                | 40        |
| <b>4. MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>                            | <b>41</b> |
| 4.1. Informações técnicas do site estudado .....              | 41        |
| 4.2. Informações dos materiais usados.....                    | 43        |
| <b>5. RESULTADOS.....</b>                                     | <b>44</b> |

|           |                                                 |           |
|-----------|-------------------------------------------------|-----------|
| 5.1.      | Dimensionamento Fotovoltaico .....              | 44        |
| 5.2.      | Metodologia Aplicada Avaliação Financeira ..... | 47        |
| 5.3.      | Avaliação Financeira .....                      | 49        |
| <b>6.</b> | <b>DISCUSSÃO DOS RESULTADOS .....</b>           | <b>51</b> |
| <b>7.</b> | <b>CONCLUSÃO.....</b>                           | <b>53</b> |
| <b>8.</b> | <b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS .....</b>         | <b>55</b> |
| <b>9.</b> | <b>ANEXOS.....</b>                              | <b>65</b> |
| 9.1.      | Datasheet Módulo Fotovoltaico .....             | 65        |



## 1. INTRODUÇÃO

### 1.1. Apresentação

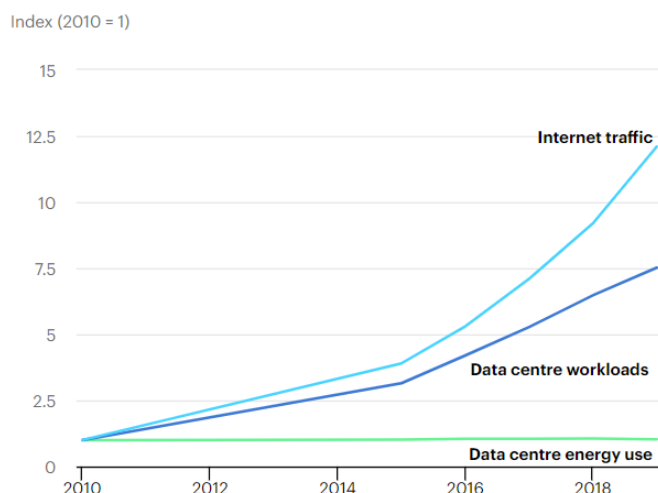
Embora a importância dos data center para a sociedade moderna esteja cada vez mais em evidência poucos podem perceber esse fato. Responsável por armazenar e processar dados os data centers vêm crescendo na medida que a sociedade moderna se torna mais conectada e sua demanda por dados aumentam.

A necessidade energética que os data centers geram é relativamente proporcional ao crescimento da exigência por dados e processamento. Já em 2007 a Agência de Proteção do Meio Ambiente (Environment Protection Agency - EPA) nos Estados Unidos solicitou um estudo sobre o uso de energia elétrica dos data centers e as oportunidades de eficiência, no qual foi verificado que o consumo de energia elétrica dos data centers representava 1,5% de toda a energia produzida nos Estados Unidos em 2006 (RICHARD BROWN, 2008). Hoje os data centers representam 1% do uso de energia elétrica no mundo. (IEA, 2019)

A eficiência energética pode ser percebida no crescimento dos data centers ao redor do mundo e seu consumo estável de energia elétrica conforme figura 01, onde o consumo de energia elétrica dos data center pouco variou ao longo de nove anos, porém sua carga de trabalho expandiu 7,5% (IEA, 2019).

Figura 01 – Carga de Trabalho dos Data Centers e Uso de Energia

Global trends in internet traffic, data centre workloads and data centre energy use, 2010-2019



Fonte: IEA, 2019

Segundo a IDC Brasil, em 2020 o mercado de TI brasileiro deve crescer 5,8%, impulsionado pelo crescimento da nuvem e a aceleração de software. O crescimento de software estimula o crescimento de hardware que por sua vez aumenta a demanda por espaço físico e energia elétrica nos data centers. A pesquisa da Synergy Research mostrou que hoje existem 504 hyperscale data centers no mundo, sendo que em 2017 eram 390, um crescimento de 30% em 2 anos (AQUIM, 2020). Os hyperscale data centers são projetados para atender as grandes empresas de tecnologia como o Facebook, Google, IBM e Microsoft. Esses data centers demandam uma grande quantidade de energia para suportar um imenso processamento e armazenamento de dados (WINTERSON, 2020).

Quando o aumento de demanda por processamento de dados supera a redução proporcionada pelas ações de eficiência energética temos o aumento do uso de energia elétrica, nesse momento deve-se procurar novas formas de suprir a demanda por energia.

Em 2018 o Google adquiriu 10TWh e a Apple 1,3TWh que equivalem a 100% do consumo de energia elétrica das duas empresas. Tal feito foi possível através de PPA, Power Purchase Agreement (Acordo de Compra de Energia, em tradução livre),

onde as empresas compram certificados de energia renovável no mercado de energia elétrica, conhecido como Renewable Energy Certificate - REC (IEA, 2019).

Como que nem todas as empresas têm condições de construir a própria usina, uma alternativa seriam os RECs, ao comprá-los a empresa é abastecida com sua energia local, que seria um “mix” de fontes renováveis e não renováveis, porém recebe um certificado identificando que está adquirindo energia de uma fonte renovável. Grandes empresas como Google, Apple, Wal-Mart e Microsoft investem dessa maneira, a fim de contribuir para a redução das emissões de CO<sub>2</sub> (ABRAGEL, 2019)

Com esse intenso consumo de eletricidade dos data centers é importante ressaltar a relação entre a energia elétrica e as emissões de carbono. Segundo a Agência Internacional de Energia (IEA) a relação entre a geração de energia elétrica e a emissão de CO<sub>2</sub> é de aproximadamente 40%. As emissões de CO<sub>2</sub> são geradas por toda a cadeia que envolve sua construção e a manufatura dos equipamentos que compõem o prédio (Chiller, UPS, baterias, Transformadores etc.). (BOULEY, 2011).

Seguindo a crescente demanda por uso de energia renovável, hyperscale data center e sustentabilidade será avaliado a viabilidade e o impacto no uso do sistema de energia fotovoltaica grid-tie no telhado de um data center dimensionado para suprir a demanda de refrigeração dos equipamentos de ar-condicionado a 50% e 100% do seu consumo global.

## 1.2. Objetivos

O presente trabalho tem por objetivo avaliar o potencial fotovoltaico em um data center na Grande São Paulo, tendo como premissa manter a resiliência aliada ao consumo sustentável do centro de processamento de dados.

A partir da coleta de informações do data center, foi dimensionado um sistema fotovoltaico para atender a demanda de energia elétrica do sistema de refrigeração, em dois cenários, sendo 100% e 50% do consumo elétrico, modulando o excedente para a concessionária de energia elétrica da região, se houver.

No dimensionamento foi usado o conceito de Hora de Sol Pleno e focou em analisar a capacidade de energia gerada pelas células fotovoltaicas para avaliar o impacto causado na conta de luz do empreendimento. Para a viabilidade financeira,

foi utilizado os conceitos de payback e taxa interna de retorno a fim de avaliar a atratividade ou não desse investimento no atual momento.

Devido aos data centers serem grandes empreendimentos eletrointensivos é de extrema importância que comecem a buscar fontes alternativas de energia elétrica, pois ainda que a eficiência energética venha para contribuir com a redução de consumo de energia, o custo da matriz energética vem aumentando e no futuro a energia elétrica tende a expandir para sistemas renováveis. Outro ponto para a busca por energia limpa são grandes empresas de tecnologia que vêm buscando ser sustentáveis e reduzir suas emissões de carbono e de toda sua cadeia de fornecedores.

## 2. REVISÃO LITERARIA

### 2.1. Data center

Com a chegada dos anos 90's surgiu uma nova classe de equipamentos de TI (Tecnologia da Informação). Servidores, processadores, construções de data center e suas localizações se tornaram maiores junto com a intensidade de energia utilizada. (KOOMEY, 2008). Os computadores pilotam aviões, rodam empresas, controlam indústria e mantém a sociedade em contato constante uns com os outros. Atualmente a informação é rápida, dinâmica, fácil de encontrar e ágil de compartilhar. (Hilbert; López, 2011)

Figura 02 – Data Center



Fonte: 2Could, 2018

Um data center contém principalmente equipamentos eletrônicos para processamento de dados (servidores), armazenamento de dados (storages) e para comunicação (roteadores e switches) instalados em racks conforme figura 02. Coletivamente esses equipamentos processam, armazenam e transmitem informações digitais conhecidas como “Tecnologia da Informação” ou TI. Os data centers também contêm sofisticados sistemas de conversão e armazenamento de energia a fim de manter a confiabilidade, qualidade de energia e precisão no controle de temperatura e umidade do ambiente, conforme UPS usada como fonte de energia

ininterrupta, apresentada na figura 03, para os equipamentos de TI. (RICHARD BROWN, 2008)

Figura 03 – Sistema de UPS e CRAH



Fonte: Vertiv, 2019

No passado conhecidos como centro de processamento de dados, sejam grandes ou pequenos, os data centers estão presentes em todos os setores da economia. Os bancos usam para o processamento dos pagamentos, as montadoras de carros para controlar os robôs da linha de montagem ou o setor primário para controle de sementes e máquinas agrícolas. O *boom* de data center se deu principalmente durante a bolha da internet de 1994 até 2000. No Brasil os primeiros centros de processamentos de dados foram dos grandes bancos, seguindo pelas empresas de tecnologia. Hoje no Brasil existem aproximadamente 82 data center certificados de acordo com a UPTIME INSTITUTE. Na figura 04 pode-se observar alguns data centers no Brasil e na América Latina.

Figura 04 – Mapa Uptime Institute



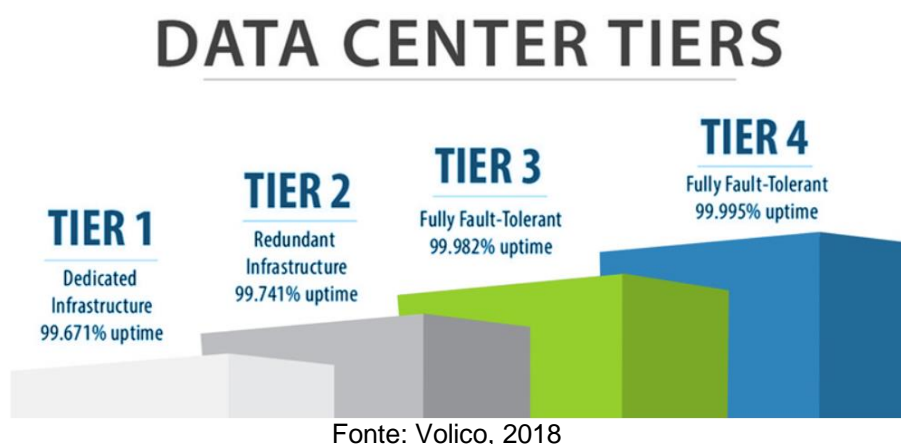
Fonte: UPTIME INSTITUTE, 2020

### 2.1.1.1. Certificações

Em 1993 Kenneth G. Bill fundou o UPTIME INSTITUTE, que hoje é uma das principais certificadoras de infraestrutura de data center ao redor do mundo. O INSTITUTE foi o pioneiro na criação dos parâmetros TIER (Tier I, Tier II, Tier III e Tier IV) para disponibilidade de data center e hoje possui mais de 1731 sites certificados em 102 países (UPTIME INSTITUTE, 2020).

As classificações Tier, conforme figura 05, foram criadas para descrever o nível de resiliência de um data center. Tal certificação é baseada em todos os sistemas e subsistemas do site, ou seja, para o UPTIME INSTITUTE os data centers são dependentes de uma operação bem sucedida e integrada de sistemas elétricos, mecânicos e de sua construção.

Figura 05 – Data Center Tiers e Disponibilidade



O Tier é dividido em quatro categorias, conforme a tabela 01. Podemos dizer que o mais básico é o Tier I que não possui conceito de redundância, porém já possui um sistema de UPS (*Uninterruptible Power Supply* – Fonte Ininterrupta de Energia) que em caso de queda de energia da concessionária de energia elétrica, a sala de computadores se manterá energizada até o início do funcionamento do Grupo Gerador. O mais complexo é o Tier IV que é conhecido por ser tolerante a falhas. Construções com essa certificação, possuem *N* sistemas elétricos ou mecânicos independentes e isolados, o que significa que qualquer falha em um dos componentes, não causará impacto na sala de computadores. (BRILL, 2017)

Tabela 01 – Descrição dos Tiers

|                                                                  | Tier I | Tier II | Tier III                 | Tier IV                  |
|------------------------------------------------------------------|--------|---------|--------------------------|--------------------------|
| Componentes de capacidade mínimos para dar suporte à carga de TI | N      | N+1     | N+1                      | N<br>Após qualquer falha |
| Caminhos de distribuição – Rede principal de energia             | 1      | 1       | 1 ativo e 1 alternativo  | 2 simultaneamente ativos |
| Distribuição de energia crítica                                  | 1      | 1       | 2 simultaneamente ativos | 2 simultaneamente ativos |
| Concurrently Maintainable                                        | Não    | Não     | Sim                      | Sim                      |
| Fault Tolerance                                                  | Não    | Não     | Não                      | Sim                      |
| Compartmentalization                                             | Não    | Não     | Não                      | Sim                      |
| Continuous Cooling                                               | Não    | Não     | Não                      | Sim                      |

Fonte: UPTIME INSTITUTE, 2020

Abaixo evidencia-se os níveis de Tier e seus principais critérios. É importante lembrar que um site sempre será classificado de acordo com seu sistema ou



subsistema mais vulnerável (UPTIME INSTITUTE, 2020). A seguir também encontra-se a porcentagem de disponibilidade do ano com base na TIA-942.

**Tier I:** Infraestrutura básica (99,671% de disponibilidade)

- Possui um único caminho de distribuição para atender o ambiente crítico;
- Não possui redundância elétrica ou mecânica;
- É dotado de sistema de UPS para filtrar picos de energia e quedas. Possui Grupo Gerador para possíveis falhas da concessionária de energia;
- Suscetível a paradas de manutenções planejadas ou não;

**Tier II:** Componentes redundante distribuição única (99,741% de disponibilidade)

- Mesmos itens de um Tier I;
- Possui UPS, Geradores e Chiller redundantes, de maneira que a falha de um componente do sistema não impactará a carga crítica;
- Suscetível a paradas de manutenções planejadas ou não nos sistemas de distribuição para a carga crítica;

**Tier III:** Manutenção concorrente (99,982% de disponibilidade)

- Mesmos itens básicos do Tier I e II;
- Possui caminho de distribuição alternativos para a carga crítica;
- Não é suscetível a paradas de manutenções planejadas ou não;
- Uma manutenção ou parada impactará apenas metade da alimentação da carga crítica, para isso todos os equipamentos de TI devem possuir dupla alimentação de energia;

**Tier IV:** Tolerância a Falhas (99,995% de disponibilidade)

- Todas as características do Tiers anteriores;
- Possui sistemas elétricos e mecânicos redundantes, independentes e fisicamente isolados;
- Pode tolerar até uma falha humana ou de componente o que se deve a sua arquitetura de segregação de componentes e caminhos.

### 2.1.2. PUE

O Power Usage Effectiveness é um coeficiente indicador de desempenho de data center usado para quantificar a eficiência de uso da energia em forma de eletricidade. Foi apresentado inicialmente pela The Green Grid em 2006, uma organização do Conselho de Tecnologia de Informação (ITI) que promove pesquisa em eficiência de data center ao redor do mundo. Devido seu alcance e uso desde meados de 2007, quando passou a ser a principal métrica dos data center, em 2016 o PUE foi padronizado pelo ISO/IEC-30134. (BRADY et al, 2013).

O valor do PUE é adimensional e maior que 1 (um). Seu resultado é a razão entre o consumo total de energia do empreendimento e o consumo dos equipamentos de TI, conforme equação 01, abaixo:

$$PUE = \frac{E_{DC}}{E_{IT}} \quad 01$$

Onde:

$E_{DC}$  = Energia total do data center

$E_{IT}$  = Energia total de equipamentos de TI

A ISO/IEC-30134, não estabelece valores limites e máximos nem relação com a eficiência do data center. Na figura abaixo, tem-se os valores que o mercado adotou para um data center eficiente e não eficiente. Atualmente dia é comum que as grandes empresas de informática e nuvem, coloquem meta para o PUE de um determinado data center. Em 2008 o Google definiu que seis dos seus data centers teriam um PUE de 1,21 (TUF, 2014).

Tabela 02 – Parâmetros de PUE

| PUE | DCiE | Level of Efficiency |
|-----|------|---------------------|
| 3.0 | 33%  | Very Inefficient    |
| 2.5 | 40%  | Inefficient         |
| 2.0 | 50%  | Average             |
| 1.5 | 67%  | Efficient           |
| 1.2 | 83%  | Very Efficient      |

Fonte: 42u, 2020

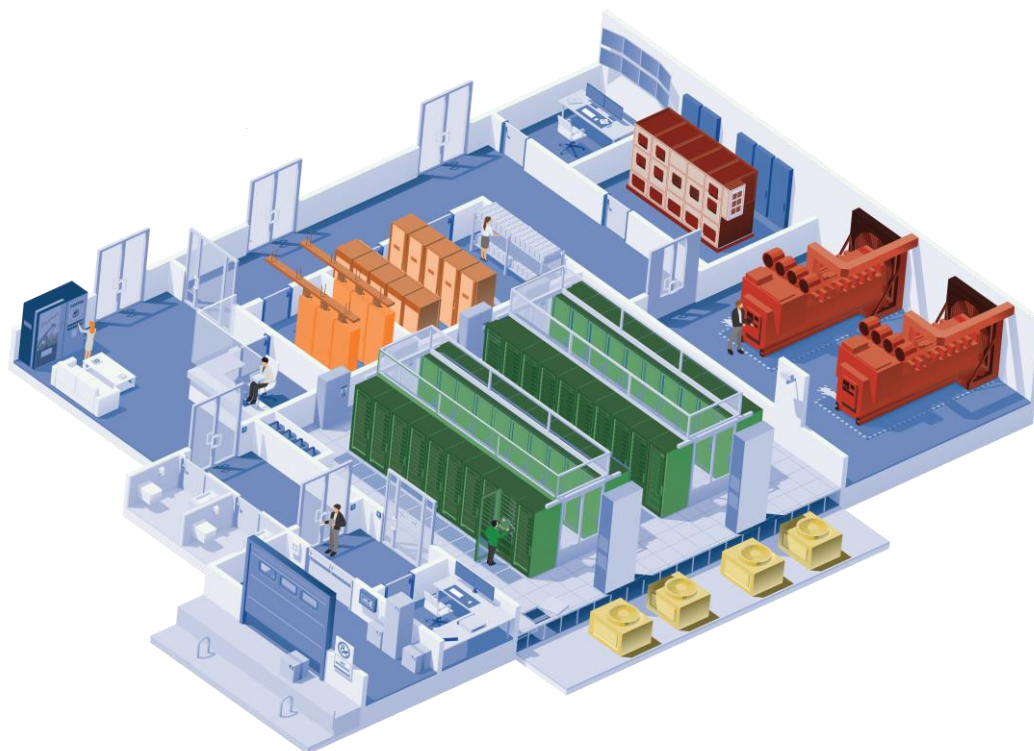
Porém devido a simplicidade em seu cálculo, o PUE acaba por não considerar alguns pontos importantes, como por exemplos dados geográficos e climatológicos ao realizar a razão da energia consumida global pela energia consumida de TI. Essa questão gerou inúmeros debates, devido ao impacto que a localização geográfica pode causar na carga de refrigeração, por exemplo.

### 2.1.3. Características Cíveis

Os data centers em sua maioria são prédios térreos que podem ir de 1.000 m<sup>2</sup> até 63.000 m<sup>2</sup> de área construída. Essa área geralmente é dividida entre cabine primária, sala de transformadores, sala de UPS/Baterias, área de climatização, geradores, docas, área de operação e manutenção, pontos de presença das operadoras de telecomunicação, sala de computadores e estoque.

No geral a construção civil de um datacenter não possui grandes requisitos. O fator principal é a sala de TI que na maioria dos casos fica no centro da edificação. Alguns data centers são grandes galpões pré-fabricados que são segmentados em várias salas. Na maioria das vezes a sala de datacenter fica no centro da edificação e as salas de suporte ficam ao redor do datahall.

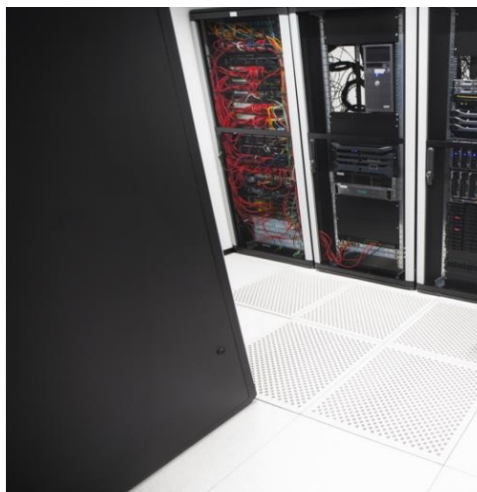
Figura 05 – Layout de um Data Center



Fonte: Servpac, 2019

É comum também ouvir o termo piso branco ou piso elevado, o qual se refere ao fato de ser usada uma placa de piso e deixá-la elevada em relação ao solo para passagem de cabeamento elétrico ou dados e como um plenum para o insulflamento de ar-condicionado aos racks. O termo piso branco vem justamente do piso ser branco, conforme a figura 06.

Figura 06 – Piso Elevado de Data Center



Fonte: INSTOR, 2020

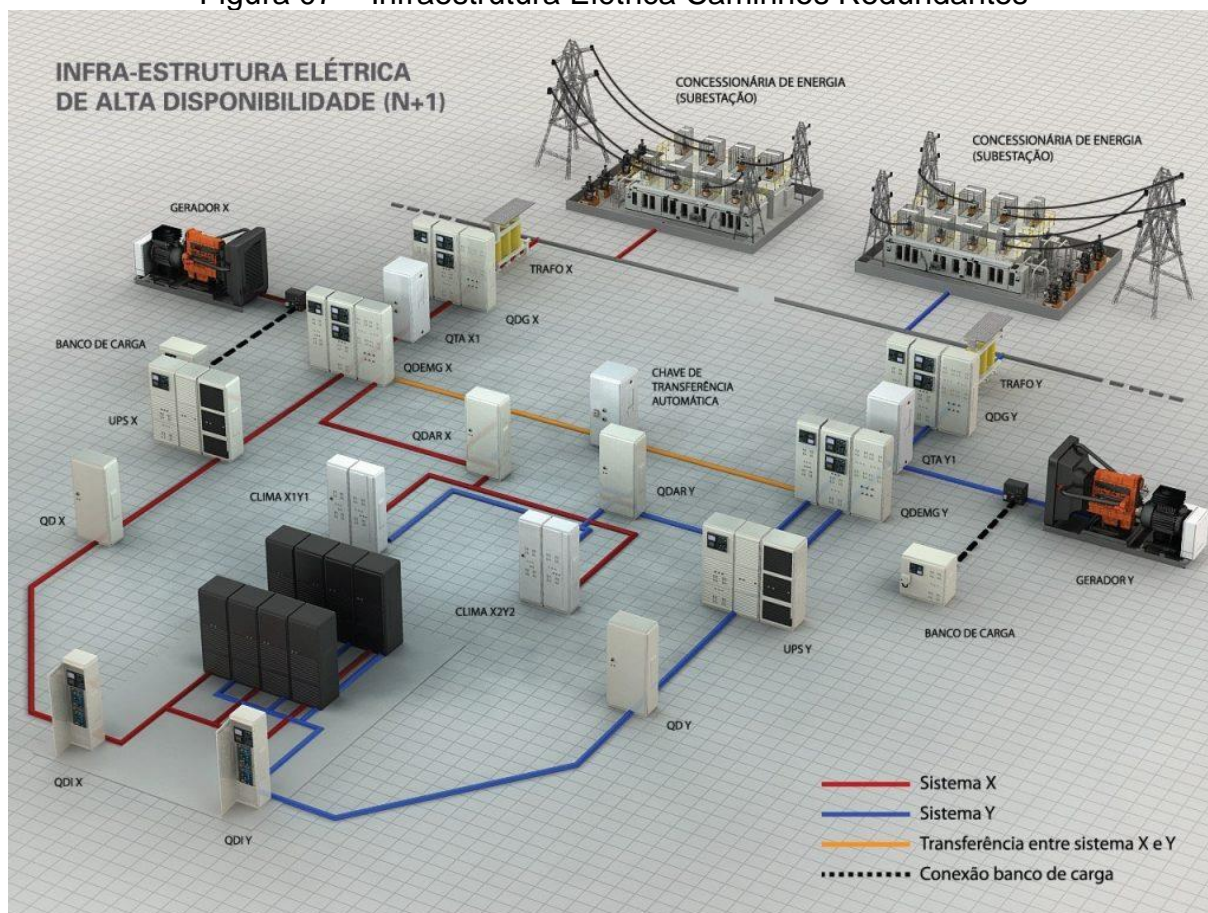
#### 2.1.4. Entrega de Energia Elétrica

Com capacidades que podem chegar a 40MW de carga de TI instalada, os datacenters, possuem um complexo sistema de infraestrutura elétrica para suportar essa demanda. Chillers, fancoils, sistemas de potência, sistemas auxiliares e equipamentos de TI são os grandes consumidores nos DCs, fazendo com que a entrada de energia da concessionária em sua maioria seja em média ou alta tensão. Como exemplo uma empresa de data center possui um datacenter na cidade de Hortolândia construído em 2019 com capacidade para 40MW dedicados para equipamentos de TI. O site possui subestação própria com capacidade de 50MW, conectada à rede transmissão de 138kV da concessionária CPFL. (FUNKE, 2020).

A fim de se tornarem “manutenção concorrente” e garantirem a disponibilidade do data center são empregadas diferentes metodologias no sistema elétrico do site. Hoje no mercado existem dois conceitos muito usados: o bloco redundante e o tree bus.

Conforme a figura 07, pode-se observar o conceito de bloco redundante, no qual as duas linhas ficam energizadas no caso da falha de algum caminho.

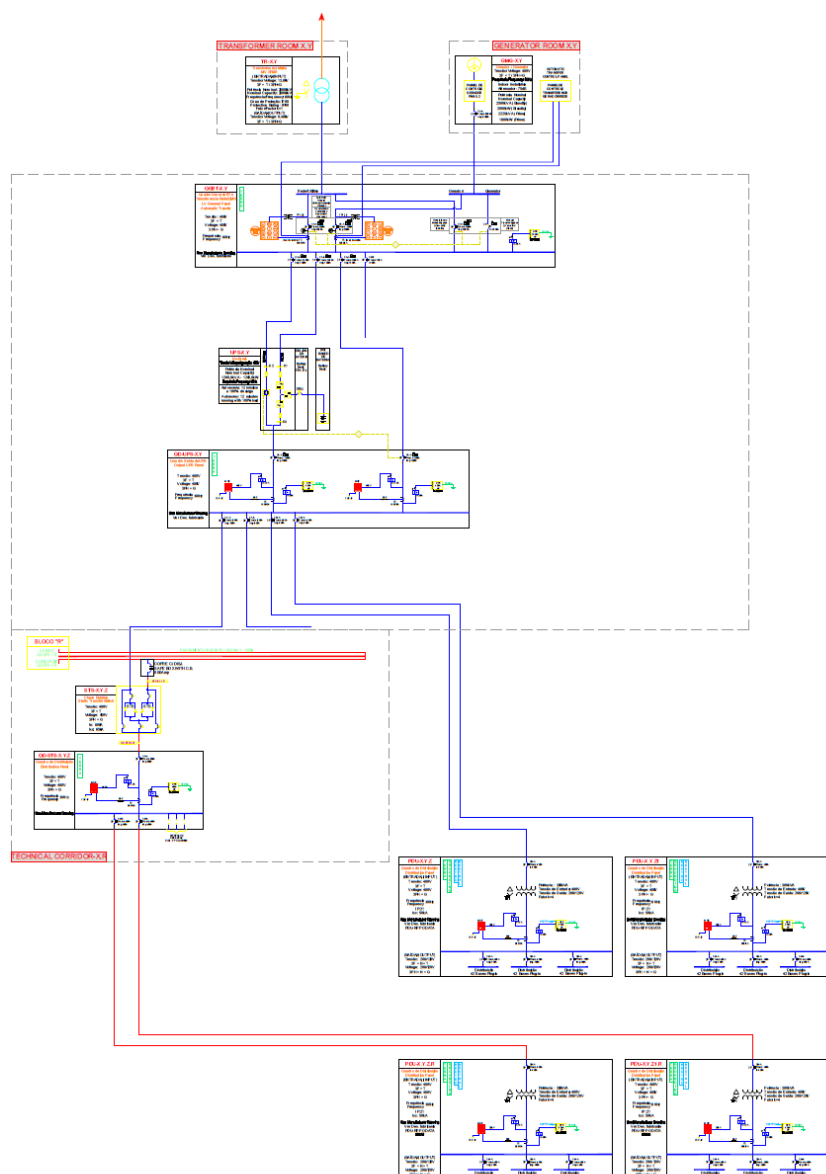
Figura 07 – Infraestrutura Elétrica Caminhos Redundantes



Fonte: INNOTECHNO, 2020

Ainda na figura 07, pode-se observar a nomenclatura X e Y, que são os caminhos e componentes disponíveis para atender a carga crítica. Na figura 08, pode-se observar a nomenclatura “R” de *redundante*.

Figura 08 – Diagrama Unifilar Bloco Redundante



Fonte: Autor, 2020

### 2.1.5. UPS - Uninterruptible Power Supply

A UPS, conhecido no Brasil como No-Break, é usualmente usada em casa conforme figura 09. Ela é responsável por prover energia de maneira contínua, sem distúrbios ou falhas aos equipamentos de TI. Seu funcionamento se dá através da dupla conversão de energia elétrica. (EATON, 2016)

Figura 09 – No-Break Uso Doméstico



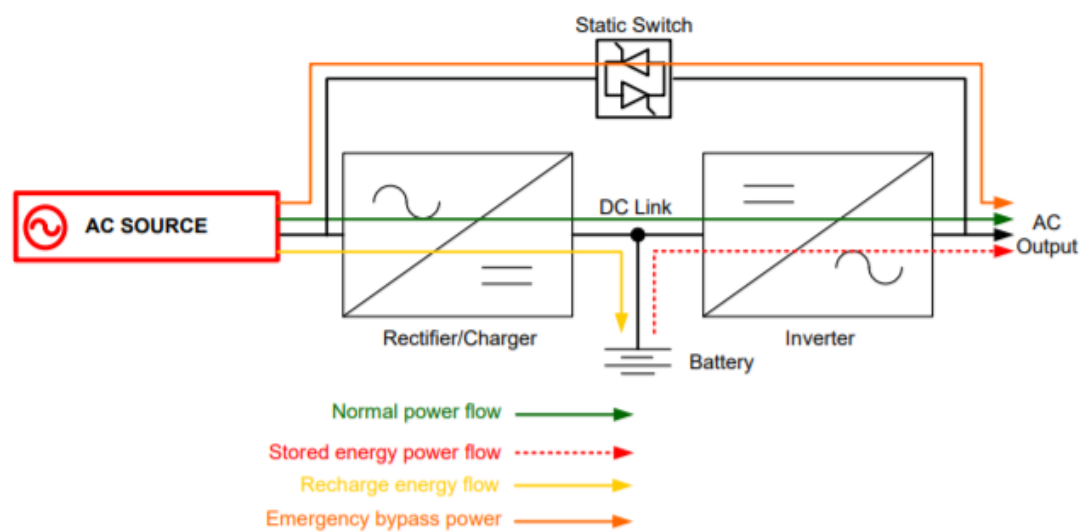
Fonte: APC, 2020

A UPS é alimentada com energia em corrente alternada, retificada para corrente contínua, armazena em um banco de baterias e então convertida, através de um inversor, para corrente alternada novamente alimentando a carga crítica. Podemos observar cada componente de uma UPS na figura 10. Com a energia armazenada nos bancos, caso a UPS pare de receber energia na sua entrada ela ainda é capaz de manter a carga de TI alimentada pelo tempo que as baterias forem dimensionadas. (VERTIV, 2019). Dessa maneira as baterias funcionam como uma máquina do tempo, armazenando a energia e liberando-a quando necessário.

É comum que a autonomia de um UPS, figura 11, seja de 10 a 15 minutos, que supostamente seria o tempo necessário para parar os processos e desligar os servidores em segurança. Porém, hoje com sistemas de geração própria, não se faz necessário desligar os servidores. (LOEFFLER; SPEARS, 2011)



Figura 10 – Diagrama de um UPS



Fonte: EATON, 2011

Figura 11 – UPS de 1200 KVA

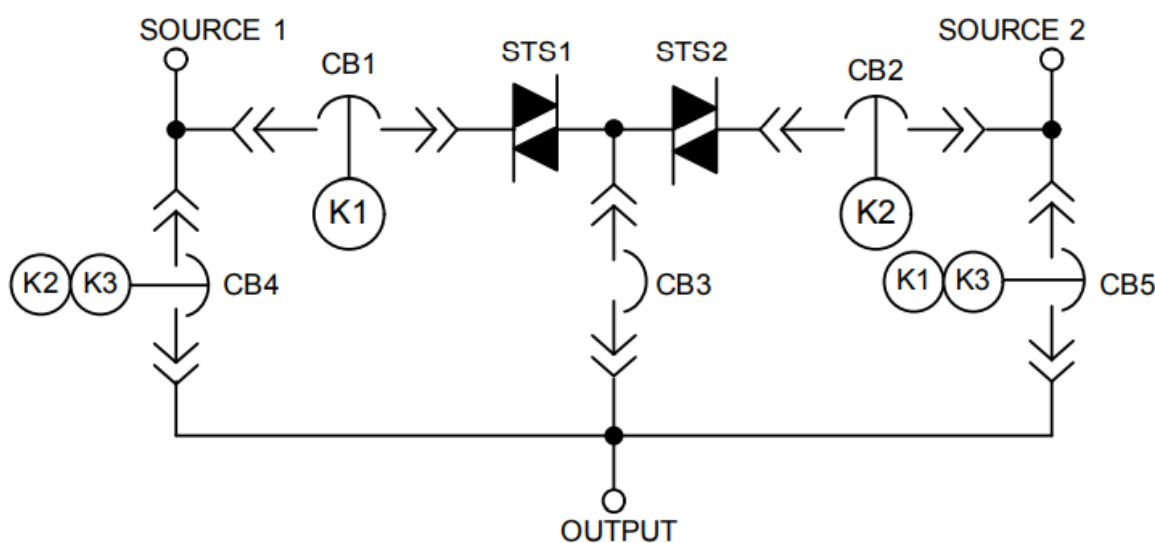


Fonte: Vertiv, 2019

### 2.1.6. STS – Static Transfer Switch

A STS - Static Transfer Switch (Chave de Transferência Estática), é um equipamento capaz de realizar a transferência manual entre duas fontes distintas de energia de maneira rápida com uma interrupção inferior a  $\frac{1}{4}$  do ciclo de 60Hz. Tal feito é obtido através de dois Controladores Retificadores de Silício (SCR), conforme figura 12, ligados em cada fonte que a STS recebe. O SCR, funciona como um interruptor estático unidirecional, abrindo ou fechando o circuito a partir da aplicação de tensão em um de seus terminais. Como não há nenhum componente mecânico sua transferência ocorre na ordem de milissegundos, respeitando as tolerâncias dos equipamentos de TI e obedecendo as curvas CBEMA/ITIC, conforme figura 12 (VERTIV, 2019)

Figura 12 – Diagrama STS



Fonte: Vertiv, 2019

### 2.1.7. Gerador

O grupo moto-gerador, conforme figura 13 é composto principalmente por um motor, na maioria dos datacenters acionado a diesel, e um alternador ambos montados em uma estrutura comum. Quando necessário o motor é ligado e o gerador é acionado para produzir energia elétrica. (MTU, 2017)

Figura 13 – Moto-gerador Sotreq



Fonte: SOTREQ, 2020

Os motores podem ser ciclo Otto, com mistura ar-combustível preparada antes de ser comprimida no interior dos cilindros. A combustão dessa mistura ocorre-se a partir da centelha de uma vela de ignição. Isso se aplica para motores com combustíveis a gasolina, álcool ou gás. (SOTREQ, 2018)

Motores com ciclo diesel possuem um conceito diferente. Eles aspiram ar que é comprimido no cilindro e é injetado o combustível, diesel, a uma pressão superior a do ar no cilindro. Dessa maneira ocorre a combustão espontânea do combustível provocada pela autoignição do contato do combustível com o ar aquecido pela alta pressão. (SOTREQ, 2018).

O princípio da transformação de energia mecânica do motor para energia elétrica no gerador fundamenta-se na Lei de Lenz afirmando que quando existe indução magnética, a direção da força eletromotriz induzida é tal, que o campo magnético dela resultante tende a parar o movimento que produz a força eletromotriz. (SOTREQ, 2018)

### 2.1.8. PDU

Power Distribution Unit (Unidade de Distribuição de Energia) é o nome dado para o equipamento que distribui energia através de circuitos aos racks do datacenter. No geral as PDUs possuem transformadores isolados instalados com fator K4 a K20, configuração delta/estrela, que fornecem energia em corrente alternada para os racks do datacenter em 380/220 ou 208V. Cada empresa de datacenter segue um padrão diferente e não existe necessariamente uma regra e sim uma demanda a ser atendida, seja do cliente ou padrão técnico. (VERTIV, 2019) Na figura 13 observa-se um modelo de PDU ou também RRP.

Figura 13 – Modelo de PDU



Fonte: Vertiv, 2020

### 2.1.9. Chiller

O chiller é uma unidade de refrigeração de líquido de condensação a ar. É usado em sistemas de expansão indireta, no qual a água é usada para a transferência de calor do ambiente interno para o externo. Existem inúmeros modelos e variações

sendo o mais comercializado o tipo parafuso, que se refere ao modo de operação e construção de seu compressor. (TRANE, 2019)

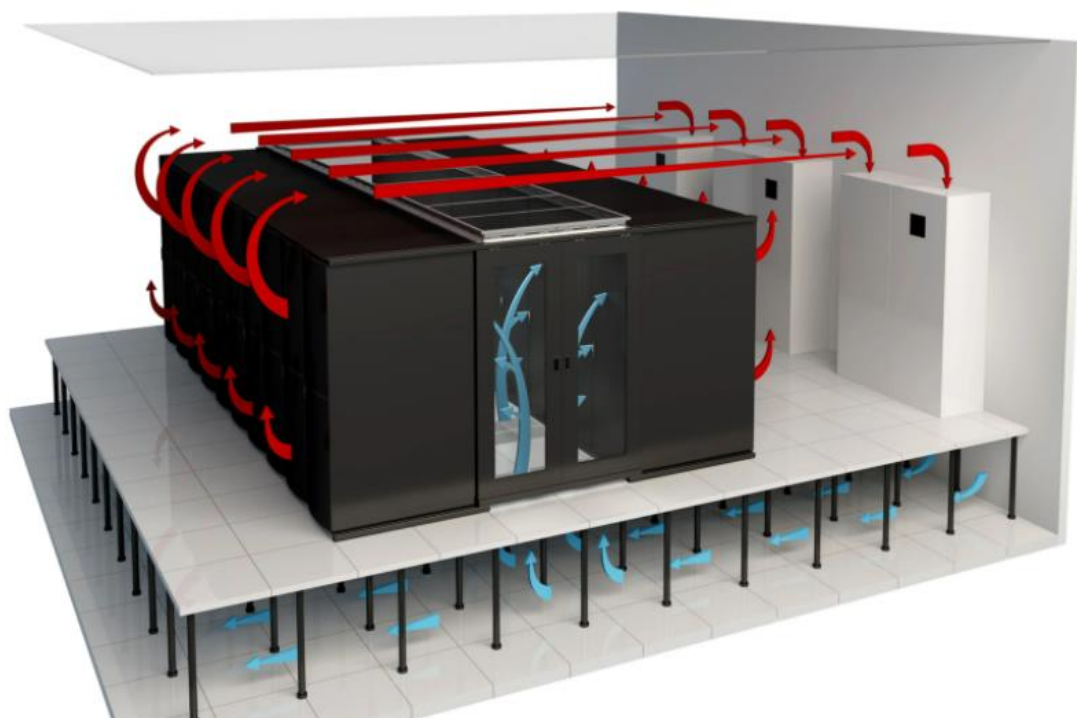
Nos datacenters, principalmente no Brasil, o sistema mais usado é o por expansão indireta, no qual é usado um conjunto de chiller para realizar a transferência de calor do ambiente para o ar externo. Esses sistemas são comumente chamados de CAG, Central de Água Gelada, que se refere a todo o sistema de bombas primárias e secundárias que retiram e enviam a água para os CRAH e mantém a água gelada circulando no sistema.

Na maioria dos casos também é instalado um tanque de termo-acumulação de água gelada, que funciona como uma “bateria” de água gelada para que, no caso de uma perda do chillers, as bombas possam utilizar essa água armazenada para manter a refrigeração das salas.

#### 2.1.10. CRAH

Comumente chamado de CRAH, o fancoil de alta precisão é responsável por refrigerar a sala de datacenter. Podem ser de expansão direta ou indireta. O mais comum é expansão indireta, em conjunto com um sistema de água gelada. Seu modo de trabalho pode variar dependendo das características construtivas do datacenter. O modelo mais utilizado no mercado é o de insuflamento por baixo do piso elevado, conforme figura 14. Desta maneira a máquina de fancoil, extrai o ar quente do datacenter, passa por um filtro M3 e insufla o ar frio sobre o piso elevado do DC. (VERTIV, 2018).

Figura 14 – CRAH e o piso elevado

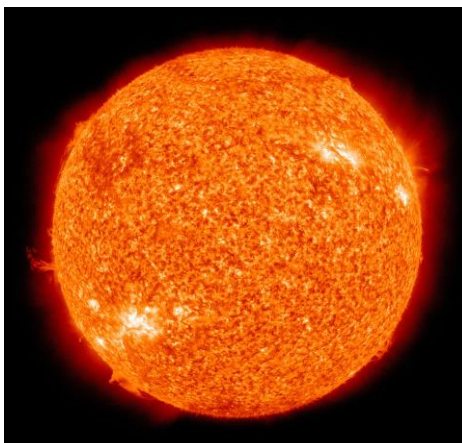


Fonte: Peterson, 2015

## 2.2. Energia solar

O sol, figura 15, é a estrela central do Sistema Solar. Todos os planetas desse sistema giram ao seu redor, incluindo a Terra que é aproximadamente 332 900 vezes menor que a estrela (WOOLFSON, 2000). O sol emite uma grande quantidade de energia e seu interior pode chegar a temperaturas superiores a 15 milhões de graus Celsius. Essa energia pode ser aproveitada de diversas formas. As plantas, por exemplo, utilizam da energia do sol para sobreviver, realizando a fotossíntese, e a humanidade vem desenvolvendo diversas formas de utilizar essa energia para sua qualidade de vida e avanços tecnológicos.

Figura 15 – O Sol



Fonte: Nasa, 2010

### 2.2.1. Radiação e irradiação

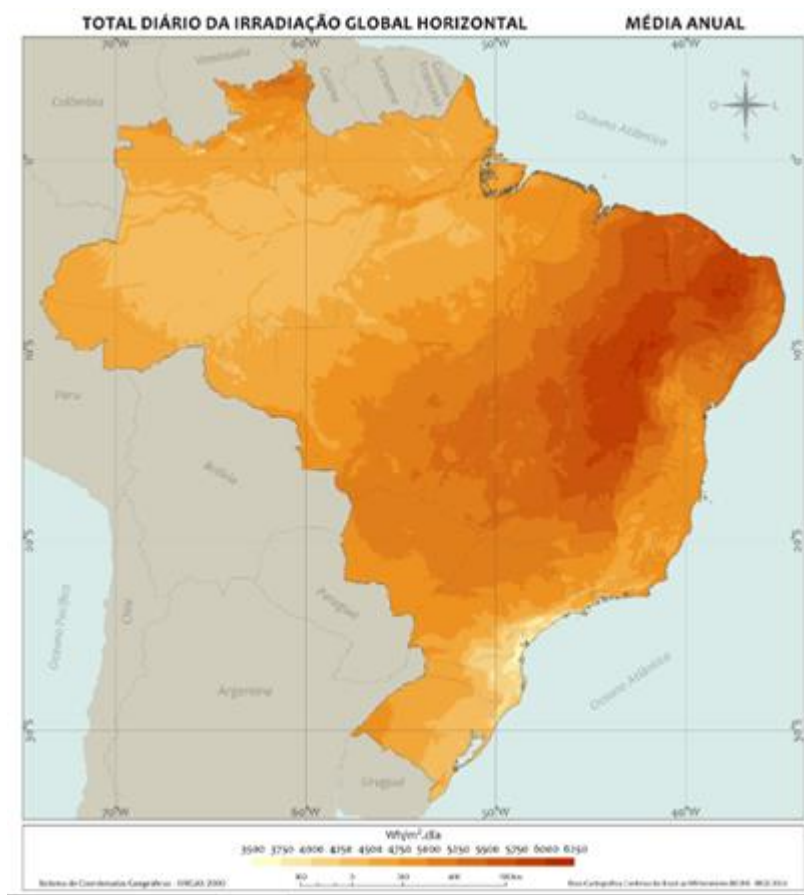
A radiação solar é a energia radiante emitida pelo sol e transmitida em forma eletromagnética. Ela é o resultado da fusão nuclear de dois prótons de Hidrogênio, que ocorre no interior do sol emitindo calor e ondas eletromagnéticas, como a luz. A intensidade depende da altura solar, determinada pelos valores de latitude e longitude, quanto mais próximo dos polos, menor será o fluxo energético na região, e quanto mais próximo da linha do Equador, melhor será o fluxo energético (PACECHO, 2017).

A irradiação é a radiação em um intervalo de tempo específico, em horas ou em dias, apresentada em watt-hora por metro quadrado. A Terra orbita o Sol a uma distância média de cerca de 150 milhões de quilômetros, completando um ciclo a cada 365,25 dias solares. Ao longo desse período, a distância varia entre 1,47.108 km e 1,52.108 km e, como resultado, o fluxo de radiação solar (irradiância solar) oscila entre 1.325 W/m<sup>2</sup> e 1.412W/m<sup>2</sup>. O valor médio da irradiância solar igual a 1.366 W/m<sup>2</sup> é definido como a constante solar (NREL, 2017). O fluxo de irradiação solar é de extrema importância para o estudo de implantação de um sistema fotovoltaico residencial. A partir dele determina-se o dimensionamento de todo o projeto. O Brasil possui alguns bancos de dados que fornecem os dados necessários, e para este projeto será utilizado o banco de dados do Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio Brito (CRESESB). A irradiação está diretamente relacionada com à hora do dia e as estações do ano, sendo mais bem aproveitada nas Horas de Sol a Pico (HPS) e em dias de verão. O mapa da figura 16 mostra a média anual para o total diário de irradiação global horizontal incidente sobre o Brasil durante os anos de 2005



a 2015, publicado no Atlas Brasileiro de Energia Solar em 2017, dados esses que serão usados para dimensionamento do projeto.

Figura 16 – Mapa Da Irradiação no Brasil



Fonte: PEREIRA, *et al* 2017

### 2.2.2. História do efeito fotovoltaico e a célula solar

A energia solar pode ser térmica ou luminosa. A energia luminosa é capturada por instrumentos fotoelétricos, através do efeito fotovoltaico que foi observado pela primeira vez pelo físico francês Alexandre Edmond Becquerel no ano de 1839 que ao submergir duas placas de latão em um eletrólito líquido produziam eletricidade quando expostas a luz solar. (PINHO; GALDINO, 2014)

A primeira célula solar só foi fabricada no ano de 1883 pelo inventor americano Charles Fritts, que ao recobrir uma amostra de selênio semicondutor com uma fina camada de ouro transparente a luz, e obteve eficiência de cerca de 1%. Já em 1877 W. G. Adams e R.E. Day, desenvolveram o primeiro dispositivo sólido de produção de



eletricidade a partir do efeito fotoelétrico usando o selênio. Apesar da baixa eficiência de conversão o engenheiro Werner Von Siemens passou a comercializar células de selênio como fotômetro para máquinas fotográficas, sendo essa a primeira aplicação comercial da nova tecnologia. (PINHO; GALDINO, 2014)

Albert Einstein em 1905 conseguiu explicar de maneira teórica o efeito fotoelétrico, no qual a luz é considerada como uma partícula (fóton), em um tempo de novos desenvolvimentos na área e o aprimoramento nos estudos de mecânica quântica e física dos semicondutores, assim como técnicas de dopagem e purificação do transistor de silício.

O engenheiro americano Russell Ohl, patenteou a célula solar moderna no ano de 1946. Paralelo aos estudos deles o físico sueco Sven Ason Berglund havia patenteado, em 1914, um método que melhorava a capacidade das células fotossensíveis, e em 1931, o engenheiro alemão Bruno Lange patenteou uma fotocélula usando o selênio de prata no lugar óxido de cobre.

Foi em 1954 dentro dos laboratórios da Bell Labs, onde três pesquisadores, figura 17, descobriram de maneira acidental que os semicondutores do tipo N-P de silício eram muito sensíveis à luz e após essa descoberta houve um grande avanço na produção da primeira célula solar comercial com aproximadamente 6% de conversão de energia solar. (PERLIN, 2014)

Figura 17- Gerald Pearson, Daryl Chapin e Calvin Fuller



Fonte: Perlin, 2014

A crise petrolífera de 1973 levou a um súbito investimento em programas de investigação para reduzir o custo de produção das células solares. Algumas das tecnologias financiadas por estes programas revolucionaram as ideias sobre o processamento das células solares. É o caso da utilização de novos materiais, em particular o silício multicristalino (ao invés dos monocristais, muito mais caros de produzir). O resultado desse e de outros investimentos foi a redução dos custos da energia solar de 80 \$/Wp para cerca de 12 \$/Wp em menos de uma década. O Watt-Pico (wp) é a unidade de medida da potência elétrica para o padrão de 1000w/m<sup>2</sup> a 25°C. (VALLÉRA, 2006).

### 2.2.3. Conversão fotovoltaica

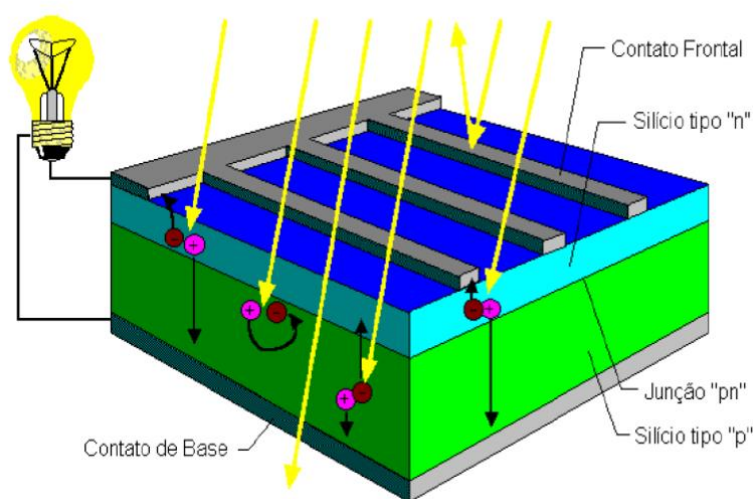
O efeito fotovoltaico é um fenômeno físico resultante da transformação da energia contida na radiação luminosa em energia elétrica. Ocorre em certos materiais semicondutores que têm a capacidade de absorver a energia contida nos fótons presentes na radiação luminosa incidente. Ao absorver a energia esses materiais acabam por quebrar as ligações químicas entre as moléculas presente em suas estruturas, conforme figura 17. A descrição desse efeito só foi possível graças ao

desenvolvimento da teoria da mecânica quântica, que afirma que qualquer tipo de radiação eletromagnética possui partículas, denominada de fótons, que carregam pacotes de energia que variam de acordo com as características espectrais de sua fonte. (ZILLES et al., 2012)

Os painéis fotovoltaicos são fabricados com materiais semicondutores, ou seja, materiais com características de um condutor e um isolante. A escolha dos elementos utilizados para fabricação leva em consideração alguns fatores, como a equivalência de suas características de absorção com o espectro solar, custo de fabricação e impactos gerados no meio ambiente. Dentre os elementos utilizados temos o silício (Si) monocristalino, policristalino e amorfo; arseneto de gálio (GaAs); disseleneto de cobre e índio (CuInSe<sub>2</sub>); disseleneto de cobre, gálio e índio (CuInGaSe<sub>2</sub>); e telureto de cádmio (CdTe). (ZILLES et al., 2012)

O silício é o mais usado dentre os citados acima. Normalmente apresenta-se como areia e não possui elétrons livre, portanto, é um mal condutor. O método de dopagem eletrônica usado para acrescentar impurezas químicas elementares em um elemento semicondutor, nesse caso o silício juntamente com o fósforo resulta em um material com elétrons livre ou também um portador de cargas negativas (silício tipo N). (ZILLES et al., 2012)

Figura 18 – Célula fotovoltaica



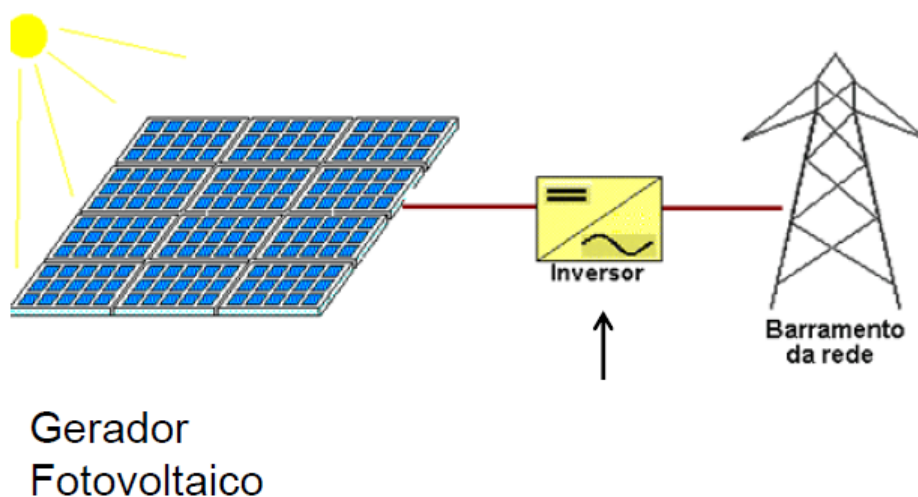
Fonte: PACHECO, 2017

#### 2.2.4. Inversor Fotovoltaico

Responsável por realizar a conversão de corrente contínua (CC) da energia gerada pelos módulos fotovoltaicos para corrente alternada (CA), os inversores entregam a energia da maneira necessária para o consumo off grid, com o uso de bateria ou on-grid, conectados à rede, conforme figura 19.

Dependendo do tipo da configuração do sistema os inversores possuem funções diferentes. Para sistemas on-grid, além de realizar a conversão CC/CA o inversor também realiza as proteções necessárias para injetar a tensão na rede de maneira segura, sendo responsável por desconectar o arranjo fotovoltaico caso os níveis de tensão e corrente estejam fora do tolerável pela concessionária em que está acoplado. Essa proteção é conhecida por ilhamento e ocorre sempre que há falta de fornecimento da concessionária de energia elétrica para evitar problemas na linha de distribuição. O mesmo pode ocorrer caso o inversor detecte algum problema na sua alimentação CA, desconectando-se do sistema de energia.

Figura 19 – Sistema On-Grid



Fonte: CRESESB, 2008

### 3. TEORIA

#### 3.1. Dimensionamento solar

Para iniciar o dimensionamento do sistema fotovoltaico devemos considerar os valores de radiação solar global incidente. A forma mais comum de apresentação dos valores de radiação é através de valores médios obtidos a partir do acumulado ao longo de um dia. Essa técnica é conhecida como “Ano Meteorológico Padrão ou Típico”. (CRESESB, 2008)

Nas estimativas de produção de energia elétrica a partir de fotovoltaico temos que considerar a irradiância solar e a temperatura dos módulos, sendo o primeiro mais importante que o segundo. (CRESESB, 2008). Conforme equação 02 e 03 a potência final do painel é diretamente relacionada a temperatura de operação do gerador fotovoltaico. Na equação 02 obtêm-se a temperatura da célula e na equação 03 a potência do painel fotovoltaico.

$$T_C = T_a + \frac{G_t}{800} * [T_{NOC} - 20] * 0,9 \quad 02$$

Onde:

$T_C = [^{\circ}C]$  Temperatura da célula

$T_a = [^{\circ}C]$  Temperatura ambiente média anual

$G_t = \left[ \frac{W}{m^2} \right]$  Radiação solar média no plano

$T_{NOC} = [^{\circ}C]$  Temperatura Nominal de operação da célula

$$P_{MP} = P_{MP}^O + \frac{G_t}{G_{ref}} * [1 + \gamma_{mp} (T_C - T_{cref})] \quad 03$$

Onde:

$P_{MP} = [W]$  Potência do painel fotovoltaico

$P_{MP}^O = [W]$  Potência nominal do painel fotovoltaico

$G_t = \left[ \frac{W}{m^2} \right]$  Radiação solar média no plano da célula

$G_{ref} = \left[ \frac{W}{m^2} \right]$  Radiação solar nas condições STC

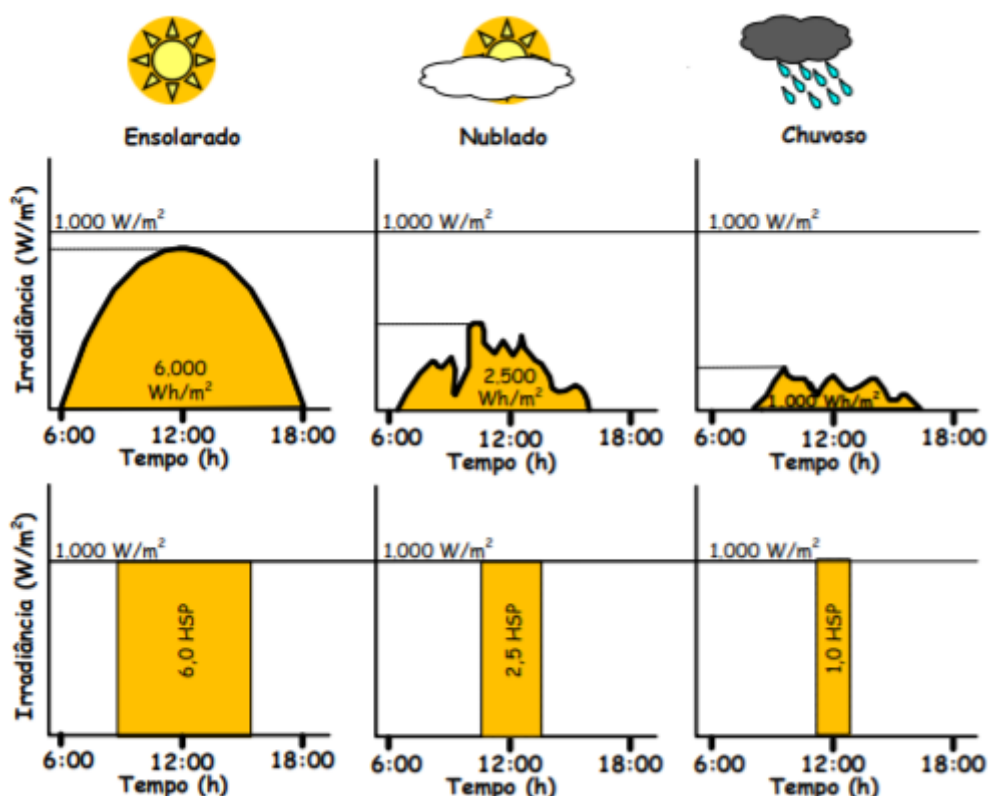
$\gamma_{mp} = [^{\circ}\text{C}^{-1}]$  Coeficiente de temperatura para potência máxima

$T_c = [^{\circ}\text{C}]$  Temperatura da célula

$T_{cref} = [^{\circ}\text{C}]$  Temperatura nas condições STC

Devido à variação constante da irradiância solar, na ordem de segundos, é comumente ignorado os efeitos da variação a cada instante e é considerado a totalidade da energia elétrica em horas, conforme observado na figura 20. O valor de Horas de Sol Pleno (HSP) é resultado da linearidade entre a produção de energia e a irradiação horária, assim a grandeza acaba por refletir as horas em que a irradiância solar permanece igual ou superior a  $1\text{ kW/m}^2$ . Conforme equação 04 o HSP é dado em h/dia. (CRESESB, 2008)

Figura 20 – Conceito de Horas de Sol Pleno



Fonte: CRESESB, 2008

$$HPS \left[ \frac{h}{dia} \right] = \frac{kWh/m^2}{kW/m^2}$$

No cálculo de dimensionamento do inversor, deve-se considerar a razão da quantidade de energia a ser gerada pela eficiência do inversor. (PACECHO, 2017). Com esse resultado desconsidera-se as perdas do inversor e obterá a energia que as placas fotovoltaicas devem gerar, conforme equação 05.

$$E_{GFV} = \frac{E_{REDE}}{n_{inv}} \quad 05$$

Onde:

$E_{GFV}$  = [Wh] *Energia fornecida ao inversor*

$E_{REDE}$  = [Wh] *Energia fornecida à rede*

$n_{inv}$  = *Rendimento do inversor*

Com os resultados óbitos nas equações 3, 4 e 5, podemos realizar o cálculo de placas fotovoltaicas,  $N$ , necessárias para atender a demanda de consumo elétrico. (PACHECO, 2017), conforme equação 06.

$$E_{GFV} = n_{SPMP} * P_{MP} * HPS * N * TD \quad 06$$

Onde:

$E_{GFV}$  = [Wh] *Energia fornecida ao inversor*

$n_{SPMP}$  = *Eficiência do seguidor de ponto máximo*

$P_{MP}$  = [W/painel] *Potência por painel*

$HPS$  = [h] *Horas de Sol Pleno*

$N$  = *Número de painéis fotovoltaicos*

$TD$  = *Taxa de desempenho do gerador (0,7 a 0,8 para Brasil)*

### 3.2. Viabilidade econômica

#### 3.2.1. Payback Simples

O período que se leva para recuperar determinado investimento é chamado de *payback* e pode ser calculado a partir da razão entre o valor do investimento inicial e

o valor das entradas líquidas de caixa, esse resultado é dado em tempo, conforme equação 07. (PARENTE, 2017)

O *payback* tem como objetivo avaliar o tempo que um investimento irá “se pagar” e pode ser usado para interpretar o risco de um projeto. Projetos com um *payback* muito longo, tendem a ter um risco maior devido ao grau de incerteza aumentar a medida que o horizonte aumenta. (PARENTE, 2017)

$$\text{Tempo em anos} = \frac{\text{investimento inicial}}{\text{fluxo de caixa}} \quad 07$$

### 3.2.2. Payback Descontado

Outro cálculo para entender a viabilidade de um empreendimento é o *payback* descontado. O *payback* descontado é um aprimoramento do *payback* simples, e nele é inserido o fator valor do dinheiro no tempo, com o uso do VPL, ou Valor Presente Líquido. O VPL é obtido a partir da equação 08 (PARENTE, 2017).

A taxa interna de retorno (TIR) também é considerada um método sofisticado para análise de investimentos. Nesse caso, se a TIR for mais que a TMA (taxa mínima de atratividade) o investimento é considerado, caso contrário deve ser recusado. A TMA é um dos parâmetros mais importantes na avaliação econômica de um investimento e é conhecida também como taxa limite para o custo de oportunidade de um projeto. (PARENTE, 2017).

$$VPL = \sum_{t=1}^n \frac{FC}{1+r} - II_0 \quad 08$$

Onde:

$VPL$  = Valor presente líquido

$II_0$  = Investimento inicial

$r$  = Taxa de desconto

$FC$  = Fluxo de caixa no instante  $t$



## 4. MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1. Informações técnicas do site estudado

Com 8 mil m<sup>2</sup> de terreno e 5,2 mil m<sup>2</sup> de área construída o empreendimento deste estudo foi construído em 2010 e está localizado em Barueri - São Paulo. Possui capacidade para 3 MW de carga. A edificação recebe 13,2 kV da concessionária de energia Enel. Possui 6 transformadores sendo 4 com capacidade de 1,5 MVA para sistemas de UPS e dois com 2 MVA de capacidade para sistema de climatização e adjacentes. O diagrama da figura 22 ilustra parte da infraestrutura do data center. Atualmente o prédio não possui geração de energia renovável e nunca foi realizado um estudo para aumento da eficiência energética.

- Localização: -23,57 S; 46,73 O
- Anos de Operação: 10
- Área Construída: 6 mil m<sup>2</sup>
- Área de Piso Branco: 1800m<sup>2</sup>
- Demanda de Energia: 3 MW
- Demanda de TI: 1,8 MW
- Demanda Refrigeração 1MW
- Certificação: Tier III
- Consumo Mensal Global: 1.456.247,50 kWh
- Consumo Mensal Com Refrigeração: 742.212,00 kWh
- PUE Médio: 1,91
- Entrada de Tensão: 13,8 kV
- Concessionária: Enel
- Custo Médio do kWh (TE+TUSD): R\$ 0,41
- Tipo Consumidor: Livre
- Densidade de Rack: 2 kW/m<sup>2</sup>
- Fator de Carga: 0,87
- Dados Climatológicos: Tabela 03
- Irradiância Solar no Plano Inclinado: Figura 21

Tabela 03 – Dados Climatológicos de Barueri

| Dados climatológicos para Barueri |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | [Esconder] |
|-----------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------------|
| Mês                               | Jan  | Fev  | Mar  | Abr  | Mai  | Jun  | Jul  | Ago  | Set  | Out  | Nov  | Dez  | Ano        |
| Temperatura máxima recorde (°C)   | 35,7 | 35,9 | 33,4 | 33,1 | 29,3 | 28,4 | 29,3 | 32,4 | 36,6 | 37,5 | 35,7 | 34,6 | 37,5       |
| Temperatura máxima média (°C)     | 26,3 | 26,2 | 25,5 | 23,7 | 21,9 | 20,9 | 20,6 | 21,7 | 22,7 | 23,5 | 24,7 | 25,3 | 23,6       |
| Temperatura média (°C)            | 21,5 | 21,5 | 20,8 | 18,8 | 16,8 | 15,5 | 15   | 16,1 | 17,3 | 18,5 | 19,8 | 20,5 | 18,5       |
| Temperatura mínima média (°C)     | 16,7 | 16,9 | 16,1 | 14   | 11,7 | 10,2 | 9,5  | 10,5 | 12   | 13,5 | 14,9 | 15,7 | 13,5       |
| Temperatura mínima recorde (°C)   | 12,6 | 14,9 | 13,1 | 9,4  | 5,9  | 1,7  | 4,1  | 3    | 8,1  | 9,6  | 10   | 12,4 | 1,7        |
| Precipitação (mm)                 | 239  | 221  | 165  | 73   | 62   | 53   | 41   | 43   | 75   | 131  | 139  | 199  | 1.440      |

Fontes: Climate-Data.org (médias climatológicas)<sup>[35]</sup> e Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) (recordec de temperatura: 29/03/2011-presente)<sup>[36][37]</sup>

Fonte: Wikipedia, 2020

Figura 21 – Cálculo no Plano Inclinado

## Cálculo no Plano Inclinado

Estação: Barueri

Município: Barueri, SP - BRASIL

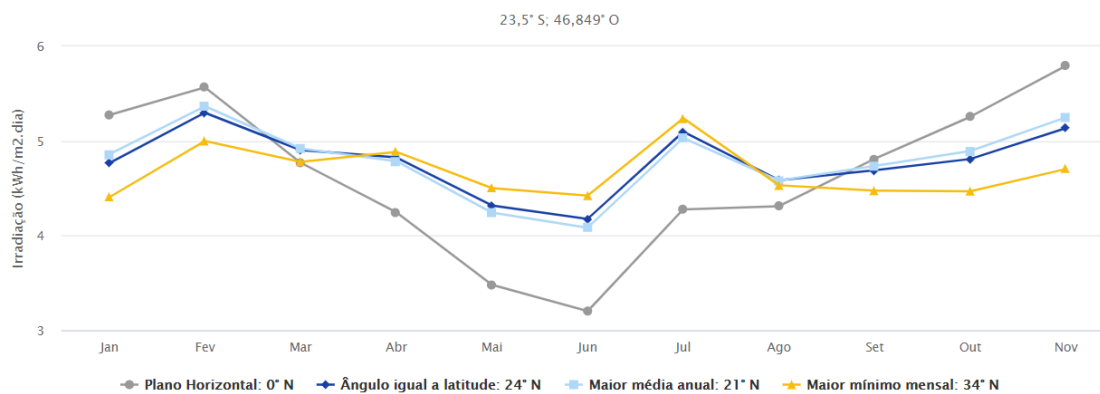
Latitude: 23,5° S

Longitude: 46,849° O

Distância do ponto de ref. ( 23,501932° S; 46,825127° O) :2,4 km

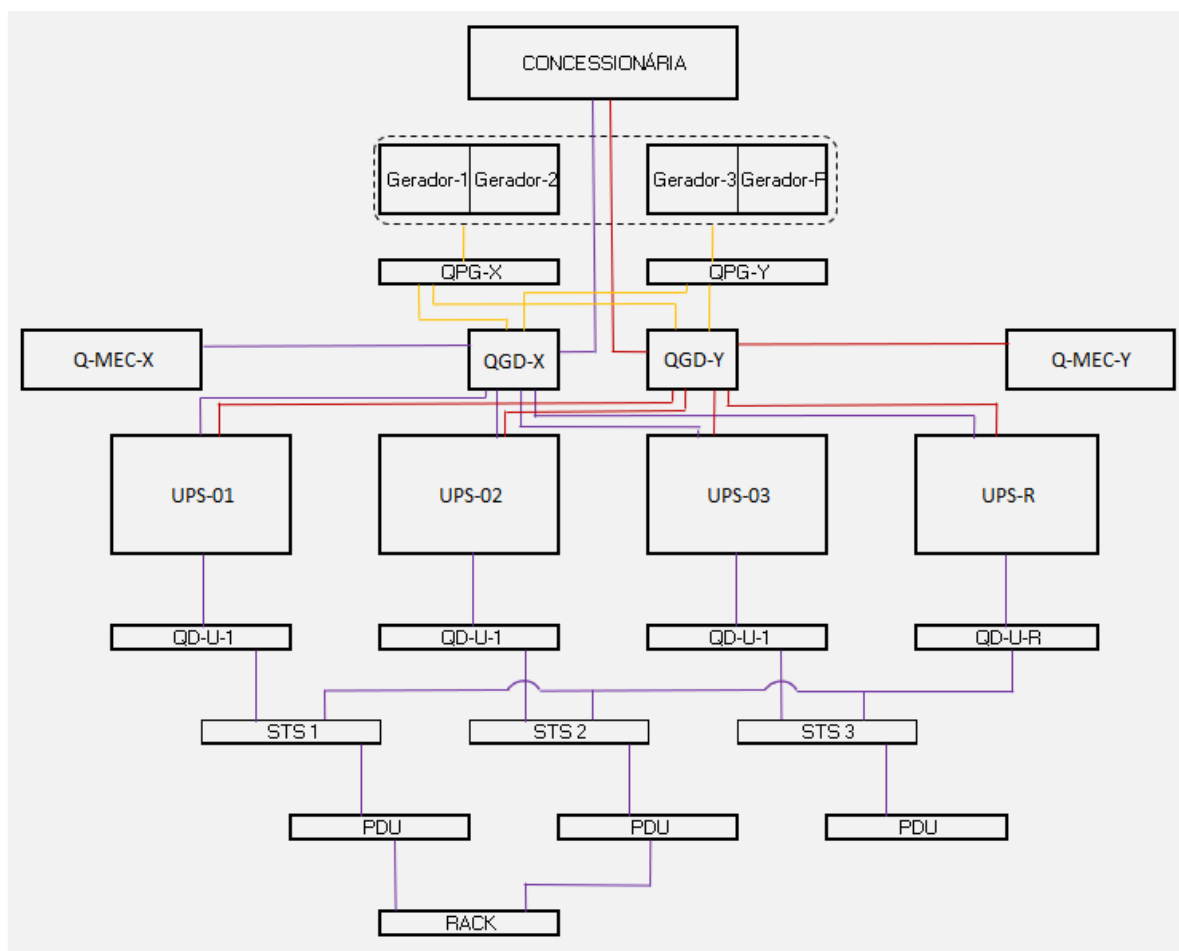
| # | Ângulo                  | Inclinação | Irradiação solar diária média mensal [kWh/m <sup>2</sup> .dia] |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | Média | Delta |
|---|-------------------------|------------|----------------------------------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|
|   |                         |            | Jan                                                            | Fev  | Mar  | Abr  | Mai  | Jun  | Jul  | Ago  | Set  | Out  | Nov  | Dez  |       |       |
| ✓ | Plano Horizontal        | 0° N       | 5,27                                                           | 5,57 | 4,77 | 4,25 | 3,48 | 3,20 | 3,31 | 4,28 | 4,31 | 4,81 | 5,25 | 5,79 | 4,52  | 2,59  |
| ✓ | Ângulo igual a latitude | 24° N      | 4,77                                                           | 5,30 | 4,90 | 4,83 | 4,32 | 4,18 | 4,22 | 5,10 | 4,59 | 4,69 | 4,81 | 5,14 | 4,73  | 1,12  |
| ✓ | Maior média anual       | 21° N      | 4,86                                                           | 5,37 | 4,92 | 4,79 | 4,24 | 4,08 | 4,13 | 5,03 | 4,58 | 4,74 | 4,89 | 5,25 | 4,74  | 1,28  |
| ✓ | Maior mínimo mensal     | 34° N      | 4,41                                                           | 5,00 | 4,78 | 4,88 | 4,50 | 4,42 | 4,43 | 5,24 | 4,53 | 4,47 | 4,47 | 4,70 | 4,65  | ,83   |

Irradiação Solar no Plano Inclinado –Barueri–Barueri, SP–BRASIL



Fonte: CRESESB, 2020

Figura 22 – Diagrama de blocos da infraestrutura elétrica



Fonte: Autor, 2020

#### 4.2. Informações dos materiais usados

- Placa Fotovoltaica: LUXMAX Plus
- Modelo Placa: LNSF-390M
- Potência de Pico: 390 Wp
- Coeficiente Temperatura:  $0,0036\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$
- Tipo Célula: Monocristalina
- Dimensões LxCxA: 1979x996x40mm
- Sistema Grid-Tie
- Eficiência do inversor: 0,99

## 5. RESULTADOS

### 5.1. Dimensionamento Fotovoltaico

Para realizar o dimensionamento de painéis fotovoltaicos é preciso obter os valores de kWh a ser gerado pelo sistema, dessa forma utilizou-se as fórmulas apresentadas no capítulo 3.1.1. Com o software *EXCEL*, foram realizadas as diferentes simulações. Essas simulações consideraram atender o consumo do sistema e injetar o excedente, se houver, na rede.

O site possui capacidade para 1MW de carga de refrigeração. Foram coletados os dados de um ano de consumo de energia elétrica da concessionária e o consumo médio do sistema de refrigeração, apresentado no capítulo 4.1. Dessa maneira tem-se um cenário com 100% do consumo de refrigeração sendo suprida pela energia fotovoltaica e outro cenário com 50% de consumo.

Na tabela 06, tem-se os valores usados para realizar o dimensionamento fotovoltaico do sistema no qual foi considerado o cenário de 100% da carga de climatização suprida pelo sistema fotovoltaico.

Tabela 06 – Dimensionamento fotovoltaico de 100% do sistema

| Descrição                                       | Valores       |
|-------------------------------------------------|---------------|
| Energia necessaria[kWh/dia]                     | 24.740,40     |
| Energia Fornecida ao Inversor [kWh/dia]         | 24.990,30     |
| Rendimento Inversor [n_inv]                     | 0,99          |
| Perdas [kWh/dia]                                | 249,90        |
| Temperatura Célula [°C] - T_c                   | 51,73         |
| Temp. Amb. Média Anual Max [°C] - T_am          | 23,60         |
| Temp. Nominal Céula [°C] - T_noc                | 45,00         |
| Radiação Solar Média [W/m²] - G_t               | 1.000,00      |
| Modelo Painei                                   | LNSF-390M     |
| Temperatura Célula [°C] - T_c                   | 51,73         |
| Temp. célula condições STD [°C] - T_cref        | 25,00         |
| Radiação Solar Média [W/m²] - G_t               | 1.000,00      |
| Radiação Solar condições STD [W/m²] - G_t       | 1.000,00      |
| Coeficiente temp. Pot. Max. [°C <sup>-1</sup> ] | 0,0036        |
| Pot. Nominal painel [W]                         | 390,00        |
| Pot. painel [W] - P_mp                          | 352,48        |
| Energia Diaria Média - E_gfv [Wh]               | 24.990.303,03 |
| HSP [h]                                         | 4,74          |
| Número de Paineis                               | 17.844        |
| Taxa de desempenho (0,7-0,8)                    | 0,75          |
| Correção Taxa de desempenho                     | 0,85          |
| Eficiência do SMNP n_spmp                       | 0,99          |
| P_GFV [Wp]                                      | 6.959.324,89  |

Fonte: Autor, 2020

Para atender o consumo de energia são necessários aproximadamente 17.844 painéis fotovoltaicos totalizando uma potência de 6,9MWp e uma área de aproximadamente 36 mil m<sup>2</sup>, sendo que não foi considerado área de manutenção e a instalação do inversor e outros equipamentos. Com relação ao consumo a tabela 07 demonstra que seria necessário um consumo de 696.125,78 kWh/mês da concessionária de energia elétrica. A geração fotovoltaica supriria 100% (760.121,72 kWh/mês) do consumo do sistema de refrigeração e sobriaria aproximadamente 17.909,72 kWh para suprir o consumo de outros sistemas da planta.

Tabela 07 – Consumo em kWh cenário 100%

| Consumos |                   |                    |                            |                                 |
|----------|-------------------|--------------------|----------------------------|---------------------------------|
| Tempo    | Total Atual [kWh] | Climatização [kWh] | Geração Fotovoltaica [kWh] | Concessionária (Faltante) [kWh] |
| Dia      | 47.876,63         | 24.740,40          | 24.990,30                  | 22.886,33                       |
| Mês      | 1.456.247,50      | 742.212,00         | 760.121,72                 | 696.125,78                      |
| Ano      | 17.474.970,00     | 9.030.246,00       | 9.121.460,61               | 8.353.509,39                    |

Fonte: Autor, 2020

Ao considerar o cenário de 50% do consumo de refrigeração sendo atendido pelo sistema fotovoltaico, tem-se uma potência instalada de 3,4MWp sendo necessário aproximadamente 9 mil painéis, conforme tabela 08.

Tabela 08 - Dimensionamento fotovoltaico de 50% do sistema

| Descrição                                      | Valores       |
|------------------------------------------------|---------------|
| Energia necessaria[kWh/dia]                    | 12.370,20     |
| Energia Fornecida ao Inversor [kWh/dia]        | 12.495,15     |
| Rendimento Inversor [n_inv]                    | 0,99          |
| Perdas [kWh/dia]                               | 124,95        |
| Temperatura Célula [°C] - T_c                  | 51,73         |
| Temp. Amb. Média Anual Max [°C] - T_am         | 23,60         |
| Temp. Nominal Célula [°C] - T_noc              | 45,00         |
| Radiação Solar Média [W/m²] - G_t              | 1.000,00      |
| Modelo Pannel                                  | LNSF-390M     |
| Temperatura Célula [°C] - T_c                  | 51,73         |
| Temp. célula condições STD [°C] - T_cref       | 25,00         |
| Radiação Solar Média [W/m²] - G_t              | 1.000,00      |
| Radiação Solar condições STD [W/m²] - G        | 1.000,00      |
| Coeficiente temp. Pot. Max. [°C <sup>1</sup> ] | 0,0036        |
| Pot. Nominal painel [W]                        | 390,00        |
| Pot. painel [W] - P_mp                         | 352,48        |
| Energia Diaria Média - E_gfv [Wh]              | 12.495.151,52 |
| HSP [h]                                        | 4,74          |
| Número de Paineis                              | 8.922         |
| Taxa de desempenho (0,7-0,8)                   | 0,75          |
| Correção Taxa de desempenho                    | 0,85          |
| Eficiência do SMNP n_smp                       | 0,99          |
| P_GFV [Wp]                                     | 3.479.662,45  |

Fonte: Autor, 2020

Nesse cenário a energia gerada pela usina fotovoltaica seria 380.060,86 kWh/mês e necessitaria de 1.076.186,64kWh/mês do sistema elétrico, conforme tabela 09. A área utilizada foi 50% menor e ficou em aproximadamente 18 mil m², sendo que também não foi considerado área de manutenção e a instalação do inversor e outros equipamentos.

Tabela 09 - Consumo em kWh cenário 50%

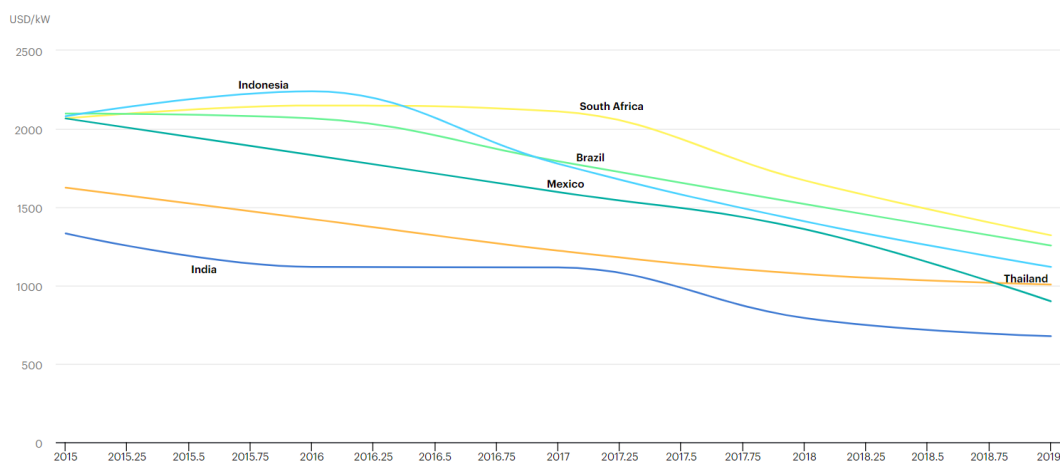
| Tempo | Consumos          |                    |                            |                                 |
|-------|-------------------|--------------------|----------------------------|---------------------------------|
|       | Total Atual [kWh] | Climatização [kWh] | Geração Fotovoltaica [kWh] | Concessionária (Faltante) [kWh] |
| Dia   | 47.876,63         | 24.740,40          | 12.495,15                  | 35.381,48                       |
| Mês   | 1.456.247,50      | 742.212,00         | 380.060,86                 | 1.076.186,64                    |
| Ano   | 17.474.970,00     | 9.030.246,00       | 4.560.730,30               | 12.914.239,70                   |

Fonte: Autor, 2020

## 5.2. Metodologia Aplicada Avaliação Financeira

O custo de instalação de uma planta fotovoltaica, vem diminuindo com o passar dos anos e da evolução dos componentes. Em 05 anos a queda nos valores do kWp fotovoltaico reduziu mais da metade no Brasil e em outros países no mundo. (IEA, 2019), conforme figura 23.

Figura 23 – Queda no valor do kW fotovoltaico



Fonte: IEA, 2019

Os custos com a geração fotovoltaica podem variar de país para país dependendo de fatores geográficos, impostos, taxas dentre outros fatores. Existem algumas metodologias para estimar os custos da operação (OPEX) e os custos com a implantação (CAPEX). Um deles é o LCOE – Levelized Cost of Energy, onde são considerados custos fixos de OPEX e CAPEX e desconsiderado as perdas por problemas na produção de energia. (SHIMURA et al., 2016)

Com base no LCOE, Shimura et al. (2016) obtiveram um valor médio para o investimento inicial por kWp para um sistema fotovoltaico. Conforme tabela 04, tem-se os dados usados e valor do R\$/kWp R\$6.117,00, usado como base para o custo deste projeto.

Foram estudadas 3 instalações diferentes, também apresentados na tabela 04, com base na disponibilidade que os sistemas podem apresentar. (SHIMURA et al., 2016) Devido o UPTIME INSTITUTE não considerar sistemas renováveis de geração própria na resiliência de um projeto, considerou-se somente o cenário centralizado, que usa um inversor somente, e desconsiderou-se o custo maior para uma disponibilidade maior.

Tabela 04 – Valores de OPEX e CAPEX Usados Como Base

| Configuração            | Centralizado | 4 inversores | Inversores Distribuídos |
|-------------------------|--------------|--------------|-------------------------|
| Investimento (R\$/kWp)  | 6,1770       | 6,3872       | 7,5187                  |
| CAPEX (R\$)             | 2.754.330,19 | 2.848.106,58 | 3.352.646,31            |
| Energia (MWh/ano)       | 641,35       | 639,61       | 644,11                  |
| Manut. (R\$/ano)        | 18.015,54    | 20.803,00    | 36.740,05               |
| % do CAPEX)             | 0,654%       | 0,730%       | 1,096%                  |
| Disponibilidade         | 98,53%       | 98,58%       | 99,01%                  |
| MTTFF <sup>1</sup>      | 862,03       | 780,52       | 977,63                  |
| Perdas                  | 1,48%        | 1,75%        | 1,06%                   |
| LCOE (R\$/MWh)          | 260,36       | 273,60       | 340,22                  |
| LCOE usual <sup>2</sup> | 253,85       | 262,49       | 308,99                  |
| Dif. % do LCOE          | 2,57%        | 4,23%        | 10,11%                  |

<sup>1</sup> – Mean Time to First Failure

<sup>2</sup> – LCOE calculado usando OPEX fixo de 1% do CAPEX por ano

Fonte: SHIMURA et al., 2016

Com base nos valores apresentados por Shimura et al. (2016) e nos valores de painéis necessário, pôde-se estimar o CAPEX para implantação do projeto.

Conforme tabela 05, estimou-se o valor inicial da construção do projeto em R\$ 42.987.749,87. Para o custo de manutenção foi estimado o valor de R\$ 22.926,80 por ano que equivale a 0,65% do CAPEX.

Tabela 05 – Custos Estimados

| Descrição        | Valores           |
|------------------|-------------------|
| Custo kWp [R\$]  | R\$ 6.177,00      |
| OPEX (ANO) [R\$] | R\$ 22.926,80     |
| Potência [kWp]   | R\$ 6.959,32      |
| CAPEX [R\$]      | R\$ 42.987.749,87 |

Fonte: Autor, 2020



### 5.3. Avaliação Financeira

Com base nos valores de kWp fotovoltaico apresentados por Shimura et al. (2016) para implantação de uma usina de grande porte, pode-se realizar uma breve análise financeira. A tabela 10, representa os valores estimados de economia com a instalação da usina fotovoltaica. Para o empreendimento estudado foi considerado o valor médio do kWh de R\$0,41 concessionária de energia elétrica. Ao descontar o consumo suprido pela usina (coluna Economia com Climatização), tem-se que o valor líquido de kWh (coluna Concessionária de Energia Elétrica) a ser adquirido com a empresa de energia ficaria na média de R\$ 285.411,57 por mês, demonstrando uma economia de R\$ 309.739,34 por mês.

Nesse caso, foi considerado que um kWh gerado e injetado na rede retorna como um kWh. Se o valor do kWh pago pela concessionária for menor, logo nossa economia será menor e o payback será maior.

Tabela 10 – Custo vs Economia

| Valores          |                  | Economia com Climatização | Manutenção    | Concessionária de Energia Elétrica | Economia         |
|------------------|------------------|---------------------------|---------------|------------------------------------|------------------|
| Valor do kWh R\$ | 0,41             |                           |               |                                    |                  |
| Tempo            | Total Atual      |                           |               |                                    |                  |
| Dia              | R\$ 19.629,42    | R\$ 10.143,56             | R\$ 62,81     | R\$ 9.383,39                       | R\$ 10.183,21    |
| Mês              | R\$ 597.061,48   | R\$ 304.306,92            | R\$ 1.910,57  | R\$ 285.411,57                     | R\$ 309.739,34   |
| Ano              | R\$ 7.164.737,70 | R\$ 3.702.400,86          | R\$ 22.926,80 | R\$ 3.424.938,85                   | R\$ 3.716.872,05 |

Fonte: Autor, 2020

Para ambos os casos aqui estudados, de 50% e de 100% do consumo de ar-condicionado atendido pela usina fotovoltaica, o payback simples foi de 11,56 anos, conforme equação 09. A taxa interna de retorno do investimento ficou em 8%. Utilizando o Valor Presente Líquido, juntamente com o payback descontado e considerando uma taxa mínima de atratividade de 6%, o retorno do capital ficou em 22,07 anos. Para ambos os casos foi considerado o custo anual de manutenção sendo descontado do fluxo de caixa.

$$\frac{42987749,87}{3739798,85} = 11,56 \text{ anos}$$

Figura 24 – Payback Descontado



Fonte: Autor, 2020

## 6. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Os data centers possuem grande área construída para abrigar todos os componentes e servidores necessários e geralmente são prédios térreos. Dessa forma, existe a possibilidade de realizar a instalação de painéis fotovoltaicos sobre o telhado do data center. Na figura 25, tem-se um prédio comercial o Trade Mart Brussels, em Bruxelas na Bélgica, onde há instalado 2,6MWp em painel fotovoltaico instalados sobre o telhado.

Figura 25 – Painéis Fotovoltaicos no Telhado



Fonte: Autor, 2017

Da mesma maneira que se aproveitou o telhado do prédio comercial na Bélgica, poderia ser aproveitado o telhado do data center para instalação dos módulos fotovoltaicos.

O prédio estudado neste trabalho possui uma área construída de 6 mil m<sup>2</sup>, porém a área útil para instalação dos painéis seria de 5 mil m<sup>2</sup>, conforme figura 26.

Figura 26 – Telhado no Prédio Estudado



Fonte: Google Map, 2020

Com base nos dados obtidos no capítulo 4.3, a área necessária para instalação dos painéis para atender o cenário de 100% seria de 35 mil m<sup>2</sup>. Dessa maneira esse cenário é inviável devido a área indisponível. O cenário de 50% também ficaria inviável, pois seria preciso 17 mil m<sup>2</sup>, conforme tabela 11.

Tabela 11 – Área por Cenário Estudado

| Área                                  | Valores   |
|---------------------------------------|-----------|
| Área útil do prédio [m <sup>2</sup> ] | 5.120,00  |
| Largura do painel [m]                 | 0,996     |
| Comprimento [m]                       | 1,979     |
| Quantidade de Módulos 100%            | 17.844    |
| Área [m <sup>2</sup> ] 100%           | 35.172,86 |
| Quantidade de Módulos 50%             | 8.922,21  |
| Área [m <sup>2</sup> ] 50%            | 17.586,43 |

Fonte: Autor, 2020

Ainda que as despesas calculadas para esse projeto possam proporcionar um retorno do capital investido, o fato de o número de painéis fotovoltaicos necessários serem superior a área disponível inviabiliza completamente o projeto seguir adiante.

## 7. CONCLUSÃO

O crescimento dos data centers no Brasil e no mundo é inevitável, quanto mais a sociedade demanda por conexão e dados, mais usa-se e depende-se dos data centers. Porém poucos conhecem a complexa infraestrutura por trás de uma pesquisa no Google ou compra na internet. Tal complexidade se deve a resiliência que o DC precisa para garantir a disponibilidade e segurança necessária. Detalhou-se os principais equipamentos que compõem a infraestrutura crítica do DC, Gerador, UPS, Chiller, STS entre outros, sendo estes equipamentos que necessitam de muita energia elétrica e muito espaço físico.

O consumo de energia elétrica e necessidade de espaço físico são dois fatores extremamente relevantes para um data center. Mesmo que a utilização de energia elétrica consumida por eles tenha variado pouco ao longo dos anos, devido a melhoria da eficiência dos equipamentos, o custo da matriz energética aumentou, e o tema de eficiência energética ganhou força últimos anos com as grandes empresas de tecnologia buscando parceiros que se preocupem com a sustentabilidade e o impacto de suas operações no meio ambiente. Desta forma, fez-se necessária a busca por alternativas de suprimento de toda, ou parte, da energia elétrica consumida pelo data center.

Desta maneira seguindo as tendências globais das grandes companhias de buscar por matrizes energéticas renováveis, verificou-se a possibilidade de substituir parte da demanda energética de um data center por energia renovável. Alinhando esta tendência com o espaço físico ocioso que os data centers possuem e sua resiliência, este trabalho verificou a possibilidade de implementação de painéis fotovoltaicos em um data center localizado na região de São Paulo para suprir a necessidade de energia elétrica para refrigeração dos equipamentos que compõem o DC. Dois cenários foram estudados, sendo o primeiro deles a instalação de painéis fotovoltaicos suficientes para suprir 100% da demanda energética e o segundo o suprimento de 50% da energia necessária. Em ambos os casos, verificou-se que a área necessária para produzir tal energia não é compatível com a área disponível da edificação escolhida, mesmo que o tempo de retorno do CAPEX não seja tão grande, o projeto se tornou inviável neste cenário em específico. Entretanto seria interessante avaliar tal estudo em um data center no interior de São Paulo, devido aos valores de Hora de Sol Pleno, o que diminuiria o número de células fotovoltaicas e que, possivelmente,

viabilizaria esse projeto. Para o data center deste estudo seria interessante realizar uma auditoria de eficiência energética a fim de buscar pontos de melhoria e economia em seu consumo de energia elétrica a fim de melhorar sua eficiência, competitividade no mercado e reduzir o impacto de sua operação no meio ambiente.

## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

2CLOUD: Continuidade das operações: o que um Data Center Tier III tem a ver com isso?. 3 abr. 2018. Disponível em: <https://www.2cloud.com.br/continuidade-das-operacoes-o-que-um-data-center-tier-iii-tem-ver-com-isso/>. Acesso em: 21 nov. 2020.

42U. **Solutions for the Next Generation Data Center**: What is PUE / DCiE? How to Calculate, What to Measure. 2019. Disponível em: <https://www.42u.com/measurement/pue-dcie.htm>. Acesso em: 17 nov. 2020.

ABRAGEL. AÇÕES. In: ABRAGEL. **Certificado de Energia Renovável**, 2019. Disponível em: <https://www.abragel.org.br/energia-renovavel/>. Acesso em: 27 nov. 2020.

APC. **NOBREAKS APC**. [S. l.], Out 2020. Disponível em: <https://nobreakapc.com.br/nobreakapc.html?ajaxcatalog=true&>. Acesso em: 20 nov. 2020.

AQUIM, Tatiane. Mercado de TIC deve crescer 4,9% no Brasil em 2020, aponta a IDC. **DatacenterDynamics Brasil**, p. 1, 11 fev. 2020. Disponível em: <https://www.datacenterdynamics.com/br/not%C3%ADcias/mercado-de-tic-deve-crescer-49-no-brasil-em-2020-aponta-a-idc/>. Acesso em: 19 nov. 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5410** - Instalações elétricas de baixa tensão. São Paulo: ABNT, 2004. 20 p. Disponível em: <<https://www.saladaeletrica.com.br/nbr-5410-download/>>. Acesso em: 07 out 2020.

BAGUETE. Novo datacenter da T-Systems Brasil é Tier III. *In: Baguete*, 13 set. 2010. Disponível em: <https://www.baguete.com.br/noticias/telecom/13/09/2010/novo-datacenter-da-t-systems-brasil-e-tier-iii>. Acesso em: 24 ago. 2020.

BASALISCO, Bruno et al. Economic impact study. **GOOGLE'S HYPERSCALE DATA CENTRES AND INFRASTRUCTURE ECOSYSTEM IN EUROPE**, Sep. 2019.

Disponível em: <https://sustainability.google/progress/projects/announcement-100/>. Acesso em: 23 nov. 2020.

BARUERI. In: WIKIPÉDIA, a enciclopédia livre. Flórida: Wikimedia Foundation, 2020. Disponível em: <<https://pt.wikipedia.org/w/index.php?title=Barueri&oldid=59813293>>. Acesso em: 16 nov. 2020.

BELIZARIO, Adenilson Cristiano. **Avaliação energética e financeira para utilização de sistemas de ar-condicionado acionados por energia solar em ambientes de missão crítica para diferentes regiões climáticas**. 2018. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica de Energia de Fluidos) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2018. doi:10.11606/T.3.2019.tde-07022019-102451. Acesso em: 28 ago. 2020.

BITTERLIN, Ian. PUE ABUSE BEYOND THE PALE?. **DatacenterDynamics**, [S. l.], p. 1, 18 jul. 2014. Disponível em: <http://archive.datacenterdynamics.com/blogs/ian-bitterlin/pue-abuse-beyond-pale>. Acesso em: 6 out. 2020.

BOULEY, Dennis. Estimating a Data Center's Electrical Carbon Footprint. **White Paper 66**, 2011.

BRADY, Gemma, NIKIL Kapur, JONATHAN Summers, and HARVEY Thompson. "A Case Study and Critical Assessment in Calculating Power Usage Effectiveness for a Data Centre." **Energy Conversion & Management**, 76 (2013): 155-161.

BRILL, Kenneth G. UPTIME INSTITUTE WHITE PAPER. **The Invisible Crisis in the Data Center: The Economic Meltdown of Moore's Law**, 2017. Disponível em: [http://www.mm4m.net/library/The\\_Invisible\\_Crisis\\_in\\_the\\_Data\\_Center.pdf](http://www.mm4m.net/library/The_Invisible_Crisis_in_the_Data_Center.pdf). Acesso em: 12 out. 2020.

CISCO **Annual Internet Report: Highlights Tool**. 9 mar. 2020. Disponível em: <https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/executive-perspectives/annual-internet-report/white-paper-c11-741490.html>. Acesso em: 23 nov. 2020.



CRESESB. **Tutorial de Energia Solar Fotovoltaica**: Energia Solar Fotovoltaica. [S. l.], 11 jun. 2008. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/>. Acesso em: 10 nov. 2020.

CRESESB. **Coordenada Geográfica**: Cálculo no Plano Inclinado. [S. l.], 18 nov. 2020. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/index.php#data>. Acesso em: 10 nov. 2020.

DATA CENTER KNOWLEDGE. The Uptime Institute Sold to 451 Group. **DESIGN**, p. 1, 23 out. 2009. Disponível em: <https://www.datacenterknowledge.com/archives/2009/10/23/the-uptime-institute-sold-to-451-group>. Acesso em: 27 ago. 2020.

DAYARATHNA, Miyuru; WEN, Yonggang; FAN, Rui. IEEE COMMUNICATIONS SURVEYS & TUTORIALS. **Data Center Energy Consumption Modeling: A Survey**, 1º Semestre 2016.

DESENVOLVIMENTO tecnológico e inserção da energia solar no Brasil. Brasília: **Ministério do Desenvolvimento e Comércio Exterior**, 2013. Disponível em: <[https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/?locale=pt\\_BR](https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/?locale=pt_BR)>. Acesso em: 09 set 2020.

DIAMANDIS, P. Solar energy revolution: a massive opportunity. **New York: Forbes**, Sept. 2014. Disponível em: <<https://www.forbes.com/sites/peterdiamandis/2014/09/02/solarenergy-revolution-a-massive-opportunity/#56994e866c90>>. Acesso em: 20 nov. 2020

**DOPAGEM Eletrônica**. Disponível em: <<https://www.infoescola.com/quimica/dopagem-eletronica/>>. Acesso em: 07 out. 2020.

EATON. **PRODUTOS**: UPS. [S. l.], 2020. Disponível em: <https://www.eaton.com/br/pt-br.html?wtredirect=www.eaton.com.br/EatonBR/index.htm>. Acesso em: 17 nov. 2020.

ENERGIA Solar no Brasil e Mundo Ano de referência - 2016. Brasília: **Departamento de Informações e Estudos Energéticos - DIE/MME**, 2016. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/documents/10584/3580498/17+-+Energia+Solar+-+Brasil+e+Mundo+-+ano+ref.+2015+%28PDF%29/4b03ff2d-1452-4476-907d-d9301226d26c;jsessionid=41E8065CA95D1FABA7C8B26BB66878C9.srv154>>. Acesso em: 11 set. 2020.

FUNKE, Martha. Investimento em datacenter cresce para oferecer suporte aos processos. **Valor Econômico**, [S. l.], p. 1-2, 23 out. 2020. Disponível em: <https://valor.globo.com/publicacoes/suplementos/noticia/2020/10/23/investimento-em-datacenter-cresce-para-oferecer-suporte-aos-processos.ghml?GLBID=152e8f268c682c9066dd941158efc4ed951416e6445414f416c763572566b496e36597671476a566b707a446b4e62495155356e6f6d6f5136463274753649477245307a736d4478656b314c507268657259755a6357774b567872676c464878516f66506363513d3d3a303a75676a6d75796f6865686f76636c6a7568716464>. Acesso em: 2 nov. 2020.

GOOGLE. **ENVIRONMENT PROJECTS**: 100% renewable is just the beginning. [S. l.], 2016. Disponível em: <https://sustainability.google/progress/projects/announcement-100/>. Acesso em: 17 nov. 2020.

GOOGLE. **Google Data Centers**: Efficiency. 2020. Disponível em: <https://www.google.com/about/datacenters/efficiency/>. Acesso em: 24 nov. 2020.

**GOOGLE MAPS**. <https://www.google.com.br/maps/>. Consulta realizada em 27 nov. 2020

HILBERT, Martin; LÓPEZ, Priscila. The World's Technological Capacity to Store, Communicate, and Compute Information. **Science**, p. 60-65, 1 abr. 2011.

IEA. Tracking the decoupling of electricity demand and associated CO2 emissions. **IEA**, Paris, 2019. Disponível em: <https://www.iea.org/commentaries/tracking-the-decoupling-of-electricity-demand-and-associated-co2-emissions>. Acesso em: 17 nov. 2020.

IEA. Data centres and energy – from global headlines to local headaches? **IEA**, Paris, 2019. Disponível em: <https://www.iea.org/commentaries/data-centres-and-energy-from-global-headlines-to-local-headaches>. Acesso em: 17 nov. 2020.

IEA, Capital costs of utility-scale solar PV in selected emerging economies, **IEA**, Paris, Disponível em: <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/capital-costs-of-utility-scale-solar-pv-in-selected-emerging-economies>. Acesso em: 17 nov. 2020.

IEA, Global trends in internet traffic, data centre workloads and data centre energy use, 2010-2019, **IEA**, Paris, Disponível em: <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/global-trends-in-internet-traffic-data-centre-workloads-and-data-centre-energy-use-2010-2019>. Acesso em: 26 nov. 2020.

**INMETRO** Guia de Orientações PBE Fotovoltaico. São Paulo: Inmetro, 2016. 4 p. Disponível em: [https://issuu.com/jorgeantoniovillarale/docs/inmetro\\_guia\\_de\\_orienta\\_\\_\\_\\_es\\_pbe\\_f](https://issuu.com/jorgeantoniovillarale/docs/inmetro_guia_de_orienta____es_pbe_f) >. Acesso em: 04 out. 2020.

INNOTECHNO. **Avaliação do Data Center (Data Center Assessment)**. [S. l.], 28 nov. 2020. Disponível em: <https://innotechno.com.br/data-center-assessment/>. Acesso em: 16 nov. 2020.

INSTOR, Forget Raising the Roof. Use Raised Floors in Your Data Center: Raised Floors: **Instor**, 1 2020. Disponível em: <https://instor.com/blog/airflow-tiles-raised-floors/>. Acesso em: 8 nov. 2020.

KAMIYA, George; KVARNSTRÖM, Oskar. Data centres and energy – from global headlines to local headaches?, **IEA**, Paris, 20 dez. 2019. Disponível em: <https://www.iea.org/commentaries/data-centres-and-energy-from-global-headlines-to-local-headaches>. Acesso em: 16 nov. 2020.

KOOMEY, Jonathan G. Worldwide electricity used in data centers. **ENVIRONMENTAL RESEARCH LETTERS**, 29 ago. 2018. Disponível em: [stacks.iop.org/ERL/3/034008](https://stacks.iop.org/ERL/3/034008). Acesso em: 15 jun. 2020.

KOOMEY, Jonathan G. Analytics Press. **GROWTH IN DATA CENTER ELECTRICITY USE 2005 TO 2010**, 1 ago. 2011. Disponível em: [https://alejandrobarros.com/wp-content/uploads/old/Growth\\_in\\_Data\\_Center\\_Electricity\\_use\\_2005\\_to\\_2010.pdf](https://alejandrobarros.com/wp-content/uploads/old/Growth_in_Data_Center_Electricity_use_2005_to_2010.pdf). Acesso em: 26 nov. 2020.

LOEFFLER, Chris; SPEARS, Ed. THOUGHT LEADERSHIP: UPS Basics. **Solutions for the Next Generation Data Center**: What is PUE / DCiE? How to Calculate, What to Measure, [s. l.], Out 2011. Disponível em: [https://www.eaton.com/ecm/groups/public/@pub/@eaton/@corp/documents/content/pct\\_1548681.pdf](https://www.eaton.com/ecm/groups/public/@pub/@eaton/@corp/documents/content/pct_1548681.pdf). Acesso em: 20 nov. 2020.

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

MISSEMER, Antoine. WILLIAM STANLEY JEVONS' THE COAL QUESTION (1865), BEYOND THE REBOUND EFFECT. **Ecological Economics**, v. 82, p. 97-103, 2012. DOI <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolecon.2012.07.010>. Disponível em: <https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-00738258/document>. Acesso em: 24 nov. 2020.

MOREIRA, José Roberto Simoes et al. **Energias Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência Energética**. 1ª. ed.: LTC, 2017.

MOTOGERADOR – Treinamento de Manutenção e Operação. Hortolândia: MTU, 2020.

MTU. **Instruções Operacionais**: Motor a Diesel. Agosto 2017.

NASA. **The Sun by the Atmospheric**: Imaging Assembly of NASA's Solar Dynamics Observatory. [S. l.], 19 ago. 2010. Disponível em: [https://sdo.gsfc.nasa.gov/assets/img/browse/2010/08/19/20100819\\_003221\\_4096\\_0304.jpg](https://sdo.gsfc.nasa.gov/assets/img/browse/2010/08/19/20100819_003221_4096_0304.jpg). Acesso em: 16 nov. 2020.

NETO, Alberto Hernandez; IOSHIMOTO, Eduardo; YAMADA, Eduardo Seiji; KATO, Enio; NEVEZ, Leticia de Oliveira. Eficiência Energética. In: SIMÕES-MOREIRA, J.R.

(ed.) **Energias Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência Energética**. São Paulo: LTC, 2017. P. 306-331

NEUDORFER, Julius. PUE VS ASHRAE 90.4. **Data Center PUE vs. ASHRAE 90.4**, abr. 2019. Disponível em: <https://www.missioncriticalmagazine.com/articles/92169-data-center-pue-vs-ashrae-904>. Acesso em: 24 set. 2020.

OHL, Russel. **Light-Sensitive Electric Device**. 2402662. 25 de jun. de 1946. Filef, p. 2 Disponível em: <<https://patents.google.com/patent/US2402662>>. Acesso em: 04 out 2020.

PACHECO, C. R. DE F. Fundamentos da Utilização de Energia Solar. In: SIMÕES-MOREIRA, J.R. (ed.) **Energias Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência Energética**. São Paulo: LTC, 2017. P. 187-221

PARENTE, Virginia. Análise se Investimentos Aplicados a Projetos de Energia. In: SIMÕES-MOREIRA, J.R. (ed.) **Energias Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência Energética**. São Paulo: LTC, 2017. P. 336-353

PDU Power Distribution Unit: Treinamento Operacional. São Paulo: VERTIV, 2019.

PEREIRA, Enio Bueno *et al.* **Atlas Brasileiro de Energia Solar**. São José dos Campos - Brasil: [s. n.], 2017. Atlas.

PETERSON, Mike. To HAC or CAC? That is the Question. **A Barrier to Mixing**, 19 fev. 2015. Disponível em: <https://www.belden.com/blog/data-centers/to-hac-or-cac-that-is-the-question>. Acesso em: 17 nov. 2020.

PERLIN, John. National Renewable Energy Laboratory, **The Silicon Solar Cell Turns 50.**, agosto 2014. Disponível em: <https://www.nrel.gov/docs/fy04osti/33947.pdf>. Acesso em: 25 out. 2020

PINHO, João Tavares; GALDINO, Marco Antônio. COMPONENTES BÁSICOS DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS: Fatores que afetam as características elétricas dos módulos In: **MANUAL DE ENGENHEIRIA PARA SISTEMAS FOTOVOLTAICO**. 2014. cap. 04.

PROENÇA, Emanuel. **A Energia Solar Fotovoltaica em Portugal**. 2007. 88 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Gestão Industrial) - Instituto Superior Técnico, Tecnica de Lisboa, Lisboa, 2007.

RICHARD BROWN. August 2008. **Report to Congress on Server and Data Center Energy Efficiency: Public Law 109-431**, [S. /], p. 4-10, Junho 2008. Disponível em: <https://eta.lbl.gov/publications/report-congress-server-data-center>. Acesso em: 28 set. 2020.

SERVPAC. **Servpac**: Hawaii's Best Data Center Colocation. [S. /], 18 maio 2019. Disponível em: <https://servpac.com/colocation/>. Acesso em: 10 nov. 2020.

SIEMENS, Werner. On the electromotive action of illuminated selenium, discovered by Mr. Fritts of New York. **The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science, London**, 29 abr. 2009. XXXV. Intelligence and miscellaneous articles, p. 315-316. Disponível em: <<https://tandfonline.com/doi/abs/10.1080/14786448508627681>>. Acesso em: 10 set. 2020.

SHIMURA, Sergio; SIMPLÍCIO, Roberto; HERRERO, Rafael; MOURA, Cesar Biasi de; ZUFFO, Marcelo Knorich; GRIMONI, Jose Aquiles Baesso. ESTIMATIVA DO CUSTO DE GERAÇÃO DE USINAS FOTOVOLTAICAS USANDO CONFIABILIDADE. **VI Congresso Brasileiro de Energia Solar**, 7 abr. 2016. Disponível em: [https://www.researchgate.net/profile/Rafael\\_Herrero2/publication/305651664\\_ESTIMATIVA\\_DO\\_CUSTO\\_DE\\_GERACAO\\_DE\\_USINAS\\_FOTOVOLTAICAS\\_USANDO\\_CONFIABILIDADE/links/57979da208aec89db7b9abbb/ESTIMATIVA-DO-CUSTO-DE-GERACAO-DE-USINAS-FOTOVOLTAICAS-USANDO-CONFIABILIDADE.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Rafael_Herrero2/publication/305651664_ESTIMATIVA_DO_CUSTO_DE_GERACAO_DE_USINAS_FOTOVOLTAICAS_USANDO_CONFIABILIDADE/links/57979da208aec89db7b9abbb/ESTIMATIVA-DO-CUSTO-DE-GERACAO-DE-USINAS-FOTOVOLTAICAS-USANDO-CONFIABILIDADE.pdf). Acesso em: 26 nov. 2020.

SOTREQ – Treinamento de Manutenção e Operação, Barueri: SOTREQ, 2018.

SOTREQ. **NOSSOS MERCADOS: ENERGIA**. [S. l.], 2014. Disponível em: <https://gruposotreq.com.br/>. Acesso em: 18 nov. 2020.

TRANE. **PRODUTOS E SISTEMAS: CHILLERS**. [S. l.], 2020. Disponível em: <https://www.trane.com/commercial/latin-america/br/pt.html>. Acesso em: 17 nov. 2020.

TUF, Steve. "Power Usage Effectiveness." It.toolbox. **Toolbox**. Web. 17 Nov. 2014.

UPTIME INSTITUTE. *In: QUEM SOMOS*. 2020. Disponível em: <https://uptimeinstitute.com/about-ui>. Acesso em: 28 ago. 2020.

VALLÊRA, António M.; BRITO, Miguel C. **Meio Século de História Fotovoltaica**. 2006. 6 f. Artigo (Pós-Doutoramento do CFMC)- Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Lisboa, 2006.

VERTIV. **PRODUCTS AND SERVICES: DATA CENTRE**. 2020. Disponível em: <https://www.vertiv.com/en-emea/>. Acesso em: 17 nov. 2020.

VERTIV. User guide: **Maintenance and Operation**. Vertiv, 2018

VOLTAGE DISTURBANCE. **ITIC Curve**. [S. l.], 2000. Disponível em: <https://voltage-disturbance.com/voltage-quality/itic-curve/>. Acesso em: 26 out. 2020.

VOLICO DATA CENTERS. **Colocation: What Are The Major Differences Between Data Center Tiers?**. [S. l.], 4 dez. 2018. Disponível em: <https://www.volico.com/what-are-the-major-differences-between-data-center-tiers/>. Acesso em: 24 nov. 2020.

UPS - EXL S1 Treinamento Operacional. Hortolândia: VERTIV, 2019.

WINTERSON, Michael. Hyperscale x Colocation. **INTERCONNECTIONS**, 24 nov. 2020. Disponível em: [https://blog.equinix.com/blog/2020/11/24/hyperscale-x-colocation/?ls=Advertising%20-%20Web&lsd=20q4\\_cross-vertical\\_no-program+not-applicable\\_\\_social-comms\\_nzn\\_organic-social\\_linkedin\\_br-pt\\_AMER\\_recapture-education&utm\\_campaign=br-](https://blog.equinix.com/blog/2020/11/24/hyperscale-x-colocation/?ls=Advertising%20-%20Web&lsd=20q4_cross-vertical_no-program+not-applicable__social-comms_nzn_organic-social_linkedin_br-pt_AMER_recapture-education&utm_campaign=br-)

pt\_linkedin\_organicsocial\_NN\_socialcomms\_recaptureeducation&utm\_source=linkedin&utm\_medium=organicsocial&utm\_content=no-program+not-applicable. Acesso em: 24 nov. 2020.

WOOLFSON, Michael. **The origin and evolution of the solar system**. 2000. Disponível em: <<https://academic.oup.com/astrogeo/article/41/1/1.12/182262>>. Acesso em: 03 set. 2020.

ZILLES, Roberto; MACÊDO, Wilson Negrão; GALHARDO, Marcos André Barros; OLIVEIRA, Sérgio Henrique Ferreira de. **Sistemas Fotovoltaicos conectados à rede elétrica**. 1ª edição. ed: Editora Oficina de Textos, 2012.



## 9. ANEXOS

### 9.1. Datasheet Módulo Fotovoltaico

