

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELÉTRICA  
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

**LUCCAS FOGAÇA COSTA**

**ACOMPANHAMENTO OPERACIONAL DE CENTRAIS GERADORAS  
HIDRELÉTRICAS POR MEIO DO ÍNDICE DE EFICIÊNCIA GLOBAL (OEE)**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**PATO BRANCO  
2019**

LUCAS FOGAÇA COSTA

**ACOMPANHAMENTO OPERACIONAL DE CENTRAIS GERADORAS  
HIDRELÉTRICAS POR MEIO DO ÍNDICE DE EFICIÊNCIA GLOBAL  
(OEE)**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2, do Curso de Engenharia Elétrica do Departamento Acadêmico de Elétrica – DAELE – da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, Câmpus Pato Branco, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Eletricista.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Gonçalves Trentin

PATO BRANCO

2019

## **TERMO DE APROVAÇÃO**

O trabalho de Conclusão de Curso intitulado “**ACOMPANHAMENTO OPERACIONAL DE CENTRAIS GERADORAS HIDRELÉTRICAS POR MEIO DO ÍNDICE DE EFICIÊNCIA GLOBAL**” foi considerado **APROVADO** de acordo com a ata da banca examinadora N° 244 de 2019.

Fizeram parte da banca os professores:

**Prof. Dr. Marcelo Gonçalves Trentin**

**Prof. Dr. Alexandre B. J. Soares**

**Prof. Msc. Cesar Augusto Portolann**

**A Ata de Defesa assinada encontra-se na Coordenação do Curso de Engenharia Elétrica**

*Dedico este trabalho à minha mãe, responsável por todas as minhas vitórias.*

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

A minha mãe que, mesmo nos tempos de maior dificuldade, possibilitou e me apoiou admiravelmente durante a minha graduação.

A minha namorada Isabela, pela ajuda, compreensão, apoio e conforto, nos momentos de maior necessidade.

Ao professor Dr. Marcelo Trentin, pela disponibilidade de orientação além de toda a ajuda na execução deste trabalho.

*A mente que se abre a uma nova ideia jamais voltará ao seu tamanho original. (EINSTEIN, Albert).*

## RESUMO

COSTA, Luccas Fogaça. Acompanhamento operacional de Centrais Geradoras Hidrelétricas por meio do Índice de Eficiência Global (OEE). 2019. 53 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2019.

Este trabalho apresenta um estudo e aplicação do índice de Eficácia Global do Equipamento (OEE) em uma Central Geradora Hidrelétrica (CGH) localizada no estado do Paraná. Discute o potencial hídrico brasileiro, a importância e vantagens das Centrais Geradoras Hidrelétricas no cenário atual. Aborda o nascimento da Produção Lean e as origens do OEE. Apresenta como pode ser realizada a aplicação do índice de eficácia em uma CGH, através da definição dos parâmetros a serem utilizados para os fatores Disponibilidade, Performance e Qualidade. Realiza um estudo de caso em uma usina com base em dados registrados de operação da CGH. Apresenta como resultados do estudo os valores mensais calculados dos três fatores do OEE e a eficiência da usina, assim como detecta as perdas na geração de energia elétrica da CGH.

**Palavras-chave:** Eficácia Global do Equipamento (OEE). Centrais Geradoras Hidrelétricas. Manutenção Produtiva Total. Sistema Interligado Nacional. Produção Lean. Energia Elétrica.

## ABSTRACT

COSTA, Luccas Fogaça. Operational monitoring of Hydroelectric Power Plants through the Global Efficiency Index (OEE). 2019. 55 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2019.

This paper presents a study and application of the Global Equipment Effectiveness Index (OEE) in a Hydroelectric Power Plant (CGH) located in the state of Paraná. It discusses the Brazilian water potential, the importance and advantages of Hydroelectric Power Plants in the current scenario. It addresses the birth of Lean Production and the origins of OEE. It presents how the effectiveness index can be applied to a CGH, by defining the parameters to be used for the factors Availability, Performance and Quality. Conducts a case study at a plant based on recorded operating data from CGH. It presents as results of the study the calculated monthly values of the three OEE factors and the efficiency of the plant, as well as detects the losses in the generation of electricity from CGH.

**Keywords:** Overall Equipment Effectiveness (OEE). Hydroelectric Generating Plants. Total Productive Maintenance. National Interconnected System. Lean Manufacturing. Electrical Energy.

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Fator Disponibilidade da Máquina 1 .....	34
Gráfico 2 - Fator Performance da Máquina 1 .....	35
Gráfico 3 - Fator Qualidade da Máquina 1 .....	35
Gráfico 4 - OEE da Máquina 1 .....	36
Gráfico 5 - Fator Disponibilidade da Máquina 2 .....	38
Gráfico 6 - Fator Performance da Máquina 2 .....	38
Gráfico 7 - Fator Qualidade da Máquina 2 .....	39
Gráfico 8 - OEE da Máquina 2 .....	39
Gráfico 9 - OEE da CGH .....	41
Gráfico 10 - Relação entre OEE da CGH com M1 e M2 .....	41

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Dados referentes à Máquina 1 .....	32
Tabela 2 - Valores calculados dos fatores da Máquina 1 .....	34
Tabela 3 - Dados referente à operação da Máquina 2 .....	37
Tabela 4 - Valores calculados dos três fatores da Máquina 2 .....	37
Tabela 5 - Valores calculados dos fatores do OEE da CGH .....	40

## LISTA DE SIGLAS

OEE	<i>Overall Equipment Effectiveness</i> - (Eficiência Global do Equipamento)
TPM	<i>Total Productive Maintenance</i> - (Manutenção Preventiva Total)
CGH	Central Geradora Hidrelétrica
SIN	Sistema Interligado Nacional
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
UHE	Usina Hidrelétrica
PCH	Pequena Central Hidrelétrica
ALEP	Assembleia Legislativa do Paraná
GD	Geração Distribuída
DEA	<i>Data Envelopment Analysis</i> - (Análise por Envoltória de Dados)
TO	Tempo de Operação
Ti	Tempo Ideal
Tpp	Tempo de Paradas Planejadas
TF	Tempo de Funcionamento
Tpnp	Tempo de Paradas não Planejadas
PRODIST Nacional	Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional
MIGDI	Microsistema Isolado de Geração e Distribuição de Energia Elétrica
SIGFI	Sistemas Individuais de Geração de Energia Elétrica

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	10
1.2 OBJETIVOS .....	12
<b>1.2.1 Objetivo Geral</b> .....	12
<b>1.2.2 Objetivos Específicos</b> .....	12
1.3 ENQUADRAMENTO METODOLÓGICO .....	12
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	14
2.1 POTENCIAL HIDRÁULICO BRASILEIRO .....	14
2.2 VANTAGENS DAS CGH'S .....	15
2.3 GERAÇÃO DISTRIBUÍDA .....	16
2.4 ÍNDICES DE EFICIÊNCIA .....	17
2.5 ÍNDICE DE EFICÁCIA GLOBAL DO EQUIPAMENTO - OEE .....	18
<b>2.5.1 Fatores do OEE</b> .....	19
<b>2.5.2 Objetivos e Cálculo do OEE</b> .....	20
<b>2.5.3 Aplicações do OEE</b> .....	21
<b>3 METODOLOGIA</b> .....	22
3.1 OBTENÇÃO E ANÁLISE DE DADOS .....	22
3.2 APLICAÇÃO DO MÉTODO DE NAKAJIMA .....	22
<b>4. DESENVOLVIMENTO</b> .....	24
4.1 DISPONIBILIDADE (D) .....	24
4.2 PERFORMANCE (P) .....	26
4.3 QUALIDADE (Q) .....	27
4.4 ÍNDICE OEE DA USINA .....	29
4.5 ESTUDO DE CASO CGH "A" .....	30
<b>4.5.1 Informações Gerais</b> .....	30
<b>4.5.2 Dados</b> .....	31
<b>4.5.3 Máquina 1</b> .....	31
<b>4.5.4 Máquina 2</b> .....	36
<b>4.5.5 Definição dos Fatores do OEE da CGH</b> .....	40
<b>4.5.6 Cálculo do OEE da CGH</b> .....	40
<b>4.5.7 Paradas e Perdas na Produção</b> .....	42
<b>4.5.8 Análise dos Resultados</b> .....	43

<b>5. CONCLUSÕES</b> .....	47
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	49

## 1 INTRODUÇÃO

Os sistemas de produção atuais tem origem recente. Até o fim do século XIX, a produção era majoritariamente artesanal. Isto implicava em organizações descentralizadas, utilização de máquinas de uso geral e relações trabalhistas diferentes das atuais, sendo o empresário responsável por coordenar todo o processo e realizar o contato com fornecedores, trabalhadores e clientes.

A principal desvantagem deste sistema era o baixo volume de produção e seus altos preços, o que levou a busca de novos meios para se produzir. A partir de estudos realizados por Frederick Winslow Taylor, onde este aplicou métodos científicos à manufatura, o século XX iniciou-se com o surgimento da produção em massa.

Os principais expoentes da produção em massa foram as montadoras Ford e a General Motors. Além dos conceitos fundamentais descritos por Taylor, as empresas desenvolveram suas próprias definições de produção, como linha de montagem em movimento, intercâmbio de peças, descentralização das operações, dentre outras.

A produção em massa foi um sucesso comercial imediato e ditou os rumos da manufatura no início do século XX, resultando no aumento exponencial de fabricação e consumo de produtos industrializados, principalmente nos Estados Unidos e na Europa.

Mesmo com tamanho sucesso, os herdeiros da recém criada Toyota chegaram a conclusão de que tal sistema de produção não funcionaria no Japão. O mercado interno era pequeno, a economia japonesa enfrentava as dificuldades resultantes da Segunda Guerra Mundial e havia diversos concorrentes já consolidados na região (DENNIS, 2008).

Com este cenário, Eiji Toyoda e Taiichi Ohno desenvolveram ferramentas, divergentes da produção em massa, como uma parceria entre empresa e trabalhadores, que permitiram a ascensão da empresa no mercado. Nascia ali a produção Lean.

A produção Lean tem como objetivo a produção no momento ideal, evitando assim a necessidade de manter grandes espaços para estoques, reduzindo significativamente as perdas do processo.

O foco na redução de perdas foi uma das bases do pensamento japonês, resultando em atividades exercidas por funcionários com a finalidade de aumentar a eficácia da empresa, a Manutenção Produtiva Total (TPM).

Seguindo esta linha de pensamento, Seiichi Nakajima desenvolveu o índice de Eficácia Global do Equipamento (OEE) na década de 1980. O OEE tem como objetivo mensurar a eficiência de equipamentos ou processos produtivos, além de indicar suas respectivas perdas.

O OEE é muito utilizado em sistemas de produção e processos de manufatura, principalmente em ambientes que aplicam as ideias advindas da produção Lean. Todavia, a sua utilização não se limita somente a tais aplicações.

Visto que uma de suas principais características é a indicação de perdas do processo produtivo, tendo como objetivo indicar a sua eficácia, é conveniente utilizá-lo em processos onde há grande potencial de produção, porém meios reduzidos de análise e definição de métricas para melhoria da produção.

Este é o cenário atual da geração de energia elétrica a partir de Centrais Geradoras Hidrelétricas (CGH) no Brasil. Este tipo de empreendimento, que tem como objetivo gerar energia elétrica através do potencial hídrico, possui o maior número de unidades em funcionamento no país frente aos outros tipos de usinas que utilizam o mesmo potencial de geração.

A aplicação do índice OEE em CGH's, indicando a eficiência da produção de energia elétrica e evidenciando as perdas referentes a este processo, pode levar a uma busca pela melhoria na geração, permitindo assim um aumento da geração de energia em tais usinas, garantindo um melhor aproveitamento dos recursos disponíveis.

Ainda, a análise de CGH's sob a ótica do OEE permite um planejamento mais favorável em relação à produtividade da geração e a qualidade da energia elétrica gerada, sendo este último um fator fundamental aos sistemas de distribuição de energia elétrica atuais.

## 1.2 OBJETIVOS

Para cumprir com a finalidade do presente trabalho, foram definidos objetivo geral e objetivos específicos.

### 1.2.1 Objetivo Geral

Apresentar uma forma de acompanhamento da eficácia de CGH's por meio do índice de Eficiência Global de Equipamento (OEE), demonstrando como este indicador pode colaborar com sua maior disponibilidade de operação e consequente rentabilidade. Com a sistemática proposta, poderão ser identificadas as perdas ligadas à operação do sistema que acometem esta forma de geração de energia elétrica.

### 1.2.2 Objetivos Específicos

Para este trabalho foram traçados os seguintes objetivos específicos:

- Realizar uma revisão bibliográfica do índice de Eficiência Global do Equipamento (OEE);
- Verificar, com base na literatura, a melhor indicação de cálculo do índice OEE e as características das variáveis empregadas para a aplicação em CGH's;
- Definir as principais perdas de operação do processo de geração de energia da usina, sob a ótica do OEE.

## 1.3 ENQUADRAMENTO METODOLÓGICO

A presente pesquisa pode ser classificada como sendo exploratória, quanto aos seus objetivos. Segundo Gil (2018, p. 26), uma pesquisa é classificada como tal quando proporciona maior familiaridade com o problema estudado, com o objetivo

de torná-lo mais explícito, ou até mesmo com o intuito de construir hipóteses. A coleta de dados pode ocorrer de diversas maneiras, contudo, geralmente envolvendo certo padrão.

Possui metodologia quantitativa, visto que é realizada através de coleta e análise de dados, almejando resultados que possam ser quantificados. Ainda, pode ser definida como um estudo de caso, quanto aos métodos empregados. Este requer a utilização de fontes documentais e observações, sendo atribuídas designações aos dados encontrados, possibilitando assim a sua classificação, comparação e, principalmente, significados.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo serão apresentados os pontos que fundamentam a elaboração da presente pesquisa. Inicia-se com a demonstração do elevado potencial hidráulico nacional, relata o importante papel das usinas hídricas no Brasil e o número elevado de CGH's existentes no país.

Posteriormente, disserta-se a cerca da importância do conceito de eficiência das usinas, sendo então apresentado o índice de eficácia OEE. Comenta-se sobre sua origem, componentes e aplicações. Por fim, relaciona-se o índice com as CGH's, levantando as possibilidades de aplicação do OEE em tais empreendimentos.

### 2.1 POTENCIAL HIDRÁULICO BRASILEIRO

O Brasil possui um vasto potencial hidrelétrico em seu território, encontrando-se entre os cinco maiores potenciais técnicos de aproveitamento de energia hidráulica do mundo. Isto se dá, principalmente, devido ao fato do país contar com a presença de 12% da água doce superficial do planeta, além de condições oportunas para a exploração (BRASIL, 2019).

No ano de 2018, de toda a capacidade instalada no Sistema Interligado Nacional (SIN), 67,5% desta energia provém da geração hidrelétrica, concebendo mais de 109 GW de potência instalada e tendo a previsão de chegar a 114,5 GW em 2023 (ONS, 2018).

A energia elétrica produzida no Brasil, oriunda do potencial hidráulico, é gerada a partir de três tipos de usinas definidas pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), sendo estas chamadas de: Usina Hidrelétrica (UHE), Pequena Central Hidrelétrica (PCH) e Central Geradora Hidrelétrica (CGH).

A UHE é uma usina hidrelétrica de grande porte, possuindo uma capacidade de geração acima de 30 MW. Dado sua elevada propensão de geração de energia, esta possui extensas áreas alagadas para o seu reservatório, normalmente acima de 13 km<sup>2</sup>. Atualmente, no Brasil, contamos com 217 usinas hidrelétricas, que juntas

representam aproximadamente dois terços da geração de energia elétrica no país (ANEEL, 2019).

As PCH's são usinas hidrelétricas semelhantes às UHE's, porém apresentam uma potência outorgada inferior à primeira. Possuem uma capacidade de geração entre 5 MW e 30 MW, assim como devem possuir obrigatoriamente uma área de reservatório inferior a 13 km<sup>2</sup>. Apresentam um total de 5,2 GW de potência instalada atualmente, representando 3,26% do total da capacidade de geração no país, demonstrando sua importância no atual cenário energético nacional (ANEEL, 2019).

As CGH's, por sua vez, também são usinas geradoras de energia que utilizam o potencial hidrelétrico, contudo possuem dimensões ainda menores comparadas as citadas anteriormente. Estas podem ter o potencial de geração de até 5 MW, não sendo definida uma área de reservatório obrigatória. Isto ocorre, pois, as CGH's normalmente são usinas a fio d'água, ou seja, não formam reservatórios para armazenamento de água.

## 2.2 VANTAGENS DAS CGH'S

Conforme a ANEEL (2019), as CGH's são responsáveis por gerar 708 MW de potência, sendo este o equivalente a 0,43% do total de capacidade de geração no Brasil. Mesmo sendo um valor baixo comparado às outras formas de se gerar energia no país, as CGH's possuem um elevado número de unidades distribuídas pelo território, dispendo de 698 unidades geradoras, superando o número de PCH's e UHE's.

Este valor é um reflexo das vantagens de se construir uma CGH, ante as duas usinas que também utilizam o potencial hidrelétrico para geração. Dentre tais proveitos, podem ser destacados três, sendo o principal fator de benefício o custo, conforme será descrito a seguir.

O custo de uma CGH é significativamente inferior ao de uma PCH e UHE, principalmente devido a sua estrutura reduzida, visto que a potência gerada na primeira é inferior. Uma das grandes economias financeiras é a não existência de uma barragem com o intuito de se armazenar água, algo essencial em uma usina de

maior porte. Nas CGH's, a barragem tem como função somente garantir a operação da tomada d'água.

A grande consequência de um custo reduzido implica na descentralização da produção de energia, tornando-se possível a entrada de investidores privados no setor, aumentando a geração de energia elétrica e diminuindo a dependência do consumidor ante o governo de gerar toda a energia elétrica consumida no país.

Além disso, a construção de uma CGH demanda menor burocracia. Segundo o artigo 8º da Lei nº 9.074, de 7 de julho de 1995, o aproveitamento de potenciais hidráulicos de até 5 MW de potência são dispensados de concessão, permissão ou autorização, devendo-se apenas comunicar o poder concedente (PLANALTO, 1995).

Logo, há uma quantidade significativa da redução de burocracia sendo aplicada somente às CGH's. Com isto, restam basicamente as licenças ambientais e, em virtude de tais usinas serem consideravelmente menores, não causam grandes impactos ambientais, como foi reconhecido pela Greenpeace, organização não governamental do meio ambiente (GREENPEACE, 2016). Com isto, torna-se muito menos dificultoso conseguir uma licença ambiental para se construir uma CGH em relação às hidrelétricas de maior porte.

Além de possuir maior número de unidades frente às UHE's e PCH's, a construção de novas CGH's continua crescendo. Em maio de 2018, a Comissão de Constituição e Justiça da Assembleia Legislativa do Paraná (ALEP) aprovou o projeto de lei nº 269/2018, que autoriza a construção de 14 empreendimentos de geração de energia no estado, sendo em sua maioria CGH's (ALEP, 2018).

### 2.3 GERAÇÃO DISTRIBUÍDA

A presença de capital privado na construção de Centrais Geradoras Hidrelétricas já era uma realidade concreta, e o olhar investidor em tal empreendimento aumentou consideravelmente nos últimos anos, com a possibilidade da inserção de tais unidades na chamada Geração Distribuída (GD).

Em 17 de abril de 2012, a ANEEL publicou a resolução normativa nº 482/2012, pela qual permite ao consumidor a geração de sua própria energia elétrica

a partir de fontes renováveis e, inclusive, fornecer o excedente para a sua respectiva rede de distribuição (ANEEL, 2012).

Segundo a ANEEL, os incentivos à GD são baseados nas potenciais vantagens que tal modalidade pode vir a proporcionar ao sistema elétrico. Dentre eles, encontram-se o adiamento de investimentos em expansão dos sistemas de transmissão e distribuição, a diminuição no carregamento das redes, a minimização das perdas e a diversificação da matriz energética (ANEEL, 2015).

Em novembro de 2015 a ANEEL publicou a resolução normativa nº 687/2015, sendo esta uma revisão da resolução nº 482/2012. A nova resolução tem por objetivo principal reduzir o tempo e custos de inserção na GD, melhorar as informações na fatura e aumentar o público alvo. Tais regras começaram a valer em 1º de março de 2016.

As novas normas definem como microgeração distribuída a central geradora de energia elétrica com potência instalada de até 75 kW. É definida como minigeração distribuída a central com potência superior a 75 kW e menor ou igual a 3 MW para fontes hídricas, encontrando-se as CGH's nesta classificação.

A unidade geradora fica conectada a rede de distribuição podendo consumir ou transmitir energia à rede. Quando essa quantidade de energia gerada superar o valor consumido em determinado período, o consumidor recebe créditos que poderão ser utilizados em até 60 meses, segundo a nova resolução, para diminuir as faturas futuras.

## 2.4 ÍNDICES DE EFICIÊNCIA

Devido a grande participação privada no setor, além da possibilidade de se conectar a unidade geradora à geração distribuída, torna-se evidente a necessidade de um maior foco na eficiência da energia elétrica gerada em uma CGH.

## Segundo Sampaio, Ramos e Sampaio:

[...] o enfoque da eficiência torna-se uma ótima estratégia, do ponto de vista empresarial, para reduzir custos e aumentar sua margem de lucro ou, alternativamente, repassar os ganhos com o aumento da eficiência para o preço de seus produtos, reduzindo-os e ampliando o seu número de consumidores (SAMPAIO et al. 2005, p.468).

Há diversas formas de se medir a eficiência de determinado processo. Em usinas hidrelétricas de grande porte, como as UHE's, por exemplo, pode-se aplicar a Análise Envoltória de Dados (DEA), dispondo-se de dados como potência instalada, vazão da turbina, mão de obra envolvida, dentre outros (SAMPAIO et al. 2005, p.468).

Todavia, em uma usina de geração de energia elétrica, convém monitorar continuamente as máquinas e equipamentos presentes na unidade, assim como levantar os dados referentes ao desempenho dos aparelhos e do processo como um todo. Com isso, são necessárias informações referentes a performance dos equipamentos, assim como quão disponíveis estes estão durante a geração e, além disso, o conhecimento de qualidade da energia gerada, podendo assim determinar a eficiência da usina.

Logo, necessita-se desenvolver um mecanismo que acompanhe sistematicamente a operação da geração de energia elétrica. Para uma CGH, com o intuito de analisar sua eficiência, pode-se utilizar o índice de Eficácia Global do Equipamento (OEE). Tal indicador tem como característica medir o desempenho de cada máquina individualmente, assim como processos produtivos, através do estudo e aplicação de dados como disponibilidade, performance e qualidade.

## 2.5 ÍNDICE DE EFICÁCIA GLOBAL DO EQUIPAMENTO - OEE

O OEE surgiu a partir de um sistema de produção concebido no Japão nos anos 1960 chamado Lean Manufacturing, também conhecido como Produção Lean, sendo o seu maior e mais importante exemplo mundial o Sistema Toyota de Produção. A Produção Lean nasce em oposição ao sistema de produção vigente à

época, a produção em massa, que tem como principal objetivo alcançar as metas de fabricação independentemente da demanda pelo produto (DENNIS, 2008).

A produção Lean, por sua vez, tem como propósito central a redução de desperdícios com o intuito de melhorar a lucratividade. Além disso, a nova proposta inova com a ideia de *Just in Time*, que significa produzir somente o necessário e no tempo necessário, sendo crucial para reduzir os desperdícios de superprodução e estoque (DENNIS, 2008).

Além disso, idealiza a Manutenção Produtiva Total (TPM), política de manutenção por parte dos funcionários que almeja organizar todos os trabalhadores, independente da sua função na empresa, para executarem uma sequência de atividades com a finalidade de maximizar a efetividade do equipamento (NAKAJIMA, 1989).

A TPM é fundamental para a estabilidade e eficácia da máquina, representando uma manutenção preventiva, além de vistorias e, com isso, melhorias. Tal filosofia altera a ideia de que cada funcionário é responsável por uma determinada função específica, concebendo uma nova consciência de que todos podem ser encarregados, tendo como meta anular as interrupções.

Após tais aprimoramentos, o OEE é criado por Seicchi Nakajima na década de 1980, como parte do sistema de pensamento da TPM. O índice é criado tendo como finalidade a quantificação do desempenho dos equipamentos, além de apresentar uma métrica de melhorias contínuas que podem ser aplicadas nos mais diversos instrumentos e processos produtivos de uma empresa (SILVA, 2009).

### 2.5.1 Fatores do OEE

O OEE é um indicador que avalia o desempenho a partir de três fatores relacionados ao equipamento, sendo eles: Disponibilidade, Performance e Qualidade. Segundo Silva (2009, p. 4), o OEE “[...] reflete as principais perdas relacionadas com o equipamento. Quantifica quão eficaz é o equipamento na agregação de valor ao produto obtido num processo produtivo”.

Segundo Hansen (2002), o fator disponibilidade trata do percentual de tempo em que o equipamento esteve em funcionamento em relação ao tempo total em que estava disponível, incluindo os tempos de paradas não planejadas por motivos

diversos. Nesta conjuntura, são considerados tempos de paradas devido a ajustes na máquina, regulagem, limpeza, etc.

A performance é definida através da definição de um padrão considerado ideal para o equipamento, sendo portanto medido conforme a velocidade em que tal instrumento opera em dado instante. Por sua vez, o fator qualidade almeja apurar a produção fora dos padrões pré-definidos, sendo suas perdas os produtos que necessitam de retrabalho ou até mesmo os descartados.

### 2.5.2 Objetivos e Cálculo do OEE

Para Silva (2009), além de ser um indicativo de desempenho, o OEE conta ainda com quatro objetivos complementares, sendo eles o planejamento da capacidade, o controle do processo, a melhoria do processo e a possibilidade de cálculo dos custos das perdas de produção.

Existem diversas maneiras de se calcular o OEE, sendo a mais conhecida a forma de cálculo de Nakajima. Tal índice pode ser obtido através da multiplicação dos fatores que indicam a Disponibilidade, Performance e Qualidade de determinado processo. A Equação 1 apresenta esta operação.

$$\text{OEE} = \text{D} * \text{P} * \text{Q} \quad (1)$$

Sendo:

OEE é o índice de eficiência;

D é o fator Disponibilidade;

P é o fator Performance;

Q é o fator Qualidade.

Para o cálculo, podem ser utilizados dados referentes ao tempo de execução das tarefas, velocidade de ciclo da produção e a quantidade de unidades produzidas levando-se em conta os produtos defeituosos (MEGIOLARO, 2015).

Dada a possibilidade de demonstrar as perdas que ocorrem mesmo com o equipamento em funcionamento, o OEE promove a análise dos distúrbios e permite tratar a gênese de sua causa. Isto torna possível o aumento de efetividade das

ações de melhoria, permitindo assim um melhor aproveitamento da capacidade nominal dos equipamentos (SILVA, 2009).

### 2.5.3 Aplicações do OEE

Segundo Busso e Miyake (2013), o indicador OEE tem sido largamente utilizado nas últimas décadas, principalmente nas indústrias de manufatura para identificação de seu sistema produtivo, assim como na indicação das ações de melhoria contínua, notoriamente nas companhias que utilizam como modelos gerenciais as ideias advindas da Produção Lean e Manutenção Produtiva Total.

Contudo, ao serem realizadas pesquisas a artigos e trabalhos científicos brasileiros, nota-se a pouca representatividade ou até mesmo inexistência do estudo e aplicação de tal índice em usinas de geração hidrelétrica no país, sobretudo em CGH's, não sendo possível assim a visualização da eficácia da geração através da análise do OEE.

Atualmente, as CGH's possuem o maior número de unidades geradoras, sendo que se faz necessário analisar, acompanhar e melhorar as suas eficiências. Com isso se manterão rentáveis ou ainda aumentarão sua contribuição, tanto financeiramente (para os proprietários) quanto em disponibilidade de operação, contribuindo para a maior confiabilidade do Sistema de Geração Distribuída e possibilitando assim uma maior utilização efetiva do vasto potencial hidrelétrico nacional.

### 3 METODOLOGIA

Neste capítulo, são descritos os meios de obtenção dos dados utilizados para a pesquisa, os tipos de informações recebidas e o procedimento de análise.

#### 3.1 OBTENÇÃO E ANÁLISE DE DADOS

Para a presente pesquisa, foram coletados dados referentes a operação e manutenção de CGH's localizadas na região sudoeste do estado do Paraná. Tais informações abrangem o período de 01 de janeiro até 25 de junho de 2019, totalizando aproximadamente seis meses.

Os dados obtidos incluem capacidade máxima de geração, medição da energia gerada em intervalos de uma hora, tempo disponível para operação, tempo de funcionamento, ocorrências devido a pausas na geração, valores do módulo de tensão e fator de potência gerados. Estes materiais foram retirados do sistema de medição e controle da usina estudada.

Os procedimentos e análise dos dados foram divididos em etapas. Primeiro, foram verificados em qual fator do OEE melhor se enquadravam os diferentes tipos de informações. Depois, foram tabulados e reorganizados e, por fim, reduzidos para melhor compreensão e aplicação no cálculo.

#### 3.2 APLICAÇÃO DO MÉTODO DE NAKAJIMA

Existem diferentes maneiras de calcular o OEE. Segundo Hansen (2002), além do método de Nakajima, pode-se observar a eficácia de um processo através de dados como os tempos registrados dos eventos e, ainda, realizar a análise baseando-se através das unidades boas transferidas.

Tais métodos são oriundos do modelo original descrito no livro *Introduction to Tpm* (NAKAJIMA, 1989), portanto seguem a mesma linha de pensamento. Com

isto, decidiu-se utilizar na presente pesquisa a análise e cálculo do OEE conforme proposto por Seiichi Nakajima.

O OEE foi originalmente desenvolvido visando sua aplicação em processos de manufatura e linhas de produção. Um dos dados fundamentais para calculá-lo consiste na velocidade operacional da máquina e o tempo de ciclo por itens fabricados. Como tais informações não podem ser obtidas de uma usina, foi necessário realizar algumas adaptações em relação à aplicação do índice em CGH's, principalmente no fator Performance, onde originalmente entrariam estes dados mencionados.

Assim, a sistemática proposta seguirá os conceitos fundamentais descritos por Nakajima e, quando necessário, serão realizadas certas adaptações, conforme será descrito, possibilitando melhor análise da eficácia de uma CGH levando em conta a sua natureza de geração de energia elétrica.

## 4. DESENVOLVIMENTO

Para a aplicação o OEE em CGH's, foi necessário adaptar a interpretação das atividades à realidade da geração de energia elétrica em tais usinas, ajustando a forma de análise e cálculo do indicador a ser utilizado.

Visto que o produto em questão é a energia elétrica, sendo esta gerada por máquinas, conjunto de turbinas, geradores e demais periféricos, a análise deve-se consistir na avaliação da Disponibilidade, Performance e Qualidade do produto obtido de tais equipamentos neste processo de geração.

A qualidade do produto é observada conforme a natureza da energia elétrica gerada, verificando se esta encontra-se dentro dos padrões pré-estabelecidos por norma.

A seguir, será discutido quais os tipos de dados podem ser aplicados em cada fator do OEE para realizar o seu cálculo em CGH's de maneira geral. Ainda, haverá a descrição do método para obtenção do índice estudado com os dados apresentados.

### 4.1 DISPONIBILIDADE (D)

Uma CGH, assim como qualquer processo produtivo, possui um tempo de operação ideal, ou seja, um ciclo em que estará disponível para gerar energia ao longo de um intervalo periódico dado em unidade de tempo, como um ano.

Dentro deste período, há ocasiões onde ocorrem paradas na geração devido à manutenção, reparos e correções de possíveis falhas nas máquinas. Tais paradas podem ser divididas basicamente em dois grupos, sendo o primeiro composto por paradas planejadas, ou seja, momentos previamente determinados onde há interrupção na geração de energia elétrica. Estas paralisações ocorrem geralmente para fins de manutenção preventiva e preditiva, troca de aparelhos elétricos ou mecânicos utilizados na usina, dentre outros.

O segundo grupo de paradas, as chamadas não planejadas, são compostas por toda e qualquer parada que interrompe a produção e que ocorrem sem prévio planejamento. Estas acontecem normalmente devido a erros na operação das

máquinas, manutenções corretivas, apresentação de falhas de operação ou qualidade e até mesmo por falta de matéria prima, neste caso, falta de água nos rios que alimentam a usina.

Assim, para definir-se a disponibilidade de uma CGH, é necessário primeiro determinar o período em que esta deve estar funcionando, o que será chamado de Tempo de Operação (TO). Este período, por sua vez, pode ser obtido pela subtração do tempo ideal (Ti) disponível para operação menos o tempo em que não houve geração de energia elétrica devido a paradas planejadas (Tpp). O procedimento é exibido na Equação 2.

$$\mathbf{TO = Ti - Tpp} \quad (2)$$

Sendo:

TO é o Tempo de Operação;

Ti é o tempo ideal;

Tpp é o Tempo devido a paradas planejadas.

Além disto, faz-se necessário possuir informações em relação ao período em que a usina esteve sem funcionar devido as paradas não planejadas. Logo, o tempo em que de fato houve geração, sendo este nomeado Tempo de Funcionamento (TF), é definido subtraindo o tempo de paradas não planejadas (Tpn) do Tempo de Operação. O cálculo é apresentado na Equação 3.

$$\mathbf{TF = TO - Tpn} \quad (3)$$

Sendo:

TF é o Tempo de Funcionamento;

TO é o Tempo de Operação;

Tpn é o Tempo de paradas não planejadas.

Com isto, o indicador de Disponibilidade de uma CGH pode ser obtido pela razão entre o Tempo de Funcionamento (TF) e o Tempo de Operação (TO), como pode ser observado na Equação 4.

$$D_{CGH} = \frac{TF}{TO} * 100\% \quad (4)$$

Sendo:

$D_{CGH}$  é o fator Disponibilidade;

TF é o Tempo de Funcionamento;

TO é o tempo de Operação.

Este valor mostrará qual é o percentual de tempo de geração de energia frente ao período em que a unidade poderia estar em funcionamento. Em suma, indica quanto efetivamente foram utilizadas as máquinas para gerar energia elétrica em relação ao tempo esperado.

#### 4.2 PERFORMANCE (P)

O fator Performance, de maneira geral, relaciona-se à produção do equipamento em determinado momento comparado a um valor considerado ideal. Quanto maior for a geração em um instante de tempo, mais elevado será o desempenho do processo produtivo, estando mais próximo do valor máximo de produção. Assim, busca-se avaliar quanto a máquina está produzindo em relação à sua capacidade nominal.

Uma usina possui um valor máximo definido de geração de potência elétrica definido em projeto. Este montante pode estar relacionado à potência instalada da unidade ou mesmo a capacidade máxima de geração de cada conjunto turbina-gerador, conforme suas especificações técnicas.

Por motivos variados, em determinados momentos, não é possível gerar a quantidade ideal de energia elétrica. Isto geralmente ocorre por motivos atrelados às limitações operacionais momentâneas das máquinas, como restrições de capacidade causada por algum componente ou equipamento que reduza a geração, enquanto aguarda correção de falhas, por questões de diminuição de matéria prima, no caso falta de água no rio ou insuficiência na adução. Ou seja, qualquer motivo que limite a geração.

Com isto, o fator Performance de uma CGH pode ser obtido calculando-se a razão entre a energia gerada em determinado período ( $E_{ger}$ ), conforme o intervalo de tempo desejado (diário, semanal ou mensal), em relação a capacidade máxima de geração ( $E_{máx}$ ) da unidade ou de cada gerador, conforme representado a seguir na Equação 5.

$$P_{CGH} = \frac{E_{ger}}{E_{máx}} * 100\% \quad (5)$$

Sendo:

$P_{CGH}$  é o fator Performance;

$E_{ger}$  é a energia gerada;

$E_{máx}$  é a capacidade máxima de geração.

O resultado percentual deste fator demonstra quão próximo a energia gerada, em determinado instante de tempo, esteve próxima da capacidade máxima de geração da usina.

#### 4.3 QUALIDADE (Q)

Os Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional (PRODIST), documentos elaborados pela ANEEL, tem como objetivo normatizar e padronizar as atividades técnicas relacionadas ao funcionamento dos sistemas de distribuição de energia elétrica. Este documento trata do planejamento de expansão, acesso e processos do sistema de distribuição, sistemas de medição, fatura de energia elétrica, cálculo de perdas, dentre outros.

O PRODIST teve sua primeira versão aprovada em dezembro de 2008. Desde então, tem sido frequentemente revisado, estando em vigência a sua décima versão desde janeiro de 2018. O documento é dividido em onze módulos, sendo o seu oitavo dedicado a estabelecer os mecanismos relativos à qualidade de energia elétrica.

Segundo o PRODIST (2019), os procedimentos definidos no oitavo módulo devem ser observados por consumidores conectados em qualquer classe de tensão

de distribuição, centrais geradoras, distribuidoras e agentes importadores ou exportadores de energia elétrica. A metodologia de qualidade de energia se aplica a Microsistema Isolado de Geração e Distribuição de Energia Elétrica (MIGDI) e Sistemas Individuais de Geração de Energia Elétrica (SIGFI).

O produto final de uma Central Geradora Hidrelétrica, ou seja, a energia elétrica gerada, deve estar dentro de valores pré-estabelecidos, atestando assim a sua qualidade. Devido à natureza da geração de uma CGH, pode-se utilizar como referência para parâmetros de qualidade os aspectos descritos no PRODIST.

O documento define os fenômenos a serem avaliados para definir-se a qualidade do produto, estabelecendo os seus indicadores e valores de referência ou limites. Dentre os fatores analisados em regime permanente, constam o valor de tensão, fator de potência, harmônicos, desequilíbrio de tensão, flutuação de tensão e variação de frequência.

Para cada tensão de referência são definidas três categorias de intervalos, chamadas de adequadas, precárias e críticas. A definição baseia-se no afastamento do valor da tensão de leitura em relação à referência. A tensão deve situar-se entre 95% e 105% da tensão nominal de operação.

Conforme o PRODIST, o fator de potência deve estar entre 0,92 e a unidade (indutivo e capacitivo), ou de acordo com a referência da própria usina. Os valores absolutos de frequência devem operar, em regime permanente, entre os valores de 59,9 Hz e 60,1 Hz.

Em relação a distorções harmônicas, são definidos os indicadores calculados segundo a ordem da harmônica a ser analisada. Com isso, determinam-se os limites das distorções totais para cada indicador e conforme o valor da tensão nominal.

O desequilíbrio e a flutuação de tensão referem-se a diferença entre os valores de amplitude entre as três tensões de fase e variações aleatórias da tensão instantânea, respectivamente. O limite de desequilíbrio de tensão é definido em 3% para tensões nominais de até 1 kV e flutuação máxima de tensão de 1,0 pu.

Para definir a qualidade da energia gerada em uma CGH é necessário analisar quando algum dos itens descritos é violado. Além disto, é preciso examinar o tempo em que houve produção de energia fora dos modelos de qualidade, com o intuito de determinar-se a quantidade de energia elétrica gerada fora dos padrões pré-estabelecidos.

Com isto, pode-se obter o fator qualidade através da razão entre a energia gerada dentro dos padrões de qualidade ( $E_q$ ) pela energia elétrica total produzida ( $E_{tot}$ ). O processo é indicado na Equação 6.

$$Q_{CGH} = \frac{E_q}{E_{tot}} * 100\% \quad (6)$$

Sendo:

$Q_{CGH}$  é o fator Qualidade;

$E_q$  é a energia dentro dos padrões de qualidade;

$E_{tot}$  é a energia gerada total.

Conforme estudo e análise de uma CGH, existe a possibilidade de não haver registros de leitura de todos os itens mencionados no PRODIST. Assim, para definir-se a qualidade da energia gerada, utilizam-se os dados disponíveis e que melhor se adequam ao mencionado no documento da ANEEL.

#### 4.4 ÍNDICE OEE DA USINA

Obtidos os valores de Disponibilidade, Performance e Qualidade da CGH estudada, obtêm-se o valor de eficiência da usina, denominado  $OEE_{CGH}$ . A partir da Equação 1 citada anteriormente, obtemos a expressão através da multiplicação dos três fatores apresentados, segundo a Equação 7.

$$OEE_{CGH} = D_{CGH} * P_{CGH} * Q_{CGH} \quad (7)$$

Sendo:

$OEE_{CGH}$  é o índice de eficácia da CGH;

$D_{CGH}$  é o fator Disponibilidade da CGH;

$P_{CGH}$  é o fator Performance da CGH;

$Q_{CGH}$  é o fator Qualidade da CGH.

Durante a determinação e cálculo dos fatores que compõem o  $OEE_{CGH}$ , é possível verificar quais são os motivos que resultam na queda dos valores de Disponibilidade, Performance e Qualidade, diminuindo assim o valor do índice de eficiência da unidade.

Em outras palavras, é possível determinar, através da correta análise dos dados obtidos, as causas e acontecimentos que resultam em perdas no processo de geração de energia elétrica.

Estas conclusões são de suma importância, pois além da necessidade de conhecimento da eficiência do processo de geração da usina, ou seja, o valor calculado do  $OEE_{CGH}$ , é necessário saber quais fatores reduzem a produção de energia. Somente com a compreensão das circunstâncias que comprometem o processo produtivo é possível trabalhar para reduzi-los, ampliando assim a geração.

#### 4.5 ESTUDO DE CASO CGH “A”

A seguir, é realizado o estudo de caso de uma usina denominada CGH “A” com o objetivo de determinar o índice OEE da unidade, ou seja, a sua eficácia na geração de energia elétrica. Primeiramente, são informadas suas características, depois são indicados os tipos de dados obtidos e, por fim, será realizado o cálculo do OEE.

##### 4.5.1 Informações Gerais

A CGH estudada localiza-se na região sudoeste do estado do Paraná. Possui potência instalada de 440 kW, estando em operação desde 2011, ano em que fora concluída.

A usina produz energia elétrica a partir de dois geradores síncronos, cada um instalado em uma casa de força. O primeiro possui potência e velocidade nominal de 220 kVA e 240 rpm, respectivamente. O segundo apresenta 300 kVA e velocidade de 720 rpm. As casas de força possuem, ainda, duas turbinas Francis, uma dupla e outra simples, respectivamente.

A unidade possui subestação própria, com o objetivo de converter o nível de tensão dos geradores, de 380 V, para os 34,5 kV da rede de distribuição do local. O transformador utilizado possui potência nominal de 1250 kVA, fabricado com ligação estrela-triângulo, adequando o tipo de ligação do gerador com a rede.

#### 4.5.2 Dados

Os dados obtidos referentes à construção e operação da usina foram fornecidos pela empresa que realiza a sua manutenção. As informações coletadas incluem a potência nominal de geração, geração horária, disponibilidade horária para geração, paradas e seus motivos, valores medidos de tensão e fator de potência.

Devido às diferenças entre a capacidade de geração, e pelo fato de possibilitar uma melhor visualização do desempenho das partes da usina, decidiu-se pela análise individual por cada casa de máquinas da usina.

Assim, foi determinada a Disponibilidade, Performance e Qualidade de cada unidade da geração, calculando-se o índice OEE dos dois sistemas individualmente. Com os resultados particulares, posteriormente, é determinada a eficácia da CGH.

#### 4.5.3 Máquina 1

Seguindo a nomenclatura da própria usina, a chamada Máquina 1 gera energia elétrica através de um gerador síncrono de 220 kVA, 30 polos, velocidade nominal de 240 RPM, fator de potência de 0,9 e excitatriz estática de 110 Vcc e 28 Acc. Estas informações são referentes aos dados de fabricação do gerador, não havendo relação com a potência máxima de geração e fator de potência da Máquina 1.

Conforme definido em projeto, a primeira casa de máquinas possui capacidade máxima de geração de 183 kW. Não foi possível obter informações específicas a respeito do fato da capacidade máxima de geração ser consideravelmente inferior à potência nominal do gerador, pois não foi permitido o acesso ao projeto eletromecânico da usina.

Os dados da Máquina 1 foram analisados, organizados e sintetizados na Tabela 1.

**Tabela 1 – Dados referentes à Máquina 1**

Mês	Tempo de Operação (horas)	Tempo de Funcionamento (horas)	Capacidade Máxima de Geração (kWh)	Energia Gerada (kWh)	Energia gerada fora dos padrões de tensão (kWh)	Energia gerada fora dos padrões de Fator de Potência (kWh)
Janeiro	592	518	108.336	83.891,6	353,12	4.498,44
Fevereiro	653	359	119.499	61.197,4	0	0
Março	707	702	129.381	121.948	0	35,4046
Abril	719	716	131.577	128.648	172,027	474,375
Maio	695	693	127.185	124.994	0	531,677
Junho	576	559	105.408	100.754	169,947	0

**Fonte: Autoria própria**

O Tempo de Operação constitui-se da quantidade de horas totais em que a unidade deveria estar em funcionamento, ou seja, seu planejamento inicial de geração mensal menos a quantidade de horas em que a CGH esteve sem gerar devido a paradas planejadas. Os valores foram calculados através da Equação 2.

As paradas planejadas consistem em manutenção preventiva do gerador, da turbina e dos demais componentes que compõem a casa de máquinas. O período programado para operar representa qual deveria ser a carga horária de geração ao longo do mês.

O Tempo de Funcionamento representa a quantidade de horas em que a Máquina 1 esteve em operação. O montante foi obtido pela aplicação da Equação 3, analisando-se, ao longo de cada mês, o período total em que o gerador esteve em operação, independentemente da quantidade de energia gerada.

A Capacidade Máxima de Geração descreve o potencial de produção de energia elétrica para cada mês. Este valor é definido através da capacidade máxima de potência da Máquina 1 e da quantidade de horas programadas para a sua operação mensal. Em uma hora, a geração ideal seria de 183 kWh, valor referente à potência máxima instantânea da casa de máquinas. Assim, a Capacidade Máxima de Geração pode ser obtida pelo produto entre a geração horária ideal e a quantidade de horas programadas no mês.

Este valor retrata a performance ideal da casa de máquinas, valor que seria gerado caso não houvesse paradas não planejadas, como manutenção corretiva ou erros de operação, e o gerador operasse constantemente em seu valor máximo.

A Energia Gerada descreve a quantidade de energia elétrica, em kWh, que foi gerada mensalmente. Este número foi obtido pela soma dos valores individuais de geração horária ao longo do mês. Como pode ser observado, o montante nunca é igual à Capacidade Máxima de Geração. Isto ocorre, pois em certos momentos o gerador não opera em sua capacidade nominal, além de haver paradas não planejadas na usina.

Um dos dados disponibilizados de operação da CGH refere-se aos valores medidos das tensões de cada fase, em intervalos de uma hora. Neste período, o supervisor da usina realiza as medições instantâneas de tensão e computa, para efeito de análise horária, a média entre todos os valores medidos a cada hora de operação.

Durante a análise dos valores medidos de tensão do gerador, verificou-se um número considerável de ocasiões onde a tensão não estava de acordo com as normas do PRODIST. Descobriu-se que isto ocorreu visto que, devido a instantes onde há alguma falha operacional momentânea na usina, como sobre corrente no gerador, atuação do relé de proteção ou o acionamento do botão de emergência, a geração é interrompida, produzindo medições de tensão próximas ou iguais a zero volts.

Logo, ao realizar a média das tensões produzidas no intervalo horário, surgem valores inferiores à tensão nominal do gerador e até mesmo fora dos padrões de qualidade definidos pela ANEEL.

Assim, para determinar as ocasiões onde houve geração de energia elétrica superior ou inferior aos 5% do valor nominal de tensão, e conseqüentemente estipular a quantidade gerada neste período, foi necessário analisar os relatórios referentes às ocorrências das falhas da usina.

Após análise destes documentos, entraram na lista de Energia Gerada fora dos Padrões de Tensão somente os valores que estavam fora do padrão de qualidade e que não havia justificativas nos relatórios de ocorrências.

Na CGH em estudo, o fator de potência tem como referência o seu valor unitário, superior a margem definida pelo PRODIST de 0,92. Assim, neste caso em específico, como a usina tem sua própria referência, qualquer valor diferente deste, mesmo que respeite a norma, foi considerado fora dos padrões de qualidade.

Um dos relatórios de medição obtidos durante a coleta de dados apresenta, dentre outras informações, os períodos em que o fator de potência esteve fora do

valor de referência. Assim, para determinar a quantidade de energia produzida sem qualidade, foi necessário analisar a duração da ineficiência e a respectiva geração neste intervalo.

#### 4.5.3.1 Cálculo do OEE M1

Seguindo a metodologia proposta, foram calculados primeiramente os fatores que compõem o OEE para cada mês registrado, por meio das Equações 4, 5 e 6, sendo representados na Tabela 2.

**Tabela 2 - Valores calculados dos fatores da Máquina 1**

Mês	Disponibilidade	Performance	Qualidade
Janeiro	87,50%	77,44%	94,22%
Fevereiro	54,98%	51,21%	100%
Março	99,29%	94,25%	99,97%
Abril	99,58%	97,77%	99,50%
Maio	99,71%	98,23%	99,57%
Junho	97,05%	95,58%	99,34%

Fonte: Autoria própria

Para facilitar a visualização e análise do comportamento das grandezas calculadas, decidiu-se pela utilização de gráficos ilustrando os valores da Tabela 2.

O Gráfico 1 apresenta o fator Disponibilidade mensal da Máquina 1.

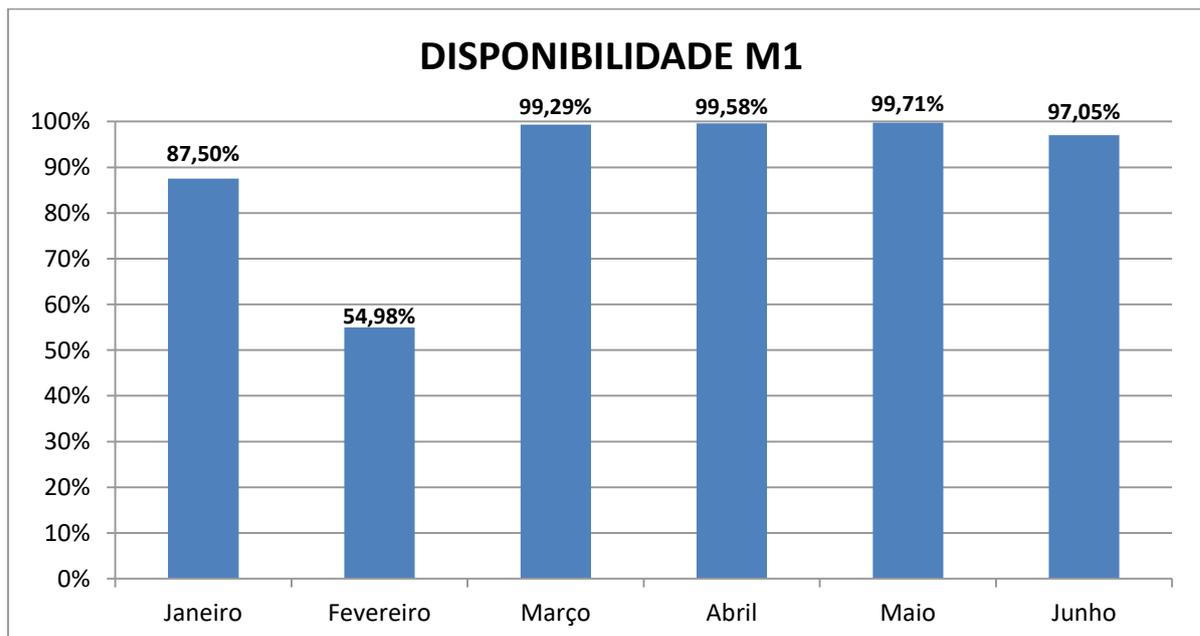


Gráfico 1 - Fator Disponibilidade da Máquina 1

Fonte: Autoria própria

O Gráfico 2 demonstra o fator Performance da Máquina 1.

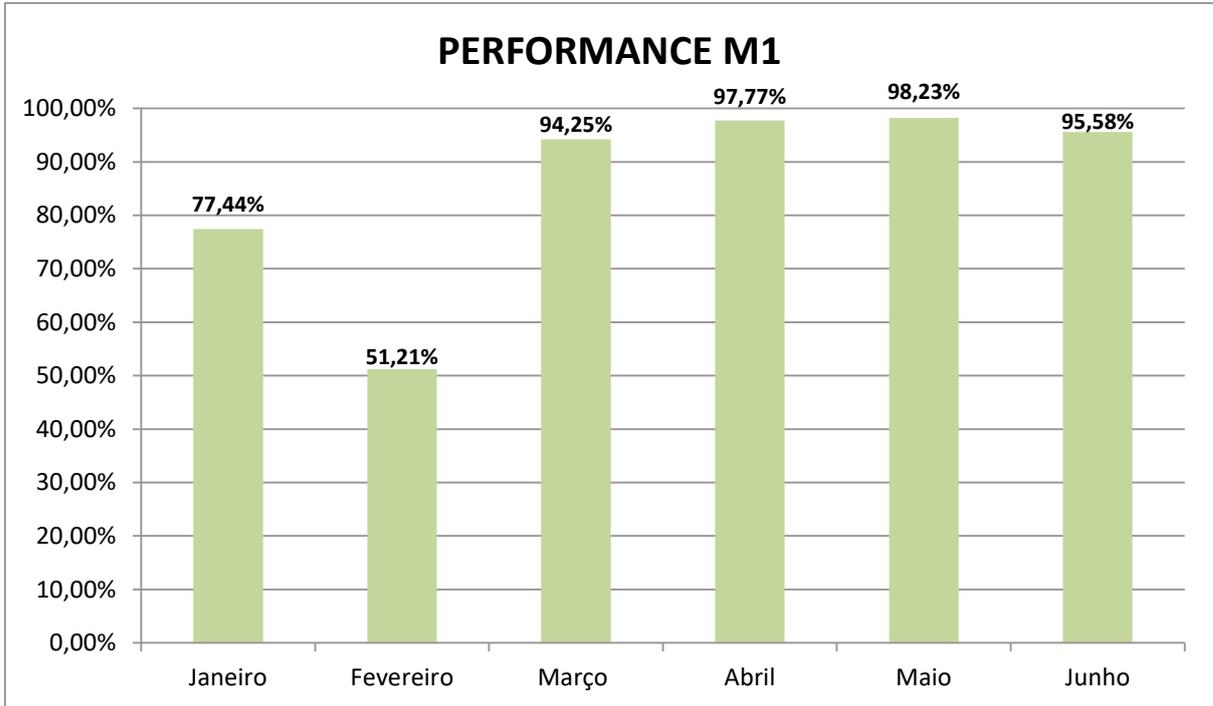


Gráfico 2 - Fator Performance da Máquina 1  
Fonte: Autoria própria

O Gráfico 3 expõe o fator Qualidade da Máquina 1.

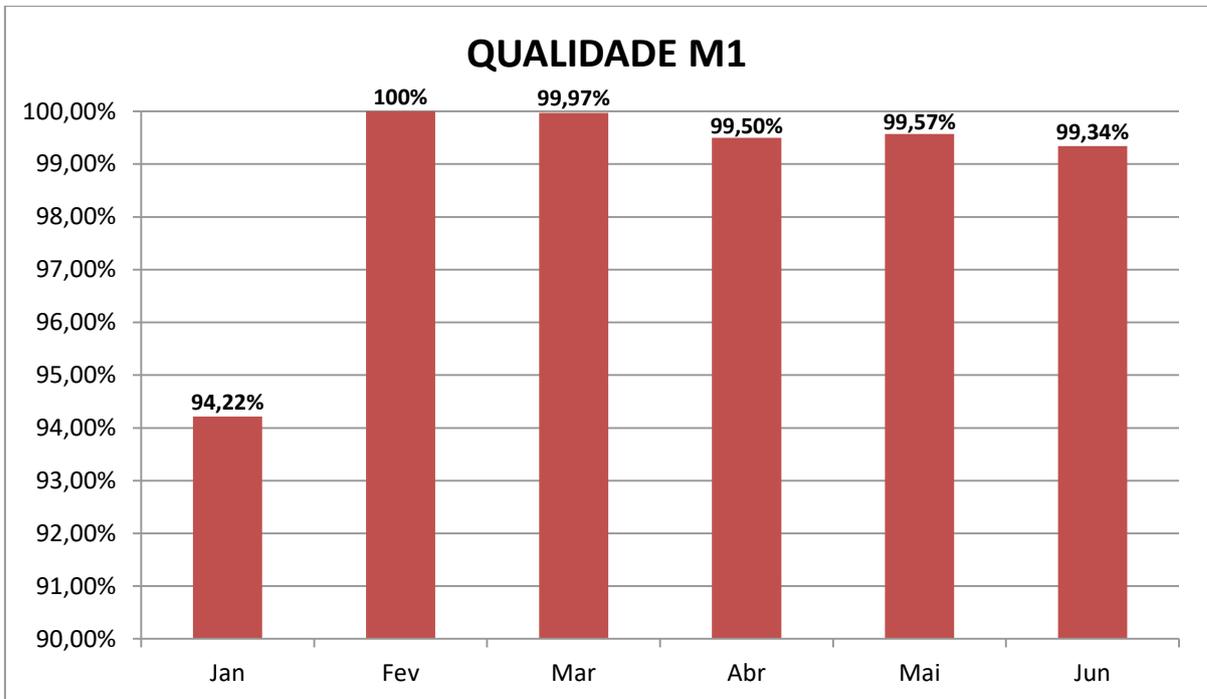


Gráfico 3 - Fator Qualidade da Máquina 1  
Fonte: Autoria própria

Mesmo contendo elevados níveis de qualidade, acima de 99% (exceto janeiro), somente no mês de fevereiro toda a energia elétrica gerada pela Máquina 1 esteve dentro dos padrões pré-estabelecidos.

Determinados os valores mensais dos três fatores, obtém-se índice de eficácia global OEE, a partir da Equação 7.

O Gráfico 4 representa o OEE da Máquina 1.

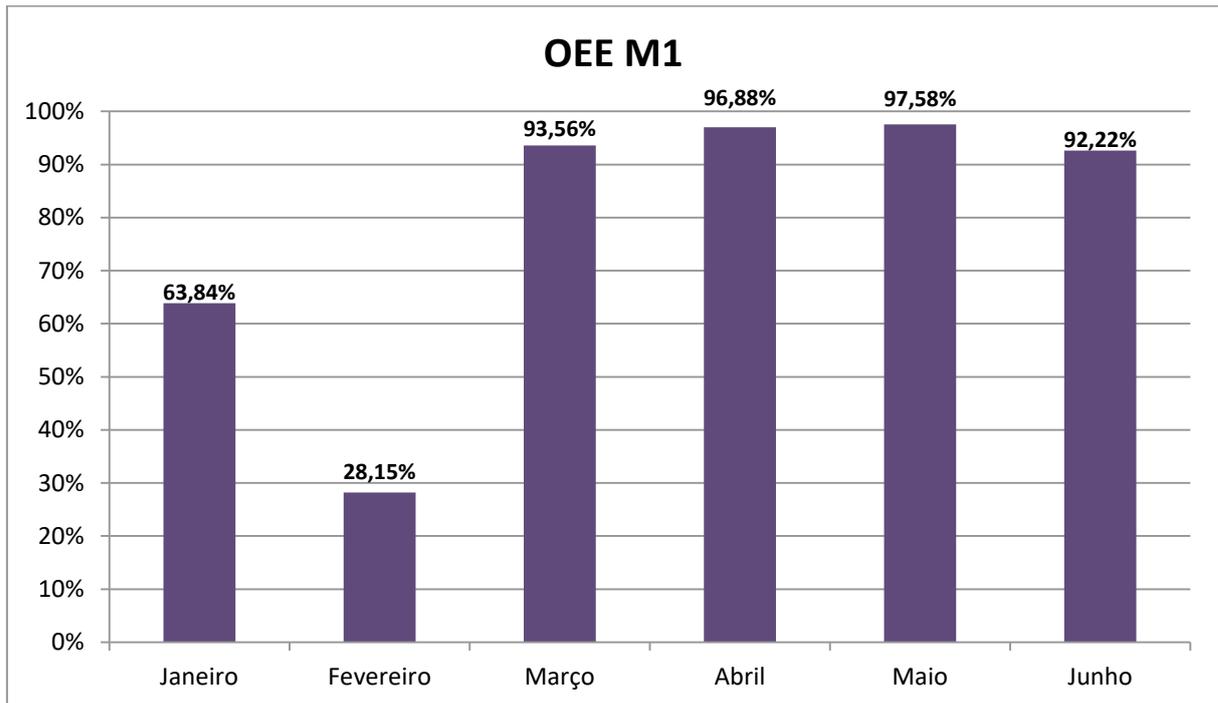


Gráfico 4 - OEE da Máquina 1  
Fonte: Autoria própria

Como se pode observar, os resultados variaram demasiadamente entre o mês de maior e menor valor do OEE. O baixo resultado referente ao mês de fevereiro reflete os reduzidos índices de Disponibilidade e Performance deste período. Os motivos dos resultados apresentados para este e outros meses serão discutidos posteriormente.

#### 4.5.4 Máquina 2

A denominada Máquina 2 dispõe de uma turbina Francis dupla e um gerador síncrono de 300 kVA, 10 polos, velocidade nominal de 720 RPM, fator de potência de 0,9 e excitatriz estática de 130 Vcc e 20 Acc. Por definição de projeto, a capacidade máxima de geração instantânea é de 213 kW. Novamente, não foi

possível o acesso ao projeto eletromecânico da casa de máquinas, não havendo assim informações a respeito da diferença significativa entre a potência de geração máxima e a potência aparente do gerador.

Os dados da Máquina 2 são apresentados na Tabela 3.

**Tabela 3 - Dados referente à operação da Máquina 2**

Mês	Tempo de Operação (horas)	Tempo de Funcionamento (horas)	Capacidade Máxima de Geração (kWh)	Energia Gerada (kWh)	Energia gerada fora dos padrões de tensão (kWh)	Energia gerada fora dos padrões de Fator de Potência (kWh)
Janeiro	373	250	79.449	36.877,8	162,50	2.343
Fevereiro	652	622	138.876	121.672	0	122,711
Março	707	683	150.591	134.665	0	95,498
Abril	719	699	153.147	139.867	145,379	539,345
Maior	695	981	148.035	135.615	104,451	549,326
Junho	576	564	122.688	110.237	275,042	0

Fonte: Autoria própria

A partir dos dados representados na Tabela 3, são definidos os fatores Disponibilidade, Performance e Qualidade da Máquina 2 mediante aplicação das Equações 4, 5 e 6. Posteriormente, calcula-se o OEE da respectiva casa de máquinas.

#### 4.5.4.1 Cálculo do OEE M2

Após análise dos dados apresentados da Máquina 2, calculou-se os fatores do OEE, sendo posteriormente determinado o índice de eficácia global. A tabela 4 apresenta os resultados dos três fatores, obtidos por meio das Equações 4, 5 e 6.

**Tabela 4 - Valores calculados dos três fatores da Máquina 2**

Mês	Disponibilidade	Performance	Qualidade
Janeiro	67,0%	46,42%	93,21%
Fevereiro	95,40%	87,61%	99,90%
Março	96,60%	89,42%	99,93%
Abril	97,22%	91,33%	99,51%
Maior	99,99%	91,61%	99,52%
Junho	97,22%	89,85%	99,28%

Fonte: Autoria própria

Novamente, os dados são apresentados em forma de gráficos para facilitar a visualização e entendimento.

O Gráfico 5 representa o fator Disponibilidade da Máquina 2.

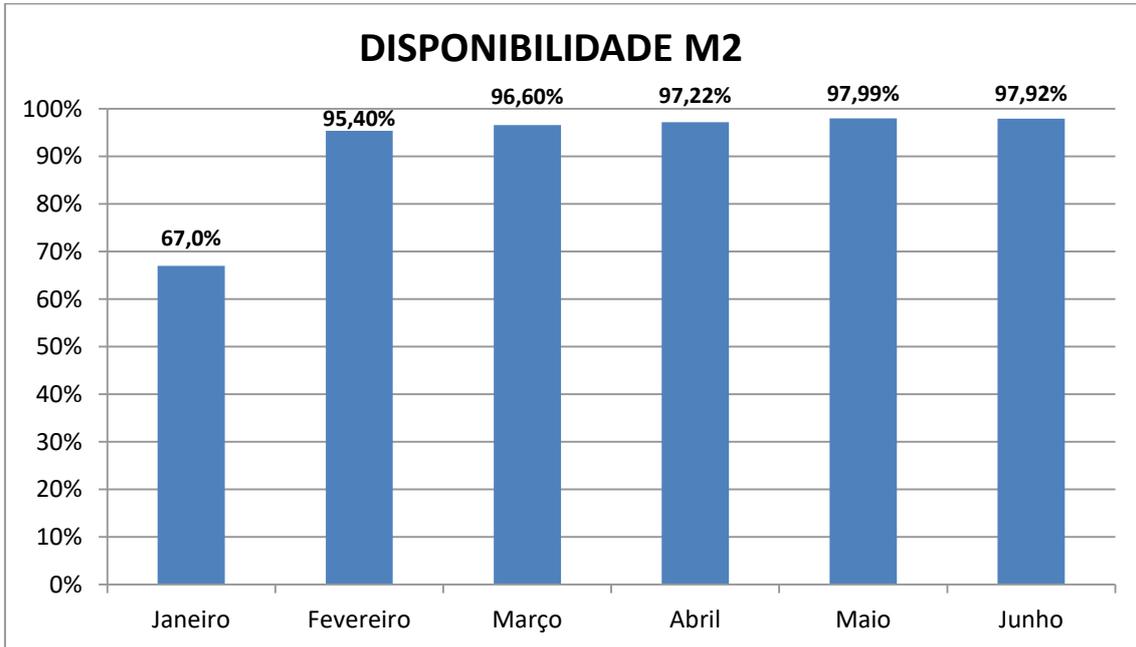


Gráfico 5 - Fator Disponibilidade da Máquina 2  
Fonte: Autoria própria

O Gráfico 6 demonstra o fator Performance da Máquina 2.

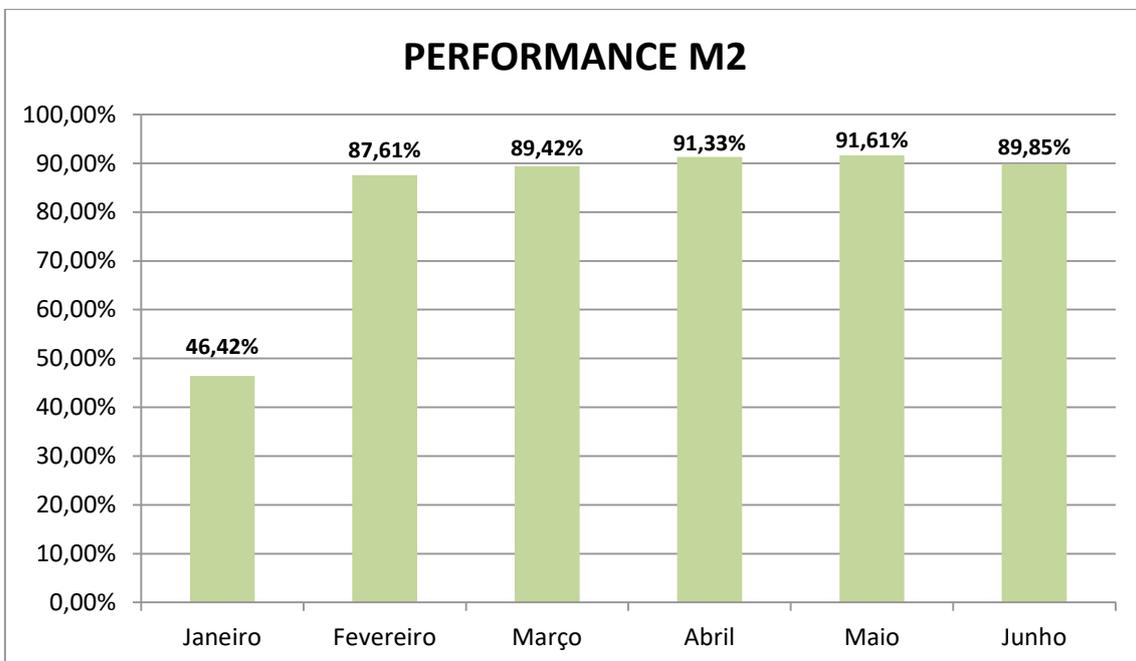


Gráfico 6- Fator Performance da Máquina 2  
Fonte: Autoria própria

O Gráfico 7 exibe o fator Qualidade da Máquina 2.

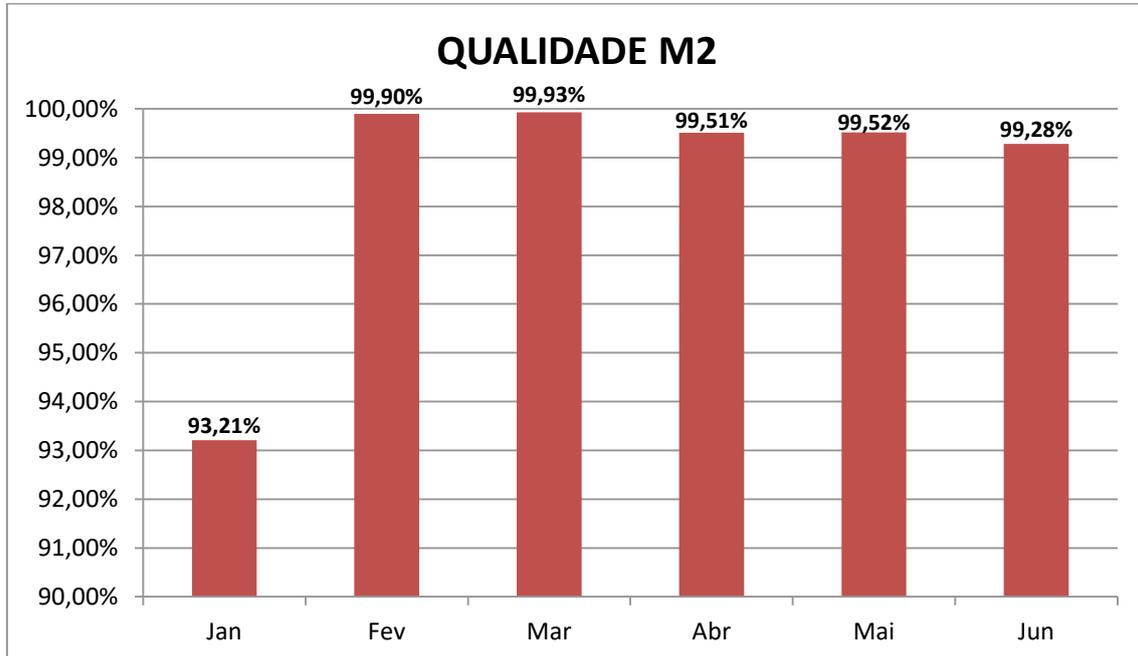


Gráfico 7 - Fator Qualidade da Máquina 2  
Fonte: Autoria própria

Computados os valores referentes aos fatores do OEE, calcula-se o índice OEE, através da Equação 7.

O Gráfico 8 apresenta o índice OEE da Máquina 2.

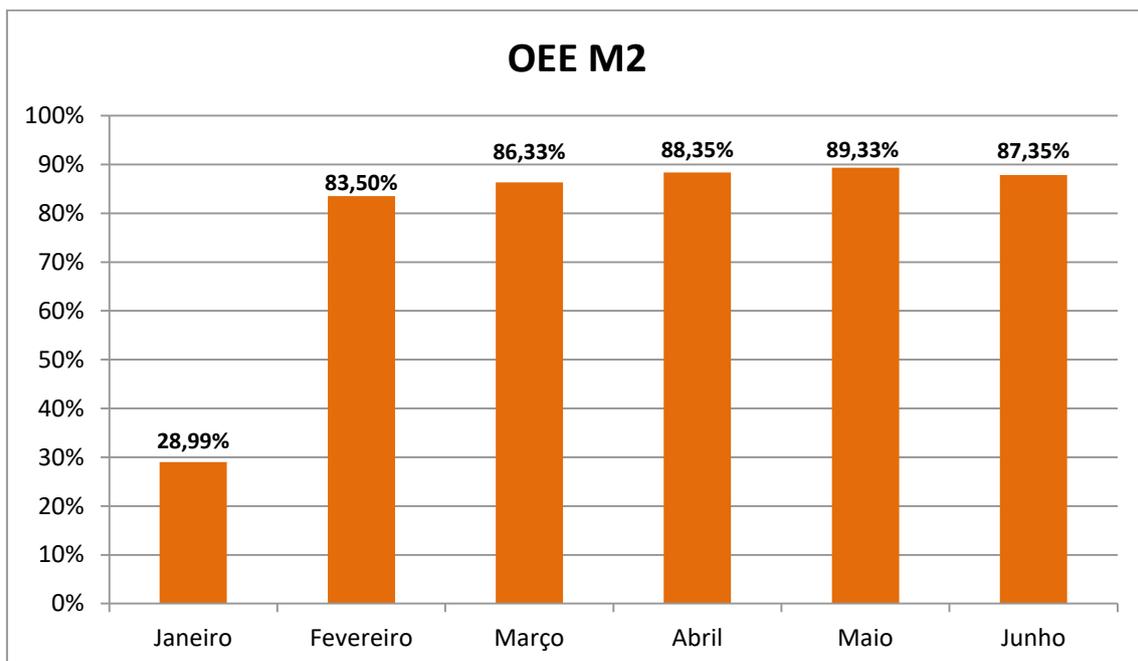


Gráfico 8 - OEE da Máquina 2  
Fonte: Autoria própria

Assim como a primeira, a Máquina 2 manifestou diferenças significativas do OEE entre certos meses. O mês de janeiro apresentou os piores valores em todos os três fatores, resultando em um índice de eficácia da casa de máquinas 2 abaixo de 30%.

#### 4.5.5 Definição dos Fatores do OEE da CGH

Definidos os valores do OEE para cada máquina, calcula-se agora o índice de eficiência da CGH como um todo. Logo, faz-se necessário obter o montante de cada fator que compõe o OEE, desta vez da usina como um todo.

Visto que a capacidade de geração de cada casa de máquinas é diferente (183 kW e 213 kW), realizou-se uma média ponderada de cada valor mensal calculado, para cada um dos três fatores do índice OEE, dando-se uma maior importância à Máquina 2.

Os resultados são representados na Tabela 5.

**Tabela 5 - Valores calculados dos fatores do OEE da CGH**

Mês	Disponibilidade	Performance	Qualidade
Janeiro	76,49%	60,75%	93,67%
Fevereiro	76,72%	70,79%	99,95%
Março	97,85%	91,66%	99,95%
Abril	98,31%	94,31%	99,50%
Maio	98,78%	94,69%	99,54%
Junho	97,52%	92,50%	99,56%

**Fonte: Autoria própria**

#### 4.5.6 Cálculo do OEE da CGH

Definidos os valores dos fatores do OEE da usina, calcula-se o OEE da CGH, através do produto dos três termos, conforme a Equação 7.

O Gráfico 9 representa o índice de eficácia global da CGH estudada.

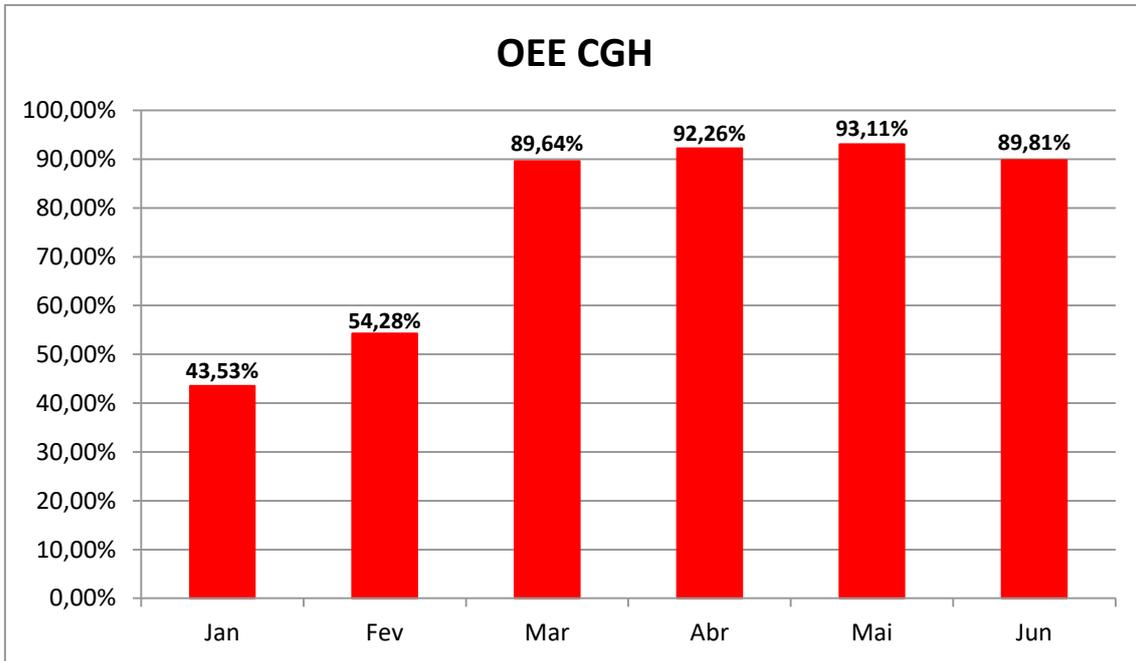


Gráfico 9 - OEE da CGH  
Fonte: Autoria própria

Como o OEE da CGH é definido a partir dos valores obtidos de Disponibilidade, Performance e Qualidade da usina, sendo estes proporcionais aos três fatores de cada máquina da unidade, há uma relação direta entre o OEE da usina com o índice de eficácia de cada casa de máquinas.

O Gráfico 10 demonstra a relação entre os três índices.

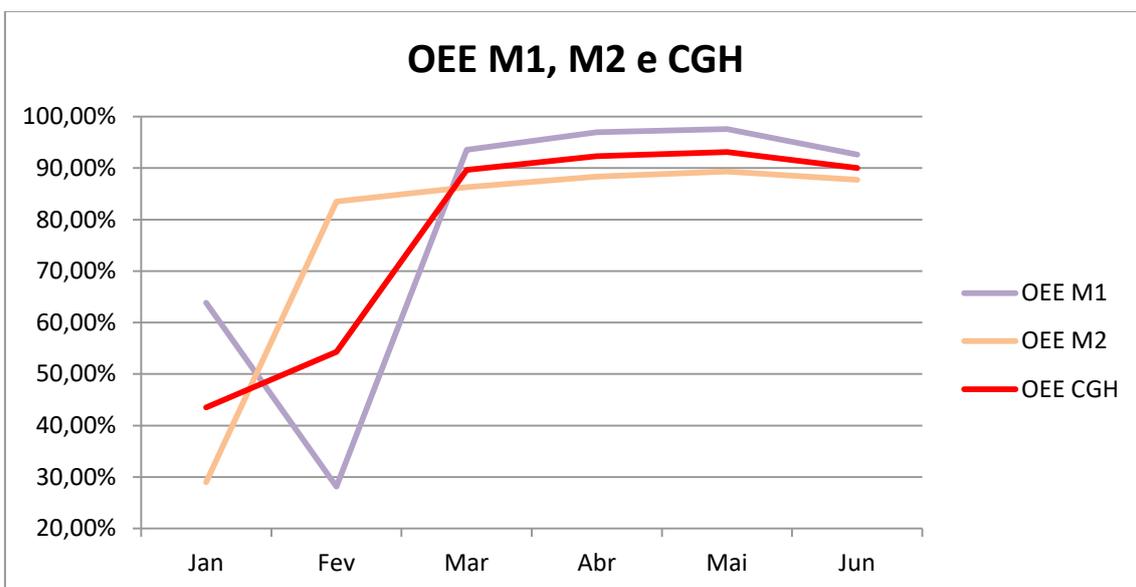


Gráfico 10 - Relação entre OEE da CGH com M1 e M2  
Fonte: Autoria própria

Como as duas máquinas podem ser vistas como gerações operando em paralelo, o seu resultado, ou seja, o OEE da usina, apresenta grandeza próxima a média entre os dois valores individuais.

#### 4.5.7 Paradas e Perdas na Produção

Conforme observado durante o cálculo do OEE da usina, alguns meses apresentaram baixos índices de Disponibilidade, Performance e/ou Qualidade. Em vista disso, foi realizada busca de informações junto aos operadores para identificar os motivos, concluindo-se que ocorrem devido a fatores que impactam diretamente a produção de energia elétrica, os quais serão discutidos a seguir.

A principal causa de baixa performance da CGH, nos meses de janeiro e fevereiro, foi o baixo nível do leito do rio. A falta de água, além de ocasionar geração inferior ao valor nominal, em determinados momentos foi insuficiente para alimentar os dois geradores ao mesmo tempo. Como resultado, houve intercalação na interrupção da geração nas casas de máquinas.

A medida adotada pelos operadores da usina permite à casa em funcionamento uma geração próxima ao seu valor nominal, enquanto a outra se mantém parada. Todavia, o fato de possuir um gerador sem funcionar durante longos períodos resulta em uma queda acentuada no fator disponibilidade e, conseqüentemente, no desempenho da máquina.

No mês de janeiro, chuvas torrenciais comprometeram a estrutura de alguns postes da CGH. Por este motivo, houve o desligamento da usina por dois dias consecutivos, com o objetivo de realizar os reparos necessários.

Além destes casos, as falhas de operação das máquinas foram outras causas que levaram a perdas na geração. Embora tais paradas normalmente não apresentassem longos períodos de duração, ocorreram inúmeras vezes ao longo do tempo analisado para o estudo, comprometendo a eficiência da CGH.

Dentre as falhas que acometeram a geração de energia elétrica na usina, destacam-se os erros na malha do distribuidor (referentes a falhas de leitura e regulação do percentual de abertura da válvula que regula a vazão de água que irá para a turbina), erros na malha de potência (relacionados a falhas na regulação da injeção de tensão e corrente no rotor do gerador), sobrecorrente no gerador, defeito

elétrico no disjuntor de acoplamento (falhas nos dispositivos de proteção da usina), sobretensão no gerador, dentre outros.

Outro motivo que afetou em demasia a produção de energia foi a falta de tensão trifásica na linha de distribuição a qual a CGH está conectada. A falta, mesmo sendo externa a usina, foi a circunstância que provocou paradas na geração que mais ocorreu no período analisado, principalmente entre o fim de fevereiro e início de junho.

Devido à presença de elevada vegetação nativa, a rede rural apresenta maiores índices de falta em relação à rede urbana. Ainda, em consequência da quantidade reduzida de consumidores, o período de espera até a normalização da rede é superior comparado à linha urbana.

Isto ocorre devido a programação de atuação dos religadores automáticos, onde o tempo de disparo do dispositivo de proteção contra faltas é superior nas redes rurais. Caso a falta seja permanente, o religador é travado, deixando o circuito aberto.

Nestes casos, há necessidade de comparecimento de funcionários da companhia ao local para recuperar a linha e efetuar o seu religamento. Em virtude de maiores distâncias entre a concessionária e as localidades rurais, leva-se mais tempo para realizar os reparos necessários na linha.

A falta de tensão na rede, pelo fato de abrir o circuito de distribuição, interrompeu a geração na CGH, normalmente por várias horas consecutivas. Não obstante, durante o retorno de funcionamento do gerador após correção da falta, ocorreram casos onde houve demora a se reajustar o fator de potência para o valor de referência.

Logo, a falta de tensão na linha impactou diretamente nos três fatores do OEE, contribuindo significativamente para a queda do índice de eficácia da CGH.

#### 4.5.8 Análise dos Resultados

A separação da análise para cada uma das casas de máquinas proporcionou uma melhor visualização do comportamento da CGH, assim como permitiu observar os impactos de cada uma na geração de energia elétrica.

Logo nos dois primeiros meses de estudo, é possível perceber a grande diferença na Disponibilidade das Máquinas 1 e 2. O baixo percentual apresentado deste fator na Máquina 2 (67%), no mês de janeiro, contribuiu para uma queda significativa na Disponibilidade da CGH.

Já no mês de fevereiro, mesmo a Máquina 1 apresentando menos de 55% de Disponibilidade, o fato da casa 2 ter apresentado um elevado percentual, acima de 95%, resultou em um valor de Disponibilidade superior ao mês anterior (aumento de 0,23%).

A explicação se deve ao fato de que a Máquina 2 apresenta uma capacidade de geração de energia maior que a Máquina 1, portanto influenciando mais na quantidade de energia gerada na usina. Isto pode ser observado na comparação do OEE dos meses de janeiro e fevereiro. Mesmo possuindo valores iguais de Disponibilidade da CGH, o resultado do OEE de fevereiro é quase 11% maior do que o mês anterior, devido aos bons resultados apresentados dos três fatores do índice pela segunda casa de máquinas.

Um ponto de destaque foi a produção de energia abaixo dos valores esperados, e até mesmo o desligamento das Máquinas em alguns momentos, devido ao baixo nível do rio nos meses de janeiro e fevereiro. De maneira geral, estes são dois dos meses com maior previsão de chuva durante o ano, com níveis de precipitação superiores à média na região, ocasionando, portanto uma queda de geração inesperada no período.

O fator Qualidade da CGH teve pouco impacto no resultado do índice. Quando as máquinas estavam em funcionamento, foram poucos os momentos onde houve geração de energia fora dos padrões, resultando em valores iguais ou superiores a 99,5% de Qualidade em cinco dos seis meses analisados. Somente o mês de janeiro apresentou um desvio significativo em relação aos outros meses, entregando o valor de 93,6%.

Por sua vez, o fator Disponibilidade apresentou importância fundamental para com o OEE da usina. De maneira geral, exceto nos momentos onde houve baixo nível do rio, a CGH foi capaz de produzir valores de energia elétrica próximos ao esperado, contribuindo para com o seu desempenho. Com isto, foi possível observar que um aumento nos períodos onde a usina esteve parada impactou significativamente na queda do fator Performance. Isso aconteceu, pois nos

momentos de paradas não planejadas, a usina não conseguiu produzir o montante planejado naquele período, afastando-se assim do valor máximo de produção.

Outro ponto importante refere-se a diferença de resultados do OEE das duas casas de máquinas. Excluindo-se os meses de janeiro e fevereiro, onde houve revezamento na geração devido ao baixo nível do leito do rio, o índice de eficácia das casas de máquinas foi relativamente elevado, porém com certa diferença.

Enquanto a Máquina 1 apresentou os valores máximos de 96,8% e 97,5% (em abril e maio, respectivamente), a Máquina 2 atingiu somente 88,3% e 89,3% neste mesmo período. Isto ocorreu, pois a segunda casa apresentou valores inferiores dos três fatores do OEE nos dois meses destacados, exceto a Qualidade em abril, onde houve quantidades aproximadamente iguais.

As diferenças entre os valores apresentados das Máquinas 1 e 2 não limitaram-se somente aos valores máximos do índice OEE. Com exceção de fevereiro, a primeira casa de máquinas apresentou valores significativamente superiores de Performance em relação a segunda casa. A maior diferença pode ser vista no mês de maio, com variação superior a 6,5% entre ambas.

Por motivos de projeto ou operação, a Máquina 2 não gerou proporcionalmente tanto quanto a Máquina 1. No mês de junho, por exemplo, a segunda casa teve valores de Disponibilidade próximos, porém superiores, aos da primeira (97,9% contra 97%). Mesmo gerando durante mais tempo, a Máquina 2 teve desempenho inferior, alcançando 89,8% de Performance, contra 95,6% da Máquina 1.

Uma hipótese para a explicação desta divergência se baseia no percentual de abertura da válvula do distribuidor. Foi possível observar, através dos relatórios estudados, que a válvula da primeira casa possui um percentual de abertura entre 90% e 99% no momento de sua geração máxima. Já a Máquina 2 apresentou valores máximos de 59,4% de abertura do distribuidor. Não foi possível descobrir os motivos que justificam o baixo percentual de abertura, porém percebe-se uma parcela considerável de energia cinética que deixa de ser utilizada devido a não abertura total da válvula, limitando a geração.

A CGH apresentou níveis de eficiência relativamente elevados (acima de 89%) em quatro dos seis meses estudados, contudo apresentou diferenças significativas em seus percentuais, principalmente nos dois primeiros meses. A

diferença entre o maior índice calculado, obtido no mês de maio, e o menor percentual (fevereiro) foi de 49,6%, valor extremamente elevado.

A diferença pode ser explicada com o nível reduzido de água em fevereiro, fato este que não ocorreu em maio. Comparando somente os meses onde não houve falta de água, a maior diferença entre os valores mensais do OEE cai para aproximadamente 3,5%, em relação aos meses de março e maio.

Outro dado importante está relacionado à diferença entre as potências nominais dos geradores síncronos e suas potências máximas de geração durante a operação na CGH. Somando-se suas potências aparentes, obtém-se 520 kVA, valor distante dos 396 kW representados pela soma das potências máximas de geração de cada máquina, sendo 183 kW e 213 kW (neste caso, só é possível realizar a comparação entre as diferentes grandezas - potência aparente e potência ativa - devido a usina possuir referência para fator de potência igual a um, onde a potência aparente é igual a potência ativa).

Parte da explicação para esta diferença baseia-se na potência outorgada da CGH. Em seu projeto, foram definidos 440 kW de potência instalada para a usina, valor divergente da capacidade dos geradores utilizados, limitando a utilização dos mesmos.

Contudo, a soma dos valores máximos de geração, de 396 kW, é inferior a potência instalada da CGH, resultando em uma diferença de 44 kW, havendo então uma capacidade ociosa de geração de energia elétrica. Infelizmente, devido a não obtenção do projeto eletromecânico da usina para análise, os motivos para esta diferença de potências não puderam ser explicados somente com as informações obtidas para este trabalho.

## 5. CONCLUSÕES

O desenvolvimento do índice OEE para aplicação em CGH's permitiu uma forma alternativa de acompanhamento da eficácia de geração deste tipo de usina hidrelétrica, tão numerosa em nosso país.

No presente estudo, foi possível acompanhar mensalmente os percentuais apresentados dos três fatores do OEE da usina em pesquisa. Com os valores calculados de Disponibilidade, Performance e Qualidade da CGH, foi possível uma melhor visualização de seu desempenho, assim como os motivos que levaram à limitações em sua geração.

Foi possível observar, dentre outros fatores, a divergência de Disponibilidade e, principalmente, Performance das duas casas de máquinas da CGH. Devido a sua maior capacidade de geração e menor desempenho apresentado, recomendam-se melhores observações e possíveis estudos na Máquina 2, com o objetivo de torná-la mais eficiente, elevando a geração de energia elétrica da usina.

Realizados os cálculos mensais do OEE da CGH, foi possível observar a variação dos fatores do índice, assim como a sua eficácia durante o período analisado. Concluiu-se que os meses de menor eficiência foram justamente onde houve baixo nível do rio, gerando-se energia conforme a capacidade do reservatório.

Com base nos resultados apresentados, constatou-se o efeito reduzido do fator Qualidade nos valores finais de eficácia da usina. Devido à baixa produção de energia elétrica fora dos padrões pré-definidos por norma e pela própria unidade (em comparação a produção total), a maior influência deste fator no OEE da CGH foi inferior a 3% no mês de janeiro, e praticamente inexistindo nos meses seguintes. Logo, conclui-se que a eficiência da usina estudada é totalmente dependente de sua Disponibilidade e Performance.

Exceto nos meses onde houve falta de água, foi possível observar que a usina apresentou eficiência relativamente elevada, mantendo o índice superior a 89% ao longo de quatro meses. Em abril e maio, meses de melhor desempenho, o resultado sob a ótica do OEE foi ainda melhor, sendo superior a 92% de eficácia.

Em relação às perdas encontradas, foi possível observar que uma parcela está relacionada a questões pluviométricas, impactando diretamente os níveis do leito dos rios e conseqüente capacidade de geração. Ainda, houve paradas devido à ocorrência de faltas na rede de distribuição local, não estando estas perdas sujeitas ao planejamento e controle da parte dos operadores da usina.

O outro conjunto de perdas está diretamente relacionada a operação da usina. A quantidade significativa de paradas não planejadas para correção de defeitos nos equipamentos impactou diretamente na queda de eficiência da unidade.

Os erros e falhas apresentados durante o período de estudo demonstram a necessidade de um maior foco em realização de manutenções preventivas e estudos para redução de tais paradas, permitindo assim um aumento de sua eficiência e conseqüente rentabilidade.

Para estudos futuros, poderiam ser utilizadas diferentes CGH's, a fim de calcularem-se suas eficiências e até mesmo compará-las, analisando diferentes tipos de operação e detecção de possíveis outros tipos de perdas na geração, buscando um melhor aproveitamento de seus potenciais hídricos. Ainda, no fator Qualidade, seria pertinente analisar, caso houvesse, outros tipos de dados além de tensão e fator de potência, com o objetivo de obterem-se melhores conclusões conforme as definições de qualidade de energia descritas no PRODIST.

## REFERÊNCIAS

ANEEL. **Capacidade de Geração do Brasil.** Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>>. Acesso em 26 mar 2019.

\_\_\_\_\_. **Geração Distribuída.** Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/geracao-distribuida>>. Acesso em: 19 mar 2019.

\_\_\_\_\_. **Resolução normativa nº 482, de 17 de abril de 2012.** Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>>. Acesso em: 17 mar 2019.

\_\_\_\_\_. **Procedimentos de distribuição de energia elétrica no sistema elétrico nacional - Prodist. Módulo 8 - Qualidade da energia elétrica.** Disponível em: <[http://www.aneel.gov.br/documents/656827/14866914/M%C3%B3dulo\\_8-Revis%C3%A3o\\_10/2f7cb862-e9d7-3295-729a-b619ac6baab9](http://www.aneel.gov.br/documents/656827/14866914/M%C3%B3dulo_8-Revis%C3%A3o_10/2f7cb862-e9d7-3295-729a-b619ac6baab9)>. Acesso em 27 ago 2019.

ASSEMBLEIA LEGISLATIVA DO ESTADO DO PARANÁ. **CCJ aprova projeto do Executivo que autoriza construção de empreendimentos hidrelétricos.** Disponível em: <<http://www.alep.pr.gov.br/divulgacao/noticias/ccj-aprova-projeto-do-executivo-que-autoriza-construcao-de-empreendimentos-hidreletricos>>. Acesso em: 08 mar 2019.

BRASIL. **Potencial Hidrelétrico Brasileiro está entre os cinco maiores do mundo.** Governo do Brasil. Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/noticias/infraestrutura/2011/12/potencial-hidreletrico-brasileiro-esta-entre-os-cinco-maiores-do-mundo>>. Acesso em: 25 mar 2019.

BUSSO, C. M.; MIYAKE, D. I.. **Análise da aplicação de indicadores alternativos ao Overall Equipment Effectiveness (OEE) na gestão do desempenho global de uma fábrica.** Prod., São Paulo, v. 23, n. 2, p. 205-225, Jun 2013. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0103-65132013000200001&lang=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-65132013000200001&lang=pt)>. Acesso em 31 mar 2019.

DENNIS, P.. **Produção Lean Simplificada: Um guia para entender o sistema de produção mais poderoso do mundo.** Porto Alegre. Bookman, 2008.

GIL, A. C.. **Como elaborar projetos de pesquisa.** São Paulo. Atlas, 2018.

GREENPEACE. **Revolução energética mostra como Brasil dará adeus às fontes fósseis de energia.** Disponível em: <<https://www.greenpeace.org/brasil/publicacoes/revolucao-energetica-mostra-como-o-brasil-dara-adeus-as-fontes-fosseis-de-energia/>>. Acesso em: 10 mar 2019.

HANSEN, R. C. **Overall Equipment Effectiveness: A Powerful Production/Maintenance Tool for Increased Profits.** New York. Industrial Press, 2002.

MEGIOLARO, M. R. de O.. **Indicadores de manutenção industrial relacionados à eficiência global de equipamentos.** 2015. 87 folhas. Trabalho de conclusão de curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2015.

NAKAJIMA, S.. **Introduction to TPM.** Tradução de TPM Nyomon. Madrid. Tecnologias de Gerencia y Producción, S. A., 1989.

ONS. **Capacidade Instalada no SIN – 2018/2023.** Disponível em: <<http://ons.org.br/paginas/sobre-o-sin/o-sistema-em-numeros>>. Acesso em: 26 mar 2019.

Planalto. **Lei Nº 9.074, de 7 de julho de 1995.** Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/LEIS/L9074cons.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9074cons.htm)>. Acesso em: 05 mar 2019.

SAMPAIO, L. M. B.; RAMOS, F. S.; SAMPAIO, Y.. **Privatização e eficiência das usinas hidrelétricas brasileiras.** Econ. Apl., Ribeirão Preto, v. 9, n. 3, p. 465-480, Set. 2005. Disponível em <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1413-80502005000300007](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-80502005000300007)>. Acesso em: 31 mar 2019.

SILVA, J. P. A. R.. **A forma de medir a eficácia dos equipamentos.** 2009. Disponível em: <<http://pt.scribd.com/doc/15122575/OEE-A-FORMA-DE-MEDIR-A-EFICACIA-DOS-EQUIPAMENTOS>>. Acesso em: 31 mar 2019.