

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETROTÉCNICA  
ESPECIALIZAÇÃO EM ENGENHARIA DA CONFIABILIDADE**

**THIAGO MARTINS DEL VECCHIO SAMPAIO**

**AVALIAÇÃO DA AUTOMAÇÃO DOS PROCESSOS OPERACIONAIS  
DE UM CENTRO DE OPERAÇÃO DA GERAÇÃO**

**MONOGRAFIA DE ESPECIALIZAÇÃO**

**CURITIBA**

**2019**

**THIAGO MARTINS DEL VECCHIO SAMPAIO**

**AVALIAÇÃO DA AUTOMAÇÃO DOS PROCESSOS OPERACIONAIS  
DE UM CENTRO DE OPERAÇÃO DA GERAÇÃO**

Monografia apresentada como requisito parcial para a obtenção do título de Especialista em Engenharia da Confiabilidade, do Departamento Acadêmico de Eletrotécnica, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Rodrigues

**CURITIBA**

**2019**



---

## **TERMO DE APROVAÇÃO**

### **AVALIAÇÃO DA AUTOMAÇÃO DOS PROCESSOS OPERACIONAIS DE UM CENTRO DE OPERAÇÃO DA GERAÇÃO**

por

**THIAGO MARTINS DEL VECCHIO SAMPAIO**

Esta monografia foi apresentada em 04 de novembro de 2019, como requisito parcial para obtenção do título de Especialista em Engenharia da Confiabilidade, outorgado pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. O aluno foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

---

Prof. Marcelo Rodrigues, Dr.  
Professor Orientador - UTFPR

---

Prof. Emerson Rigoni Dr. Eng.  
Membro Titular da Banca - UTFPR

---

Prof. Wanderson Stael Paris, MSc.  
Membro Titular da Banca - UTFPR

## **AGRADECIMENTOS**

Ao meu orientador, pelas sugestões e paciência.

Aos meus familiares, pelo incentivo e apoio.

À instituição, pela oportunidade.

À empresa pelo aprendizado no período que lá trabalhei e pelos dados fornecidos para a pesquisa.

## RESUMO

SAMPAIO, Thiago Martins Del Vecchio Sampaio. **Avaliação da automação dos processos operacionais de um Centro de Operação da Geração**. 2019. 58f. Monografia (Especialização em Engenharia da Confiabilidade) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2019.

O Setor Elétrico Brasileiro (SEB) segue atualmente o Novo Modelo trazido ao país com a intenção de fornecer menos riscos de racionamento à população. Neste contexto, a confiabilidade do sistema se faz essencial à redução de falhas que, na prática, recaem sobre a população. Com base nisso, o presente trabalho objetivou analisar o modelo de automação aplicado aos processos operacionais de uma empresa do setor elétrico, desde o ano de 2018, a partir do conceito de confiabilidade humana. Para o alcance dos objetivos, determinou-se uma metodologia aplicada, com abordagens qualitativa e quantitativa, por meio da investigação em campo através de um estudo de caso na empresa. Os procedimentos técnicos adotados pautaram-se em: (i) revisão bibliográfica sobre confiabilidade humana e falhas humanas, (ii) pesquisa documental; (iii) e pesquisa sistemática. A técnica de coleta de dados se dá através de observação direta e monitoramento do processo, da avaliação de documentos da empresa e da análise do banco de dados da automatização dos processos rotineiros nas usinas de geração da empresa. Por fim, conclui-se que a automação é extremamente importante para a redução de falhas no processo de geração de energia, porém essa ainda é pouco utilizada no Brasil para este fim.

**Palavras-chave:** SEB. Confiabilidade Humana. Geração de Energia.

## **ABSTRACT**

SAMPAIO, Thiago Martins Del Vecchio Sampaio. **Evaluation of the operational process automation of a Generation Operation Center**. 2019. 58f. Monografia (Especialização em Engenharia da Confiabilidade) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2019.

The Brazilian Electricity Sector (SEB) currently follows the New Model brings to the country with an intention to provide less relationship risks to the population. In this context, a control system that makes fault reduction essential in practice recovers the population. Based on this, the present work aims to analyze the automation model applied to electric company operational processes, since 2018, from the concept of human vulnerabilities. To achieve the objectives, determine an applied methodology, with qualitative and quantitative approaches, through field research using a case study at company. The technical procedures adopted were based on: (i) literature review on human problems and human failures, (ii) documentary research; (iii) and systematic research. A data collection technique provides direct observation and process monitoring, evaluation of company documents and analysis of the routine process automation database at the company's generation plants. Finally, conclude that automation is extremely important for reducing failures in the power generation process, but this is still little used in Brazil for this purpose.

**Palavras-chave:** SEB. Human reliability. Power generation.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1-1 – Linha do tempo do Setor Elétrico Brasileiro .....	10
Figura 1-2 – Estrutura Organizacional do COG.....	11
Figura 1.4-1 – Resumo dos procedimentos metodológicos da pesquisa .....	17
Figura 2-1 – Classificação das falhas humanas .....	20
Figura 2-2 – Classificação das causas dos erros humanos .....	21
Figura 2-3 – Classificação das causas dos erros humanos .....	22
Figura 3.2-1 – Fluxograma da classificação das falhas de descalibração dos sensores.....	30
Figura 3.2-2 – Fluxograma da falha de descalibração dos sensores .....	31
Figura 3.2-3 – Fluxograma da falha de comunicação entre Usina e o Centro de Operações.....	32
Figura 3.2-4 – Fluxograma da falha de comunicação entre Usina e o Centro de Operações.....	32
Figura 3.2-5 – Fluxograma da falha no P.I. System .....	33
Figura 3.2-6 – Fluxograma da falha no hardware.....	34
Figura 3.2-7 – Fluxograma da falha humana dos valores digitais .....	34
Figura 3.4-1 – Fluxograma da falha na leitura das variáveis .....	37
Figura 3.4-2 – Fluxograma da falha no link de comunicação .....	38
Figura 3.4-3 – Fluxograma da falha no P.I. System .....	38
Figura 3.4-4 – Fluxograma da falha na verificação do PDG.....	39
Figura 4.1-1 – Planilha de controle hidráulico manual.....	41
Figura 4.1-2 – Relação percentual do tempo gasto com atividades burocráticas (outras) para coleta de dados e envio dos mesmos às autoridades competentes, considerando uma jornada de trabalho de oito horas diárias .....	42
Figura 4.2-1 – Lógica de programação utilizada para imputar os dados no PI System, garantindo a dependência hierárquica das medições .....	44
Figura 4.1-2 – E-mail padrão encaminhado atores competentes no envolvimento da geração de energia .....	45
Figura 4.2-3 – Página do PI System acessada pelos atores envolvidos no processo de controle hidráulico, contendo dados atualizados constantemente e automaticamente.....	46

Figura 4.2-4 – Gráfico das variáveis utilizadas para o controle hidráulico, com medições automáticas pelo PI System medidas hora a hora .....	47
Figura 4.2-5 – Gráfico de ampla visualização da geração de energia em uma usina geradora, ao longo do dos dias mensais, elaborado automaticamente pelo PI System e que indicam as os desvios ocorridos pelo que é produzido e o que se prevê produzir .....	48
Figura 4.3-1 – Lógica de programação utilizada para imputar os dados no PI System, garantindo a dependência hierárquica das medições .....	49
Figura 4.3-2 – E-mail padrão encaminhado atores competentes no envolvimento da geração de energia .....	50
Figura 4.3-3 – Base do cálculo para previsão de economia com a automatização, no que tange a inclusão do monitoramento de Bacias e previsão de vazão afluyente ....	51
Figura 4.3-4 – Gráfico do monitoramento das bacias e previsão de vazão afluyente gerado com medições automáticas pelo PI System.....	52
Figura 4.4-1 – Etapas em execução e conclusão da automatização dos processos rotineiros nas usinas de geração de energia da empresa .....	53



## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>10</b>
1.1	PREMISSAS E PROBLEMA DE PESQUISA .....	14
1.2	OBJETIVOS.....	15
1.2.1	Objetivo Geral.....	15
1.2.2	Objetivos Específicos.....	15
1.3	JUSTIFICATIVA.....	15
1.4	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS .....	16
1.5	ESTRUTURA DO TRABALHO .....	17
<b>2</b>	<b>CONFIABILIDADE HUMANA</b> .....	<b>19</b>
2.1	A IMPORTÂNCIA DA AUTOMAÇÃO NA CONFIABILIDADE HUMANA .....	22
2.2	CONSIDERAÇÕES E SÍNTESE DO CAPÍTULO .....	24
<b>3</b>	<b>O FUNCIONAMENTO DA AUTOMAÇÃO NA GERAÇÃO DE ENERGIA</b> .....	<b>26</b>
3.1	DESCRIÇÃO DOS PROCESSOS DO CONTROLE HIDRÁULICO.....	26
3.2	FALHAS POSSÍVEIS DA AUTOMAÇÃO DO CONTROLE HIDRÁULICO.....	29
3.3	DESCRIÇÃO DOS PROCESSOS DO MONITORAMENTO DAS BACIAS .....	35
3.4	FALHAS POSSÍVEIS DA AUTOMAÇÃO DO MONITORAMENTO DAS BACIAS.....	37
3.1	CONSIDERAÇÕES E SÍNTESE DO CAPÍTULO .....	39
<b>4</b>	<b>DETALHAMENTO DO PROCESSO DE AUTOMAÇÃO NA EMPRESA</b> .....	<b>41</b>
4.1	ROTINAS DA EMPRESA PRÉ-AUTOMATIZAÇÃO .....	41
4.2	O CONTROLE HIDRÁULICO APÓS A AUTOMATIZAÇÃO .....	44
4.3	O MONITORAMENTO DE BACIAS E A PREVISÃO DE VAZÃO AFLUENTE PÓS-AUTOMATIZAÇÃO .....	49
4.4	O ANDAMENTO DA AUTOMATIZAÇÃO NO ANO DE 2019 .....	52
4.5	CONSIDERAÇÕES E SÍNTESE DO CAPÍTULO .....	53
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	<b>55</b>
5.1	PROPOSTA DE EXTENSÃO DO TRABALHO DESENVOLVIDO.....	55
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>56</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O Setor Elétrico Brasileiro (SEB), se consideradas suas características desde a instalação das primeiras usinas hidrelétricas, em 1910, até o tempo presente, pode ser dividido em três períodos: o primeiro de 1910 quando houveram as primeiras instalações de usinas hidrelétricas até os anos de 1940 quando houve o primeiro racionamento de energia elétrica; o segundo iniciou em 1950 com a criação da Fundação do Bando Nacional de Desenvolvimento Econômico perdurando até os anos de 1980, ainda com o setor estatizado; e o terceiro a partir dos anos de 1990, quando iniciaram as privatizações até os dias atuais (Figura 1-1).

Figura 1-1 - Linha do tempo do Setor Elétrico Brasileiro

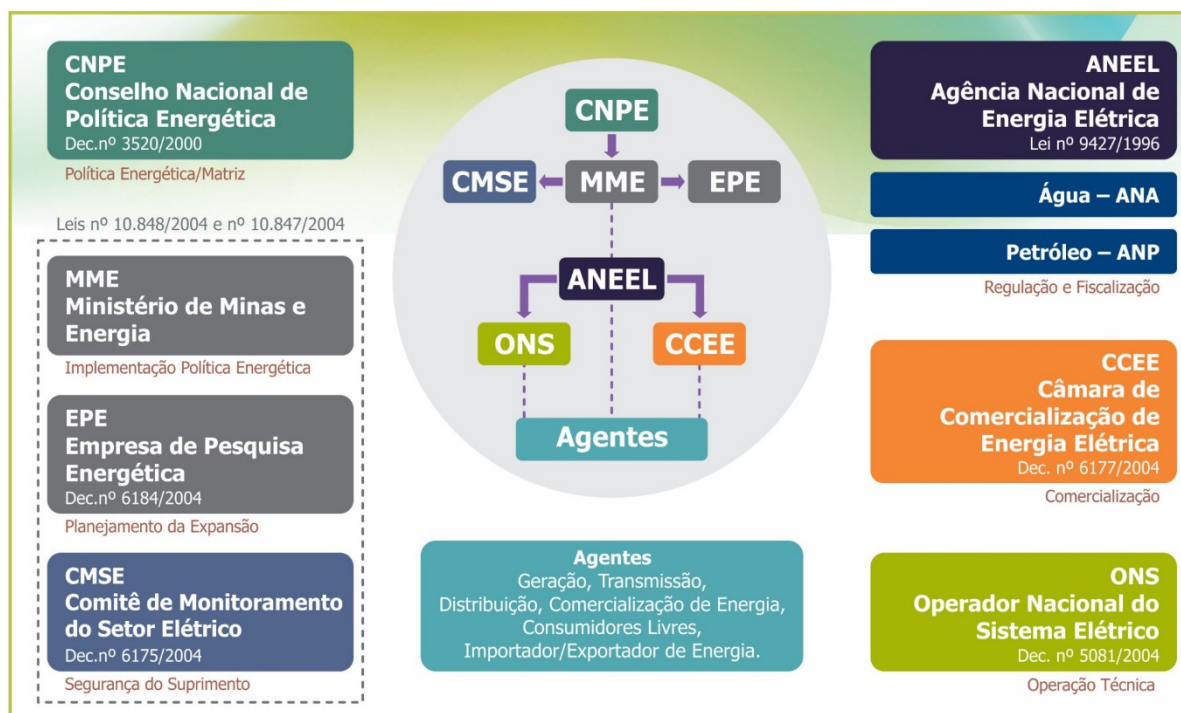


Fonte: Santos (2015).

Conforme observado na figura 1.1, desde a segunda metade dos anos de 1990, o SEB segue o modelo de abertura para o investimento de capital privado, com o objetivo de melhorar a malha energética, evitando racionamentos à população. De lá para cá, segundo o autor *loc. cit.*, a criação da Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel), em 1996, foi um marco no que diz respeito à regulação e operacionalização do mercado (QUEIROZ, 2010).

Apesar das mudanças trazidas pela privatização, os investimentos iniciais estiveram aquém do esperado devido algumas estratégias políticas antigas que assolavam o SEB (ALMEIDA, 2008). Bastou uma forte crise hidrológica no país para que o novo sistema apresentasse lacunas, precisando o Governo lançar mão de programas de racionamento de energia no início dos anos 2000 (CUBEROS, 2008). Visando a solução desse tipo de problema, o Governo Federal lançou mão do Novo Modelo do Setor Elétrico por intermédio das Leis nº. 10.847 e nº. 10.848. A partir daí o setor passou a ser dividido em subsetores que, apesar de atuarem em um mesmo prol, tinham cada qual uma função e estruturação muito bem definida, conforme observado na figura 1-2.

Figura 1-2 – Estrutura Organizacional do COG



Fonte: ONS (2019).

O fluxograma apresentado na figura 1.2 mostra as relações entre os setores e atores jurídicos, estatais e privados envolvidos com a geração; transmissão e comercialização de energia elétrica no país. O Conselho Nacional de Política Energética (CNPE), criado em 1997, tem como finalidade assessorar a Presidência da República na formulação de políticas públicas e diretrizes energéticas. Esse conselho é presidido pelo Ministro de Estado de Minas e Energia, que está diretamente vinculado ao MME (Ministério de Minas e Energia). As políticas e diretrizes formuladas por esse Conselho são implementadas pelo MME e garantidas por dois outros setores: EPE e CMSE. As Empresas de Pesquisa Energética (EPEs) avaliam e planejam a expansão da malha energética; enquanto o Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico (CMSE) fica responsável por garantir a segurança do suprimento. Diretamente ligada ao MME está Aneel, responsável pela regulação e fiscalização das Câmaras de Comercialização de Energia Elétrica (CCE) e dos Operadores Nacionais do Sistema Elétrico (ONS). Enquanto a CCEE comercializa a energia e o ONS oferta a disponibilização técnica da.

Embora esse Novo Modelo do Setor Elétrico tenha trazido menores riscos de racionamento, a divisão do SEB em muitos setores aumentou a burocratização, dificultando a mitigação de erros humanos em todo processo de geração, distribuição e transmissão de energia elétrica no país. A alternativa para essa partição do Setor Energético Brasileiro foi a criação dos Centros de Operações da Geração (COGs) cujo objetivo é centralizar e fiscalizar os diversos seguimentos envolvidos no setor energético (QUEIROZ, 2010).

A atuação destes centros de operações (COGs) resulta de um esforço conjunto entre tecnologia da informação e os órgãos governamentais, em prol de uma otimização da matriz energética brasileira, de modo que os centros de produção sejam monitorados em tempo real, conferindo agilidade; segurança e disponibilidade de energia à população (MARTINS, 2018). Entende-se que um Centro de Operação deva ser capaz de controlar as instalações elétricas, buscando economia e segurança. Para isso, um COG é definido como centros de transmissão, geração ou distribuição que se reportam aos centros regionais e de sistema como COR e COS, respectivamente (QUEIROZ, 2010). O autor *loc. cit.* ressalta que o processo de gestão envolve planejamento; gestão; direção; distribuição; e controle dos recursos visando uma racionalização dos recursos e efetivação do sistema.

No contexto das privatizações ocorrido no Brasil, a partir do Novo Modelo de Energia, a empresa, se instalou no Brasil, após a criação do Plano Nacional de Desestatização (PND) elaborado pelo então Governo de Fernando Henrique Cardoso. Inicialmente, a empresa tinha apenas uma participação acionária na Companhia de Eletricidade do Rio de Janeiro (CERJ). Em 2010, alguns anos após a nova reformulação do SEB, já mencionada e explicada acima, a empresa abriu seu primeiro COG cujo objetivo era coordenar a operacionalização de quatorze usinas do grupo, que se localizam geograficamente muito distantes uma da outra, facilitando a sua comunicação com os órgãos reguladores Aneel e ONS. Em 2017 a empresa iniciou um projeto pioneiro voltado para inteligência artificial no que diz respeito à distribuição de energia.

Em um sistema não automatizado, os aspectos comportamentais podem induzir um erro operacional ou de manutenção (SANTOS, 2013). O autor *loc. cit.* ressalta que mesmo treinados e capacitados, os funcionários estão sujeitos a falhas atreladas a inúmeras variáveis como stress; fadiga; problemas pessoais; e excesso de confiança. Uma das principais consequências da falha humana na operacionalização e manutenção de usinas hidrelétricas é a imprevisibilidade. A respeito da importância dessa confiabilidade, Santos (2013) cita:

Na produção de energia elétrica, o principal controle de qualidade é sua continuidade de fornecimento, seguida dos limites de frequência e tensão. Contudo, além da manutenção da continuidade, é imprescindível que a geração seja sempre, em tempo real, igual à carga do sistema mais as perdas dos sistemas de transmissão e distribuição, caso contrário, o fornecimento de energia é interrompido por atuação das proteções que monitoram os níveis de frequência e de tensão. Por isso, a confiabilidade na execução das atividades de operação e de manutenção é fundamental (SANTOS, 2013, s/p).

Em 2007, a Aneel aprovou a Resolução Normativa nº 270/2007 estabelecendo uma metodologia para descontos no pagamento-base, o que aumentou a preocupação das empresas com a qualidade do serviço (ANEEL, 2007). Assim, objetivando mitigar os efeitos gerados por eventuais racionamentos, o sistema elétrico brasileiro opera atualmente por um conjunto de critérios de confiabilidade determinísticos de modo a reduzir os riscos humanos (GUEDES, 2017).

## 1.1 PREMISSAS E PROBLEMA DE PESQUISA

Embora o crescimento do SEB traga eminentes benefícios à população, a geração e transmissão de energia elétrica ainda é um agente de risco aos trabalhadores e usuários do sistema (ROZA FILHO, 2012). Diante disso, a Aneel e o Operador Nacional do Sistema (ONS) empenham-se em criar cada vez mais um sistema adequado para a regulação dessa prática, de modo a evitar acidentes e transtornos (SANTOS, 2013). Porém, apesar de visarem segurança e qualidade, nenhuma empresa está isenta da competitividade. Deste modo, Fogliatto e Ribeiro (2011) ressaltam a importância da modernização e automação dos COGs, de modo que o tempo seja otimizado e os riscos e erros reduzidos. Segundo os autores *loc. cit.* o antagonismo entre a prosperidade econômica e a segurança levaram ao desenvolvimento cada vez mais aprimorado de equipamentos industriais, que conferem maior confiabilidade aos desempenhos operacionais.

Assim, considerados os riscos presentes no setor industrial, e a probabilidade de falha humana na manipulação dos sistemas e das máquinas, a confiabilidade humana busca analisar o impacto do erro humano sobre os indicadores de produtividade; segurança; e qualidade de uma empresa, auxiliando na organização estratégica para mitigação dos mesmos (NASCIMENTO NETO, 2014). Santos (2009) alerta que o estudo da confiabilidade requer o ser humano como peça fundamental do avanço tecnológico, já que operadores de máquina atuam em múltiplas tarefas estando muitas vezes exaustos e propícios ao erro.

Ainda hoje, as atividades realizadas em muitos COGs são mantidas de forma manual, ignorando-se todo o avanço tecnológico atual. Logo, considerando-se a importância desses Centros para o SEB, o presente estudo apoia-se nas hipóteses de que a automatização dos sistemas nos COGs, visando reduzir os processos manuais, contribuam para a otimização do tempo do trabalhador; aumento da produtividade; redução de riscos e erros humanos em todo o processo de geração, distribuição e transmissão de energia elétrica no Brasil.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo Geral

Analisar o modelo de automação aplicado aos processos operacionais de uma empresa do setor de energia, desde o ano de 2018, a partir do conceito de confiabilidade humana.

### 1.2.2 Objetivos Específicos

Para cumprimento de seu objetivo geral, este trabalho deverá atender os seguintes objetivos específicos:

- ✓ Caracterizar o conceito de confiabilidade e falhas humanas;
- ✓ Descrever as rotinas operacionais da empresa antes e depois do processo de automatização;
- ✓ Traçar um paralelo da automatização com a confiabilidade humana;
- ✓ Avaliar como as ações adotadas no ano de 2018 auxiliaram na mitigação dos riscos humanos à operação.

## 1.3 JUSTIFICATIVA

Os níveis hierárquicos dos Centros de Operações do ONS seguem um relacionamento funcional vertical de modo que as instalações de um nível inferior devem se reportar ao nível superior seja para solicitar autorizações seja para repassar dados de monitoramento. Desta maneira operadores do ONS não podem se realizar uma atividade sem que haja autorização do nível superior, bem como devem reportar exatamente os dados coletados (QUEIROZ, 2010).

Nesse contexto, a confiabilidade de um sistema consiste na “probabilidade de funcionamento inserto de falhas durante um período de tempo pré-determinado, sob condições de operação estabelecidas (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1994, p. s/p).

Siqueira (2004) ressalta que uma falha é definida como uma função não executada ou a incapacidade de satisfazer um dado padrão previsto. Assim, considerada a interação do homem com equipamentos e sistemas complexos, a confiabilidade humana busca compreender quais aspectos induzem ao erro nessa relação. Silva *et al.* (2017) definem como confiabilidade humana, a probabilidade de que uma pessoa não falha no cumprimento de uma ação requerida, quando exigida, em determinado período de tempo, em condições ambientais apropriadas e com recursos disponíveis para executá-las.

Assim, se consideradas as exigências sobre os agentes de produção e continuidade de uma empresa, o monitoramento sistêmico do desempenho das equipes possibilita que processo de produção seja monitorado e controlado pelos responsáveis de forma mais rápida para a solução de problemas. Assim, sob esse contexto, a identificação das causas, bem como a redução das falhas é imprescindível para a tomada de decisões e garante qualidade na prestação de serviços.

#### 1.4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O presente capítulo aborda o enquadramento do tema, dentro da área de engenharia de produção, conjuntamente com a metodologia aplicada, também apresenta o protocolo de pesquisa de forma detalhada apresentando o processo de automação para ampliação da confiabilidade humana nas ações rotineiras das usinas de geração da empresa. Perante a Associação Brasileira de Engenharia de Produção (ABEPRO), essa pesquisa se enquadra na grande área de engenharia de confiabilidade (SILVA *et al.*, 2015).

Quanto ao seu enquadramento, a pesquisa desenvolvida é apresentada resumidamente a figura 1.4-1 e tem uma natureza aplicada, visto que gera conhecimento prático e específico. A sua forma de abordagem é qualitativa e quantitativa, já que aborda dados teóricos da confiabilidade e falhas humanas, associando-os aos dados produzidos pela empresa, tendo, portanto, também um exploratório e descritivo (PROVDANOV; FREITAS, 2013).



Figura 1.4-1 - Resumo dos procedimentos metodológicos da pesquisa

<b>NATUREZA</b>	Básica	Aplicada				
<b>ABORDAGEM</b>	Qualitativa	Quantitativa				
<b>OBJETIVO</b>	Exploratória	Descritiva	Explicativa			
<b>PROCEDIMENTO</b>	Pesquisa documental	Pesquisa Bibliográfica	Pesquisa Sistemática	Pesquisa de Campo	Estudo de Caso	Pesquisa-ação
<b>COLETA DE DADOS</b>	Entrevistas	Coleta de dados documentais da empresa	Observação	Monitoramento dos processos	Questionários	Levantamento Bibliográfico

Fonte: produção própria.

Os procedimentos técnicos adotados pautaram-se em: (i) revisão bibliográfica sobre confiabilidade humana e falhas humanas, (ii) pesquisa documental, porque utiliza documentos da empresa; (iii) pesquisa sistemática, por aplicar um método utilizado para auxiliar na pesquisa bibliográfica. A técnica de coleta de dados se dá através de observação direta e monitoramento do processo, da avaliação de documentos da empresa e da análise do banco de dados da automatização dos processos rotineiros nas usinas de geração da empresa (PROVDANOV; FREITAS, 2013).

## 1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho está organizado em cinco capítulos, sendo o primeiro este capítulo presente no qual já uma apresentação geral do assunto abordado, incluindo as premissas e os objetivos traçados a partir do tema estabelecido. Para a escrita deste capítulo foram consideradas referências que abordem o contexto estrutural e político do setor elétrico brasileiro, bem como foi utilizado a página oficial da empresa, objeto de estudo, disponibilidade na plataforma digital (*Internet*).

O segundo capítulo compreende um detalhamento do objeto da pesquisa, com a descrição detalhada dos procedimentos metodológicos e caracterização da área de estudo.

O terceiro capítulo foi construído a partir de um referencial teórico buscado por meio da pesquisa *online* de periódicos; teses; e dissertações acerca do tema proposto; bem como foi utilizado um material bibliográfico impresso como livros e documentos fundamentais ao fortalecimento da ideia apresentada de teorização e aplicação dos conceitos de confiabilidade humana.

O quarto capítulo foi apresentada a aplicação do referencial teórico sobre confiabilidade humana na empresa, buscando atender aos objetivos propostos à pesquisa.

O quinto e último capítulo foi uma análise sobre os resultados apresentados no capítulo anterior, incluindo não apenas a apresentação das dificuldades como a proposição de soluções e trabalhos futuros.

## 2 CONFIABILIDADE HUMANA

Conforme descrito e explicado por Pallerossi; Mazzolini e Mazzolini (2011) a confiabilidade humana é definida pela probabilidade de falha na realização de uma tarefa, quando essa deve ser executada em um dado espaço de tempo limitado. Ou seja, segundo os autores *loc. cit.*, a confiabilidade humana aborda um conjunto de dualidades que vão desde o desempenho da tarefa até à disponibilização dos recursos para essas. Os autores citam como as cinco principais dualidades estudadas pela confiabilidade humana: [i] desempenho adequado ou inadequado; [ii] cumprimento ou não cumprimento de uma tarefa; [iii] determinação ou não de um período de tempo para execução da tarefa; [iv] condições ambientais apropriadas ou inapropriadas para a conclusão; [v] recursos disponíveis ou em falta para a realização da tarefa.

Consoante à definição supracitada, diz-se que a confiabilidade humana busca responder três perguntas básicas inerentes ao cumprimento de uma tarefa: por que realizar esta tarefa; quanto realizar esta tarefa; e onde realizar esta tarefa (PALLEROSI; MAZZOLINI; MAZZOLINI, 2011). Partindo deste contexto, Nascimento Neto (2014) destaca a importância de se elaborar estratégias visando prevenir; mitigar; ou eliminar as falhas humanas, de modo a diminuir a frequência dos acidentes. Para Pallerossi; Mazzolini e Mazzolini (2011), a falha é algo inerente ao ser humano, porém espera-se que ao longo do tempo qualquer profissional, aprimore sua aptidão; seu aprendizado; sua experiência; e sua idoneidade.

Um dos primeiros trabalhos sobre confiabilidade humana foi o livro escrito por Elsayed (1992) em que considera o termo como triunfo ao funcionamento sistêmico de uma organização. Ao longo da história outros autores (e.g. LAFRAIA, 2001; FOGLIATTO; RIBEIRO, 2011) corroboraram com essa definição.

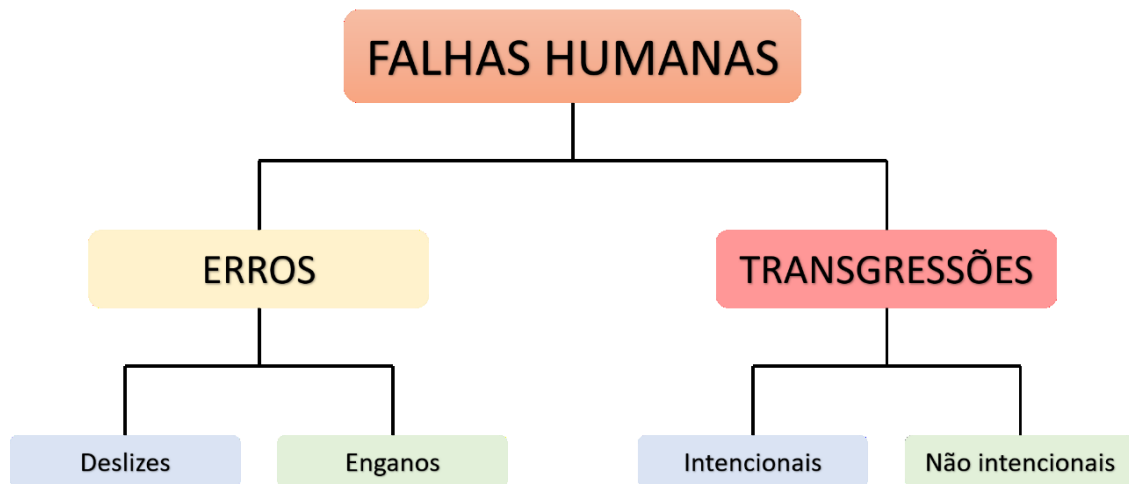
Em sua tese de doutorado que buscou propor uma metodologia de confiabilidade humana para uma mina em céu aberto, Nascimento Neto (2014) classificou a confiabilidade humana como uma ciência que visa avaliar o impacto do erro humano na produtividade de uma empresa. Mas se somente em 2011 a definição de confiabilidade humana ficou mais precisa, antes já se discutia a influência da falha humana na produtividade das empresas e instituições.

Para Souza, Firmino e Droguett (2009), o erro nas atividades laborais foi tratado como um fator adicional à confiabilidade de equipamentos, ou seja, apenas ao final de uma análise de capacidade limitante de uma ferramenta é que era realizada uma análise da influência do comportamento humano no encolhimento da capacidade de um sistema:

Apenas após a consolidação da análise da confiabilidade de equipamentos é que se iniciaram os estudos sobre o componente humano, como o indivíduo pode cometer erros que levam às falhas dos sistemas mecânicos e o que leva a tais erros (os fatores existentes no contexto e aqueles inerentes a cada pessoa) (SOUZA; FIRMINO; DROGUETT, 2009, p. 2).

No livro conceitual sobre confiabilidade humana e suas análises, Pallerossi; Mazzolini e Mazzolini (2011) classificam as falhas humanas em dois grupos (Figura 2.1-1): os erros e as transgressões. De acordo com os autores, enquanto os erros humanos decorrem da falta de conhecimento lógico e razões; as transgressões estão diretamente ligadas às falhas comportamentais.

Figura 2-1 – Classificação das falhas humanas

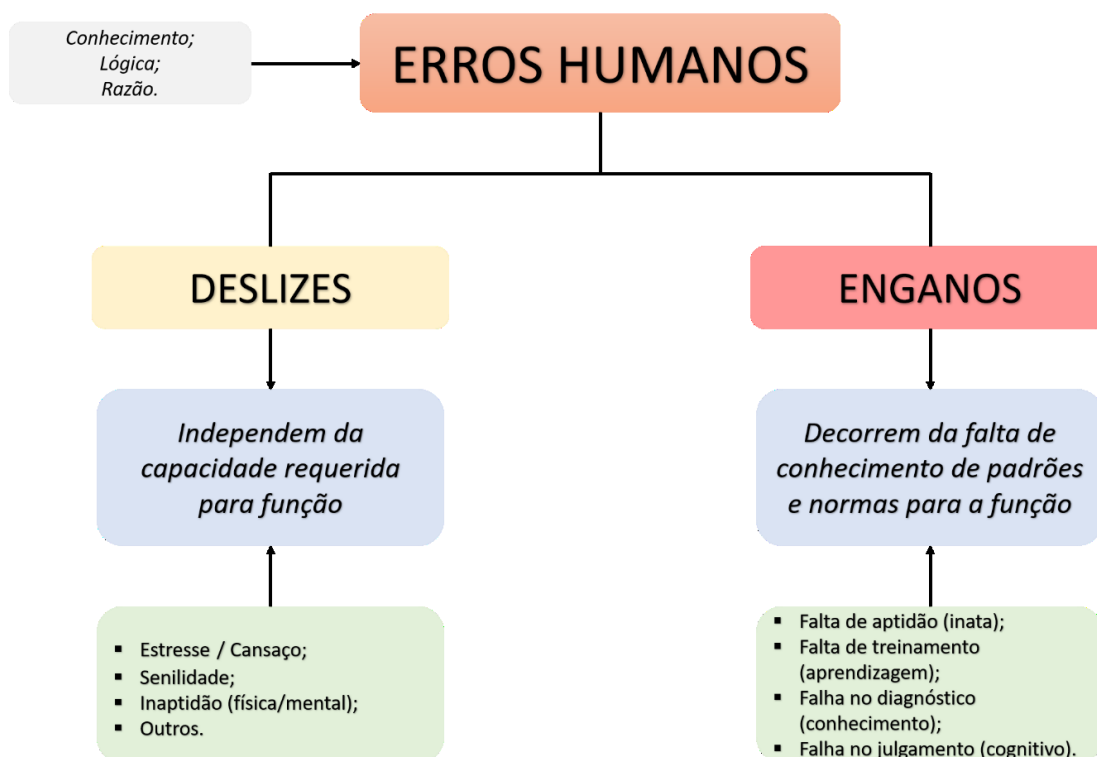


Adaptado: Pallerossi; Mazzolini e Mazzolini (2011)

Para Pallerossi; Mazzolini e Mazzolini (2011), os erros compreendem a principal parcela das falhas humanas, visto que esses dependem sobretudo da capacidade de se realizar uma tarefa que apresenta, sobre sua atuação, um conjunto de variáveis subjetivas como o estresse; as condições ambientais e sociais; e a motivação.

Deste modo, unindo três importantes pontos que favorecem ou não um erro humano (*i.e.* conhecimento; lógica; razão), os autores subclassificam essa categoria de falha como deslizes ou enganos. Ainda de acordo com os autores, os deslizes decorrem principalmente em função de fatores como estresse físico e/ou mental, que resultam em uma incapacidade de realizar uma função mesmo quando o trabalhador tem a aptidão necessária para a mesma; já os enganos advêm de uma falta de aptidão; treinamento; conhecimento ou julgamento cognitivo do funcionário responsável pela tarefa, o que termina por uma falha tanto no diagnóstico como na execução da tarefa (Figura 2.1-2).

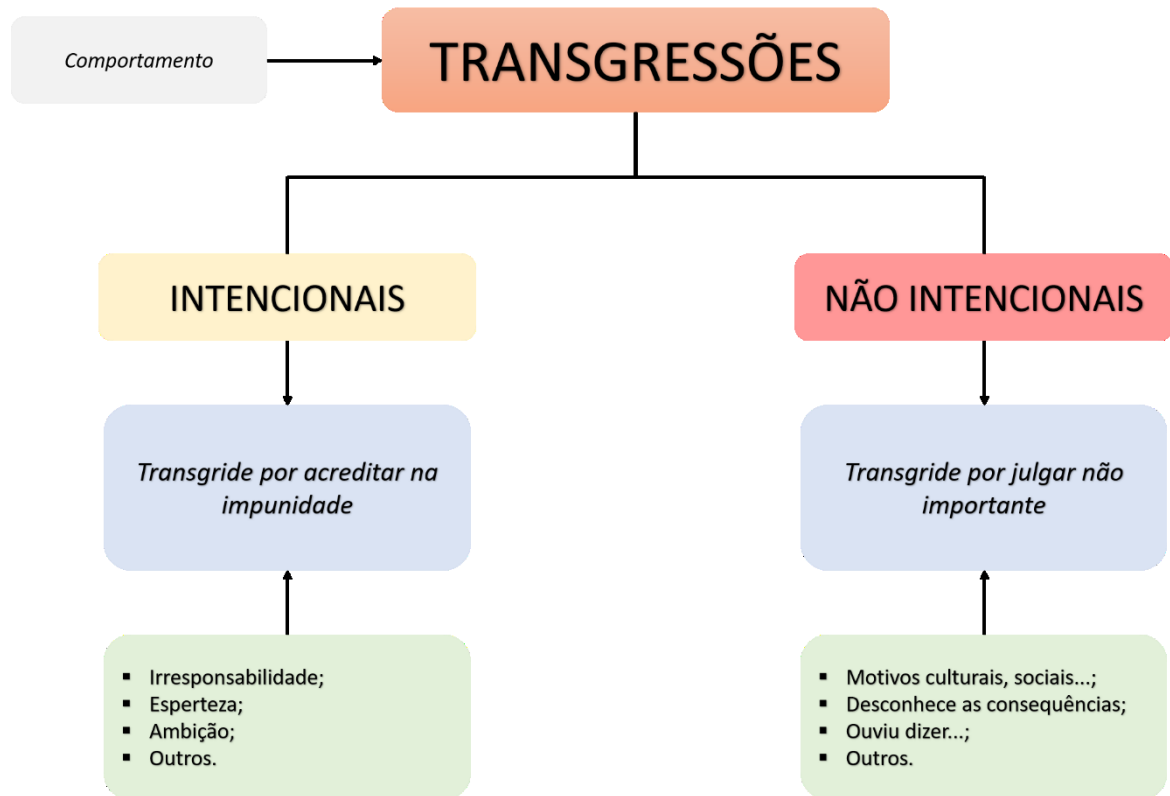
Figura 2-2 – Classificação das causas dos erros humanos



Adaptado: Pallerossi; Mazzolini e Mazzolini (2011)

No que tange as transgressões, Pallerossi; Mazzolini e Mazzolini (2011) alertam que a principal razão para sua ocorrência é comportamental. Para os autores, esta categoria de falha humana pode receber tanto um caráter intencional como não intencional. Ainda conforme os autores *loc. cit.*, o caráter intencional está intimamente ligado à impunidade, que aflora o senso de irresponsabilidade e ambição no ser humano.

Figura 2-3 – Classificação das causas dos erros humanos



Adaptado: Pallerossi; Mazzolini e Mazzolini (2011).

Já as transgressões não intencionais derivam-se do desconhecimento acerca dos procedimentos, seja por o trabalhador julgar-lo como não importante, seja por motivações sociais; culturais; étnicas; e religiosas (Figura 2.1-3).

## 2.1 A IMPORTÂNCIA DA AUTOMAÇÃO NA CONFIABILIDADE HUMANA

Com o advento da Revolução Industrial a sociedade passou a produzir bens de consumo de forma mais produtiva, voltada para os avanços tecnológicos capazes de afetar as técnicas e o processo de produção, modificando radicalmente as formas de organização social, política e econômica (SILVEIRA; SANTOS, 1998). Estas mudanças deram origem a uma nova era, abrindo portas para o surgimento dos processos automatizados.

Neste sentido, define-se como automação, o conjunto de técnicas por meio das quais se constroem sistemas ativos capazes de atuar com alta eficiência através do uso de informações recebidas do processo a qual atuam (SILVEIRA; SANTOS, 1998).

Silva e Nascimento (2003) todas as etapas da automação industrial. Segundo os autores *loc. cit.* existem dois tipos de automação: [i] a fixa, cuja aplicação ocorre no intuito de se fabricar um determinado produto, sendo, portanto, o equipamento desenvolvido para se produzir elevadas quantidades da mercadoria; e [ii] a flexível, cuja utilização permeia a produção de diferentes produtos ao mesmo tempo. Bayer, Eckhardt e Machado (2011) diferenciam a automação da mecanização de maneira simplista e de fácil compreensão:

Automação é diferente de mecanização. A mecanização consiste simplesmente no uso de máquinas para realizar um trabalho, substituindo o esforço físico do homem. Já a automação possibilita fazer um trabalho por meio de máquinas controladas automaticamente, capazes de se autorregular (BAYER, ECKHARDT; MACHADO, 2011, p. 15).

Parasuraman e Manzey (2010) alertam para a redução da capacidade de vigilância do ser humano exposto a longos períodos trabalhando em processos totalmente automatizados. Ou seja, se acordo com o autor *loc. cit.* quanto maior a automatização em um processo industrial, menor a capacidade de resolução de problemas que um trabalhador apresenta ao se deparar com estímulos exclusivamente ambientais. Apesar disso, Silveira e Santos (1998) ressaltam a estabilidade dos processos industriais automatizados.

Conforme descrito por Silva e Nascimento (2003) os sistemas automatizados devem ser implementados após a realização de uma modelagem matemática do processo, na qual se agrega o conhecimento geral da planta e o funcionamento do sistema. De acordo com os autores *loc. cit.*, após esta modelagem é possível se estabelecer os parâmetros necessários à automação e se essa será fixa ou flexível.

Segundo Bayer, Eckhardt e Machado (2011) caso a automação fixa seja a escolhida é necessário que se considere seu elevado custo operacional. Esta, ainda segundo os autores *loc. cit.* é o tipo de automação escolhida por indústrias automotivas, nas quais as estações de trabalho apresentam custos elevados de produção em função da sua alta produtividade. Pazos (2002), alerta que apesar dos custos elevados para a implementação, os custos unitários deste tipo de automação mostram-se relativamente baixos, uma vez que são diluídos em toda a produtividade.

Já com relação à automação programável Silva e Nascimento (2003) afirmam que ela é muito eficaz quando se deseja produzir uma elevada diversidade de produtos a partir de uma mesma empresa. Segundo os autores *loc. cit.*, este tipo de automação é ideal quando o volume de produção de cada produto é baixo. Já a automação flexível, de acordo com Bayer, Eckhardt e Machado (2011), combina características tanto da automação programável como da automação fixa. Essa é uma automação intermediária utilizada dentro de um sistema de fabricação e/ou produção.

Sobre este assunto, Bayer, Eckhardt e Machado (2011) ainda ressaltam a importância da automação para a redução de falhas e defeitos que causem interrupções no suprimento de energia. De acordo com os autores *loc. cit.*, com o avanço das pesquisas acerca da confiabilidade humana observa-se cada vez mais a necessidade de adoção de práticas de manutenção eficientes e inteligentes, de modo a reduzir falhas e aumentar lucros.

## 2.2 CONSIDERAÇÕES E SÍNTESE DO CAPÍTULO

O presente capítulo consistiu em uma revisão de literatura acerca do tema estudado através de uma introdução sobre a confiabilidade humana. Para isso foram conceituadas a confiabilidade e as falhas ocorridas em um processo industrial, bem como apresentou-se uma associação da automação para a redução de falhas humanas, mostrando, então, sua importância no processo.

A partir deste capítulo foi possível tomar como base os processos de redução de falhas ocorridos com a automação do estudo de caso. Entender as falhas e o que as causas é de extrema importância para se definir a automação adequada para um centro de geração de energia.

Outra importância que se destaca versa a compreensão de que a automação não é perfeita, mas reduz estas falhas. Isso porque quando se tira das mãos humanas aquelas atividades repetitivas e estressantes, o trabalhador pode centrar-se em atividades essenciais à produção de energia.

Com base nisso, o capítulo seguinte abordará o funcionamento do processo automatizado atual da empresa, que foi implantado em meados de 2018. Neste capítulo será indicado como funciona o processo de controle hidráulico e de monitoramento das bacias através do programa *PI System*.



Ainda acerca do próximo capítulo espera-se que o leitor obtenha por meio dele a compreensão do contingente de trabalhadores envolvidos no processo de energia e o funcionamento do PI *System* destes dois eventos. Os dados utilizados para este próximo capítulo foram coletados na própria empresa através de visualizações e práticas operacionais.

### 3 FUNCIONAMENTO DA AUTOMAÇÃO NA GERAÇÃO DE ENERGIA DA EMPRESA

#### 3.1 DESCRIÇÃO DOS PROCESSOS DO CONTROLE HIDRÁULICO

Em pesquisa realizada sobre as estruturas hidráulicas em reservatórios, Raimundo (2007) descreve o funcionamento dos reservatórios que atuam no controle da vazante. O controle hidráulico da empresa em questão utiliza para sua base duas variáveis: [i] o N.A. Montante, que consiste em um nível altimétrico que a lamina d'água do rio atinge antes de passar pelo barramento hidráulico; e [ii] o N.A. Jusante, que consiste em um nível altimétrico que a lamina d'água do rio atinge após passar pelo barramento hidráulico.

Conforme relatado pelo engenheiro responsável pelo controle hidráulico da empresa, em pesquisa de campo para este presente estudo, o objetivo deste processo é padronizar os procedimentos para obtenção; registro; e transmissão de dados hidráulicos dos reservatórios, bem como dos cálculos de vazões turbinadas; vertidas; defluentes; acumuladas; afluentes; e afluentes de referência necessárias para determinar o estado hidráulico e execução da operação dos reservatórios, em tempo real. Ainda de acordo com o engenheiro responsável pelo controle hidráulico na empresa, as variáveis envolvidas no controle hidráulico seguem o padrão descrito abaixo e são coletadas a cada hora, sendo que anteriormente essas eram coletadas manualmente e atualmente elas estão incluídas no sistema de automação adotado pela empresa:

- ✓ Leitura do N. A. Montante (N.A. Mon);
- ✓ Leitura do N.A. Jusante (N.A. Jus);
- ✓ Cálculo da Queda Bruta (N.A. Mon - N.A. Jus);
- ✓ Cálculo da Vazão Turbinada;
- ✓ Cálculo da Vazão Vertida;
- ✓ Cálculo da Vazão Defluente (Turbinada + Vertida);
- ✓ Cálculo da Vazão Acumulada;
- ✓ Cálculo da Vazão Afluente.

No que diz respeito aos cálculos, após a automação o próprio P.I. *System* realiza tais operações. Para o cálculo da Vazão Turbinada é utilizada a leitura dos

medidores de energia gerada (MW/h) por unidade geradora para determinar sua potência média integraliza na hora considerada (MW).

Através desta obtém-se a primeira tabela contendo o valor da vazão turbinada de cada uma das unidades geradoras. Esta tabela é inserida no P.I. *System* e utilizada para obtenção dos valores calculares de vazões a cada hora. Observando-se o processo de controle hidráulico da empresa, é possível destacar que a extração do valor de vazão pode ser realizada de diversas maneiras por exemplo de forma direta (placa de orifício, transmissor de pressão, entre outros) ou indireta. No caso para o cálculo de vazão de uma turbina hidráulica o método direto não é muito utilizado em função da grande dimensão do vaso e da irregularidade da superfície. A vazão turbinada neste caso é obtida através de cálculos utilizando como base as características técnicas do equipamento tal como: curva colina, que através de fórmulas hidráulicas e o rendimento da turbina é possível obter a respectiva vazão).

Já com relação ao cálculo da vazão vertida, com a leitura da posição das comportas dos vertedores (coleta automática através do sistema de automação medido pelo sensor mecânico de posição presente em cada nicho de comporta) obtém-se uma segunda tabela, por meio da qual calcula-se o valor da vazão vertida total da usina na hora considerada. Esta tabela é obtida através de cálculo hidráulico levando em consideração a curva chave de descarga dos vertedores (estrutura civil com finalidade hidráulica para controle de extra vazão).

No que tange o cálculo vazão defluente, essa é obtida através da soma dos valores da vazão turbinada e da vazão vertida, de modo a obter a vazão defluente da usina. Já com o cálculo da vazão acumulada busca-se verificar a variação de nível montante em relação à leitura da hora imediatamente anterior, ou seja, ao comparar o nível montante da hora atual com o nível montante da hora imediatamente anterior. Com isso, obtém-se a variação do nível ( $\Delta Z$ ) por um determinado intervalo de tempo, gerando-se uma terceira tabela.

No que diz respeito à vazão acumulada por centímetro em uma hora através do nível de montante da hora atual, é gerada uma quarta tabela, também inserida no P.I. *System* da empresa, e pela qual operadores podem consultar as informações de vazão acumulada de forma automática, a cada hora.

O cálculo da vazão acumulada no reservatório é dado pela multiplicação do valor da vazão acumulada por centímetro em uma hora pela variação do nível do reservatório em centímetros. Com o resultado obtido é possível detectar se a

variação do nível ( $\Delta Z$ ) foi positiva ou negativa, ou seja, se houve adequadamente o enchimento ou o deplecionamento do reservatório. Para o cálculo da vazão afluente, soma-se os valores da vazão defluente e da vazão acumulada. Este cálculo é obtido através de outro cálculo hidráulico pelo qual é levado em consideração os valores de vazão defluente e vazão acumulada, ou seja, de modo indireto através de cálculo.

Das pessoas jurídicas e civis envolvidas no processo de geração de energia pela empresa, destaca-se:

- ✓ Técnico de Tempo Real
- ✓ Engenheiro de Tempo Real
- ✓ Técnico de Pré-operação
- ✓ Engenheiro de Pré-operação
- ✓ Técnico de Pós-operação
- ✓ Engenheiro de Pós-operação
- ✓ Operador local da usina
- ✓ Operador Nacional do Sistema Elétrico - ONS
- ✓ Agência Nacional de Águas - ANA
- ✓ Defesa Civil
- ✓ Agentes a Jusante da Usina

Com relação ao cargo de Técnico de Tempo Real, um total de onze pessoas assumem esta posição e todas têm como função avaliar os valores do processo de controle hidráulico e verificar sua coerência conforme programação hidroenergética. Ou seja, se o processo do controle hidráulico/preenchimento automático da planilha de visualização dos dados do processo é na verdade preenchido de acordo com o planejado. Caso seja identificado um desvio em relação ao planejado, o Técnico de Operação do Tempo Real deve imediatamente realizar os ajustes.

Estes onze técnicos de Tempo Real estão subordinados ao suporte do Engenheiro de Tempo Real que compreende apenas um cargo na Usina. A função deste engenheiro é garantir que o técnico execute adequadamente sua função, além de solucionar problemas que possam surgir em meio às medições.

Já com relação aos técnicos e ao engenheiro de Pré-operação, o primeiro cargo assume duas cadeiras na Usina, sendo seus integrantes responsáveis por analisar o cenário hidroenergético dos próximos dias, para que se possa planejar um programa que atenda os fatores hidrológico e as questões eletroenergéticas. Uma

vez elaborado o programa hidroenergético a ser seguido, cabe ao engenheiro de Pré-operação validar a programação e fornecer suporte técnico às questões operacionais e conflitantes que possam surgir no processo. Se tratando de geração de energia e fatores naturais inerentes a este processo, há então os técnicos e o engenheiro de Pós-operação. Aos dois técnicos envolvidos nesta etapa cabe a função de analisar possíveis falhas presentes no controle hidráulico (planejamento e/ou execução), bem como propor melhorias. Ao engenheiro cabe a função de dar suporte operacional relacionado a solução de conflitos.

Cabe ressaltar que em cada usina há onze operadores locais, cuja função é avaliar os valores do processo de controle hidráulico conforme a programação hidroenergética. Ou seja, se o processo do controle hidráulico/preenchimento automático da planilha de visualização dos dados do processo está sendo de acordo com o planejado. Caso seja identificado um desvio em relação ao planejado o operador local da usina propõe um ajuste. Além disso, os operadores devem realizar rotineiramente rotas de inspeção nos sensores utilizados para medição automática das variáveis do processo, verificando se os valores digitais estão coerentes com os medidos localmente. Para além dos portões da Usina, cabe a atores externos a sistematização do processo de geração, sendo eles:

- ✓ Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS): responsável por acompanhar os níveis dos reservatórios, visando o gerenciar os recursos naturais. Caso haja um aumento no despacho de Usinas, o custo atual cai, porém o custo futuro aumenta; caso haja um aumento no despacho de Usinas térmicas o custo atual aumenta, porém o custo futuro cai;
- ✓ Agência Nacional de Águas (ANA): garante os múltiplos usos da água como abastecimento humano, irrigação, agricultura e turismo;
- ✓ Defesa Civil: cuja função é preservar a população local de possíveis riscos ou catástrofes;
- ✓ Agentes a Jusante da Usina: são outros agentes de geração que exploram o mesmo rio, também são impactados pela operação hidráulica do empreendimento.

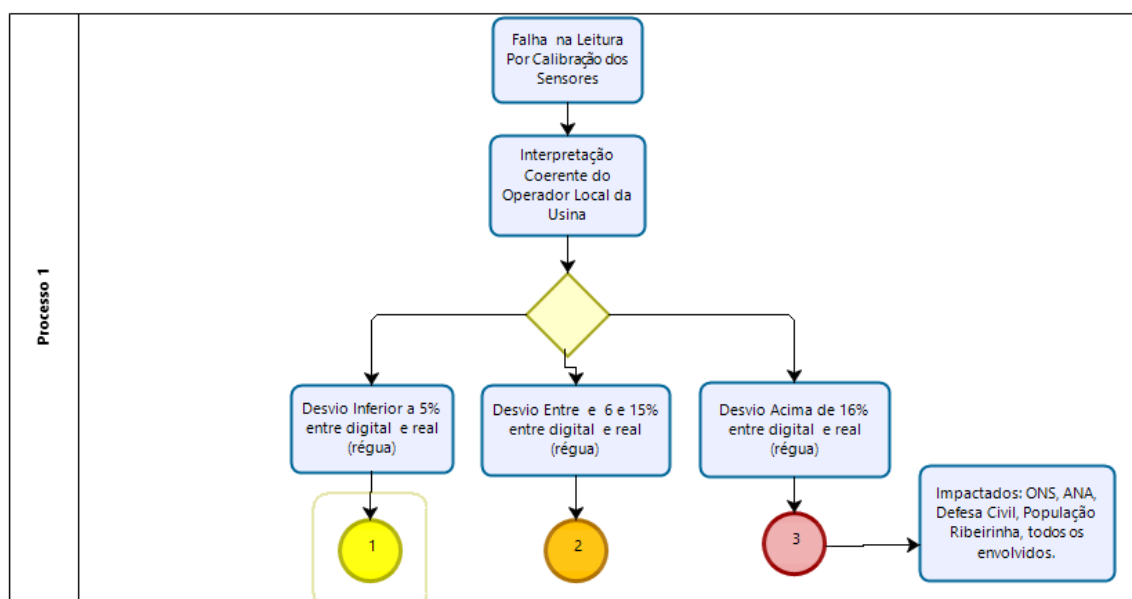
### 3.2 FALHAS POSSÍVEIS DA AUTOMAÇÃO DO CONTROLE HIDRÁULICO

Diante do exposto, observa-se que há, em todo o processo de geração de energia, inúmeras etapas passíveis de serem registradas falhas. Assim, visando

mitigar as falhas ocorridas foram produzidos fluxogramas que permitem a classificação delas.

Na figura 3.2-1 observa-se o fluxograma explicando os níveis de gravidade das falhas ocorridas na descalibração dos sensores. Em caso ocorra esta descalibração, haverá uma interpretação errônea por parte dos operadores locais que, a depender do desvio registrado entre o valor marcado no sistema e o valor real medido pela régua pode-se apresentar níveis diferentes de consequências, sendo que caso o valor real seja muito acima daquele registrado pelo medidor digital (acima de 16%), esta falha pode impactar os órgãos envolvidos no controle das vazões como o ONS e a ANA.

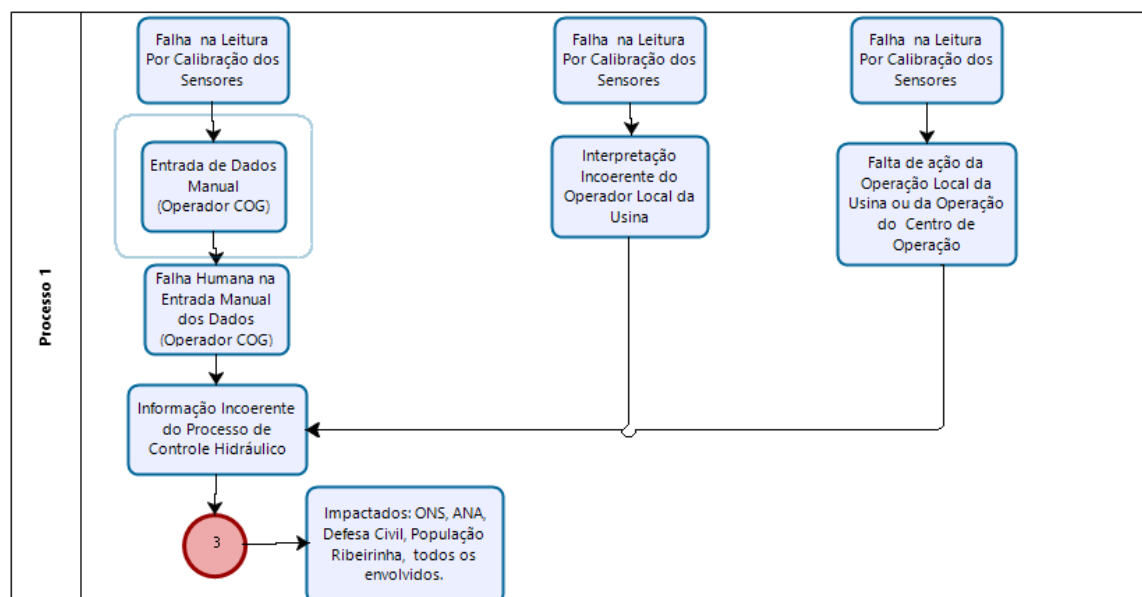
Figura 3.2-1 – Fluxograma da classificação das falhas de descalibração dos sensores



Fonte: produção própria.

Na figura 3.2-2 nota-se que a da falha de descalibração em nível três faz com que sejam fornecidas informações incoerentes ao sistema, o que pode gerar conflitos que atingem tanto a população ribeirinha como os órgãos governamentais envolvidos na geração de energia, como ONS e ANA.

Figura 3.2-2 – Fluxograma da falha de descalibração dos sensores

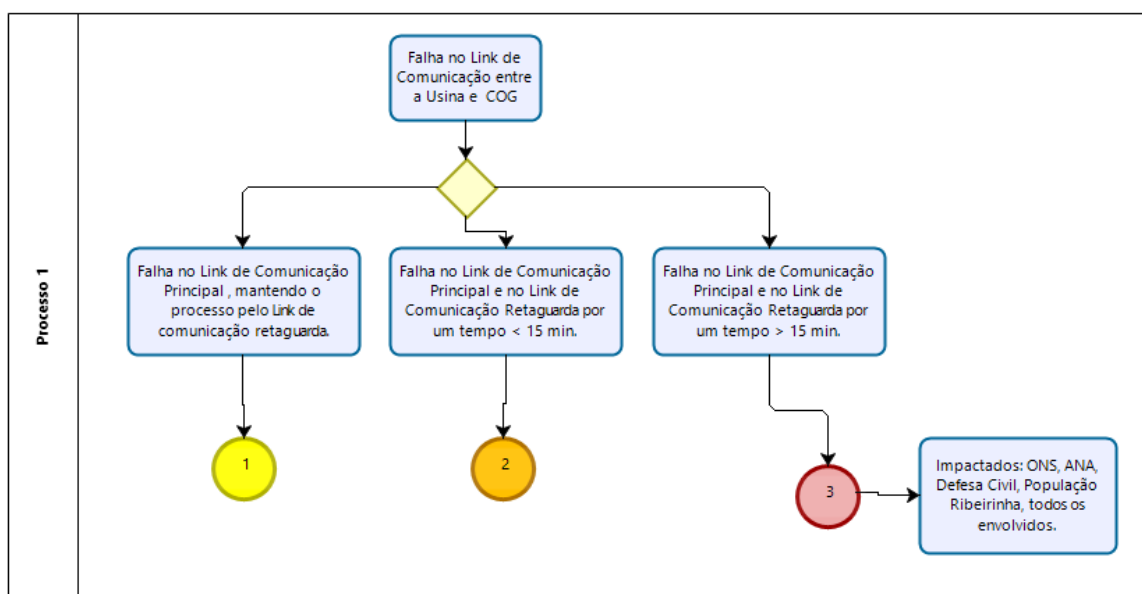


Fonte: produção própria.

Caso haja uma falha na comunicação entre a Usina e o Centro de Operações (COG), o impacto também será alto em caso o tempo de retaguarda for superior a quinze minutos, podendo afetar órgãos governamentais e populações ribeirinhas (Figura 3.2-3). Em nível grave esta falha pode ser gerada seja pela entrada manual errônea dos dados, seja por uma comunicação entre a usina com o COG. Em caso haja a falha no link de comunicação, ocorrerá o preenchimento automático pelo P.I. *System*, que repetirá a última leitura válida. Frente a isso, se o COG não tomar ciência da mensagem de preenchimento automático, pode ser passada uma informação incoerente com o controle hidráulico, o que afetaria os órgãos e populações ribeirinhas; em caso o operador tome ciência da mensagem de preenchimento automático e corrija manualmente a informação passada pelo P.I. *System*, a falha pode ser mantida caso esse dado não seja corretamente digitado (Figura 3.2-4).

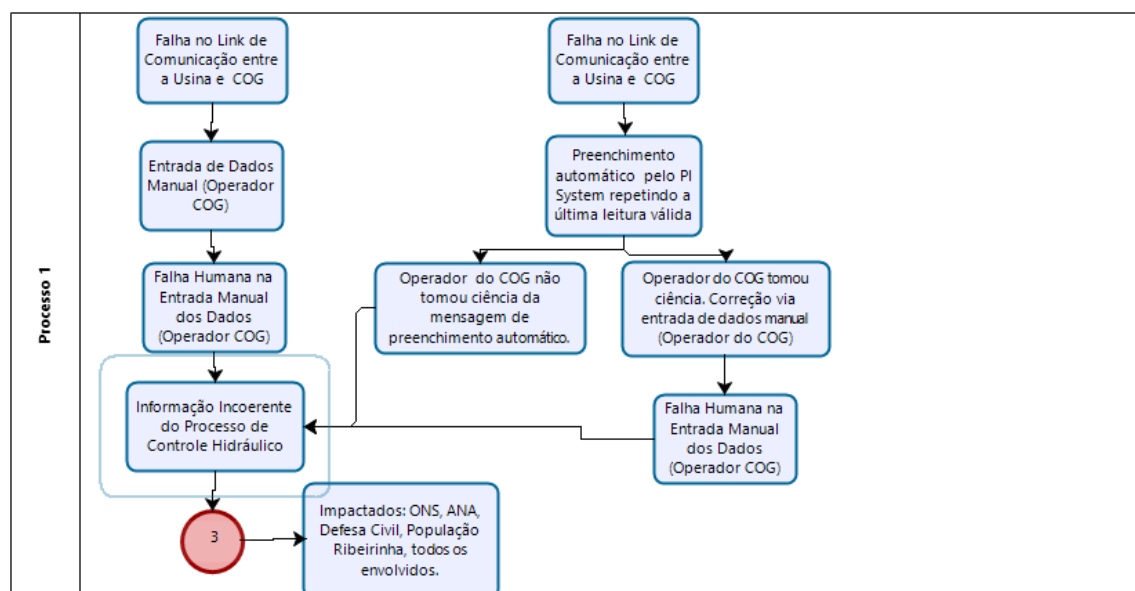
Outra possível falha que pode ocorrer é a falha no P.I. *System*, Há de se entender que (Figura 3.2-5). Caso isso ocorra é necessário que os dados sejam inseridos manualmente. Para tanto há então a ampliação das chances de falhas humanas decorrentes da entrada dos dados, da coleta de dados e da interpretação dos dados.

Figura 3.2-3 – Fluxograma da falha de comunicação entre Usina e o Centro de Operações



Fonte: produção própria.

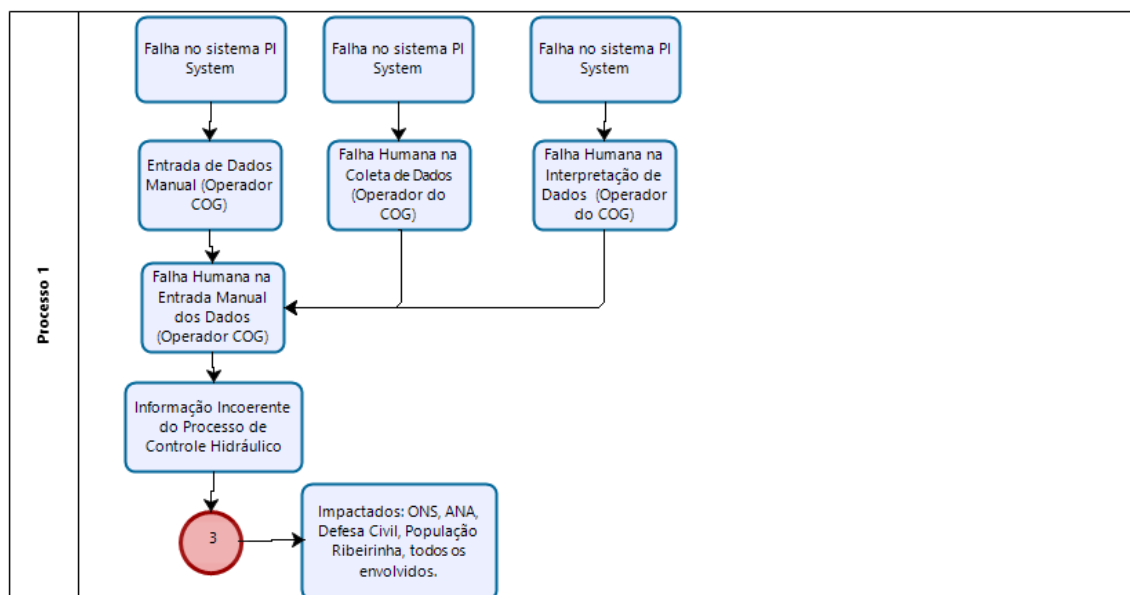
Figura 3.2-4 – Fluxograma da falha de comunicação entre Usina e o Centro de Operações



Fonte: produção própria.



Figura 3.2-5 – Fluxograma da falha no P.I. System

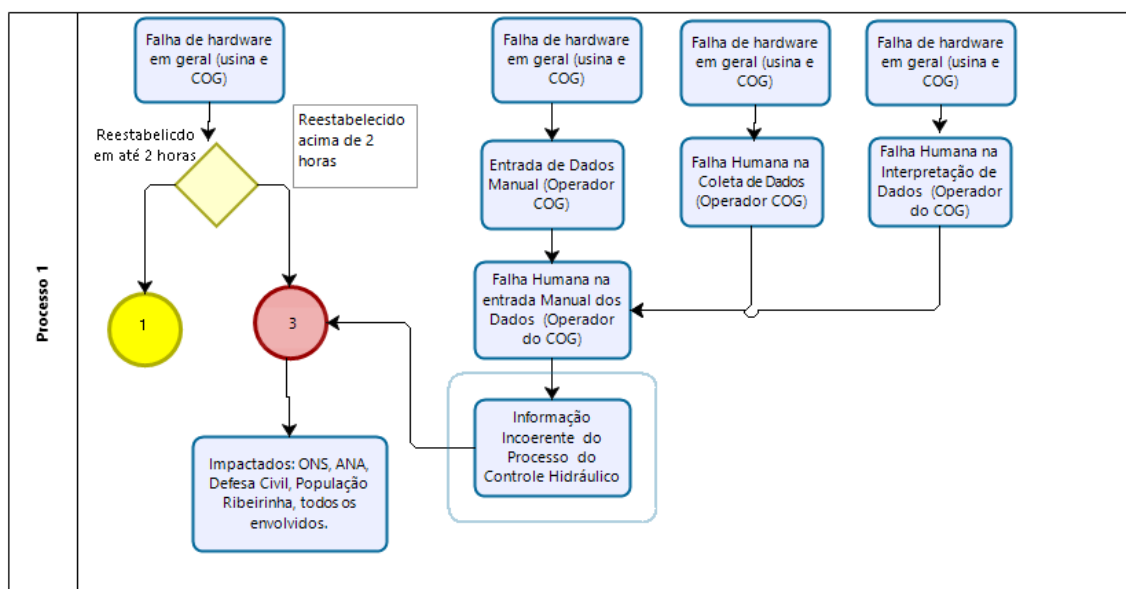


Fonte: produção própria.

Caso a falha registrada seja referente a um hardware, seja na usina, seja no COG, há inúmeras coisas que chamam atenção. Primeiro se faz necessário entender que caso a falha no hardware seja resolvida e o equipamento reestabelecido em menos de duas horas, esta falha assume uma categoria de baixa importância, porém, caso demore mais do que duas horas para o reestabelecimento, a falha passa a ser interpretada como grave (Figura 3.2-6). Os principais motivos que podem levar a esta falha assumir uma categoria de grave são as falhas humanas decorrentes da necessidade de se imputar, coletar e interpretar dados que até então, desde a automação, eram feitos pelo sistema. Com isso, observa-se que as falhas humanas podem agravar algo que anteriormente poderia ser resolvido de modo a não se assumir uma categoria elevada de gravidade.

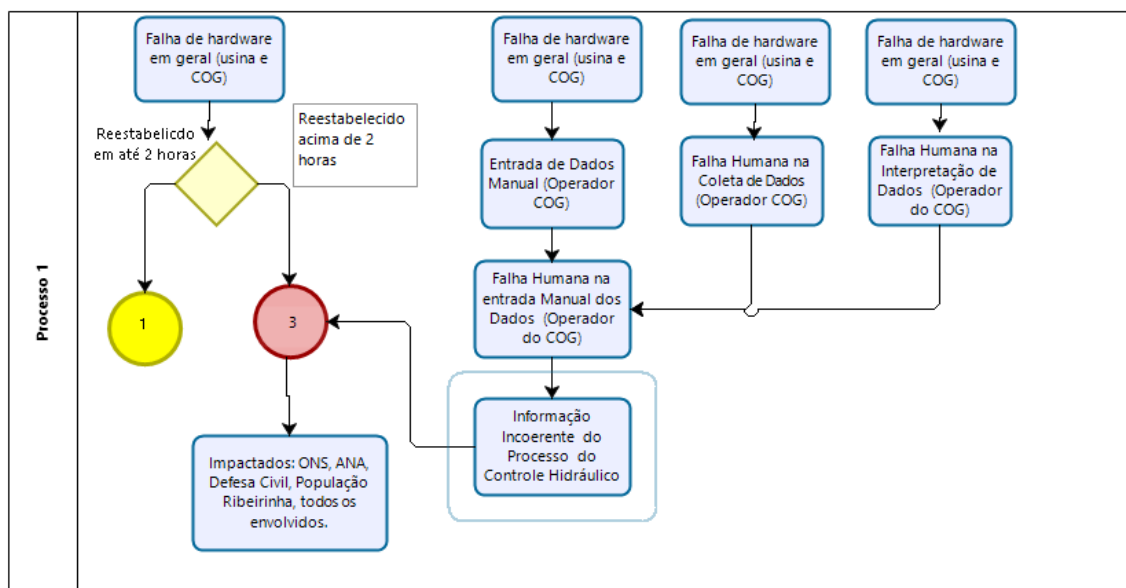
Por fim, as falhas humanas decorrentes aos valores digitais são sempre de elevada gravidade como todas as outras de sistema que se potencializam por falhas humanas. A principal razão desta falha humana está na verificação dos dados digitais, que pode levar a uma interpretação incoerente do operador local e, conseqüentemente, a passagem de uma informação errônea que afeta tanto os órgãos governamentais como as populações ribeirinhas (Figura 3.2-7).

Figura 3.2-6 – Fluxograma da falha no hardware



Fonte: produção própria.

Figura 3.2-7 – Fluxograma da falha humana dos valores digitais



Fonte: produção própria.

### 3.3 DESCRIÇÃO DOS PROCESSOS DO MONITORAMENTO DAS BACIAS

A rotina de monitoramento das Bacias é pautada em três conceitos: [i] a afluência, que mede a quantidade de água que chega ao reservatório; [ii] a defluência, que mede o total de água que sai do barramento hidráulico à jusante; [iii] e a vazão, que consiste no volume de determinado fluido que passa por uma seção de um conduto livre ou forçado, por uma unidade de tempo. Assim, para que a padronização da obtenção de insumos define-se as seguintes etapas:

- ✓ Coleta de variáveis;
- ✓ Coleta de previsões meteorológicas;
- ✓ Coleta de variáveis hidrológicas;
- ✓ Previsão da geração;
- ✓ Conclusão.

Estas etapas ocorrem da seguinte maneira. O *PI System* coleta de forma automática a cada 15 minutos as variáveis oriundas das estações telemétricas instaladas ao longo do rio, como por exemplo a vazão do rio; o nível do rio; e a quantidade de chuva. Além destas variáveis, o sistema coleta de forma automática a previsão de milímetros de chuva através do Portal Somar Meteorologia (2019).

No que se refere as variáveis hidrológicas, o *PI System* coleta automaticamente os níveis altimétricos (N.A) montante e jusante; e a potência ativa da unidade geradora, produzindo leituras dos medidores de energia gerada (MW/h) por unidade geradora. Estas variáveis são exatamente as mesmas utilizadas para o controle hidráulico. De posse destas variáveis, o *PI System* executa um algoritmo inteligente e fornece a previsão da geração para as próximas 24 horas. Essa proposta é analisada por um técnico de operação, o qual verifica outras variáveis externas que podem influenciar no programa proposto, tais como planejamento de manutenção em unidade geradora; restrições eletromecânicas; restrições hidráulicas e ambientais. Concluindo a análise o Programa de Geração é submetido ao Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) que, por sua vez, analisa e consolida as informações, alterando ou aceitando o Programa de Geração proposto, conforme a necessidade do Sistema Interligado Nacional (SIN). Por fim, o *PI System* coleta de forma automática o Programa de Geração consolidado pelo ONS.

No que se refere aos atores jurídicos e civis que atuam no monitoramento das bacias, destaca-se

- ✓ Técnico de Pré-operação
- ✓ Engenheiro de Pré-operação
- ✓ Técnico de Pós-operação
- ✓ Engenheiro de Pós-operação
- ✓ Operador Nacional do Sistema Elétrico - ONS

O grupo dos técnicos de Pré-operação do COG é composto por dois profissionais sendo eles responsáveis pela análise do cenário proposto pelo P.I. *System*, a fim de verificar se esse atende a requisitos como [i] planejamento de manutenção em unidade geradora; [ii] restrições eletromecânicas; [iii] restrições hidráulicas e ambientais; e [iv] e envio do Programa de Geração ao ONS. Fica a cargo do engenheiro de Pré-operação do Centro de Operação da Geração a validação da programação hidroenergética executada pelos técnicos de pré-operação, dando suporte nas questões técnico operacionais do processo e solução de conflito.

Já os técnicos de Pós-operação dos COG, também em dois, são responsáveis pela análise de possíveis falhas no processo de programação da geração (planejamento e/ou execução), bem como por propor melhorias, consolidando os dados e indicadores do processo de programação da geração. Fica a cargo do engenheiro de Pós-operação do COG o suporte nas questões técnico operacionais do processo relacionado a análise da operação e solução de conflito.

De posse das informações, o Operador Nacional do Sistema Elétrico consolida o Programa de Geração (PDG) levando em conta todas as restrições, manutenções do Sistema Interligado Nacional (SIN), a fim de atender a demanda de carga do período. O processo é realizado de forma a otimizar os recursos de maneira imparcial, isonômica visando o gerenciamento dos recursos para manter a estabilidade elétrica do sistema, ou seja, sem risco de *black-out*.

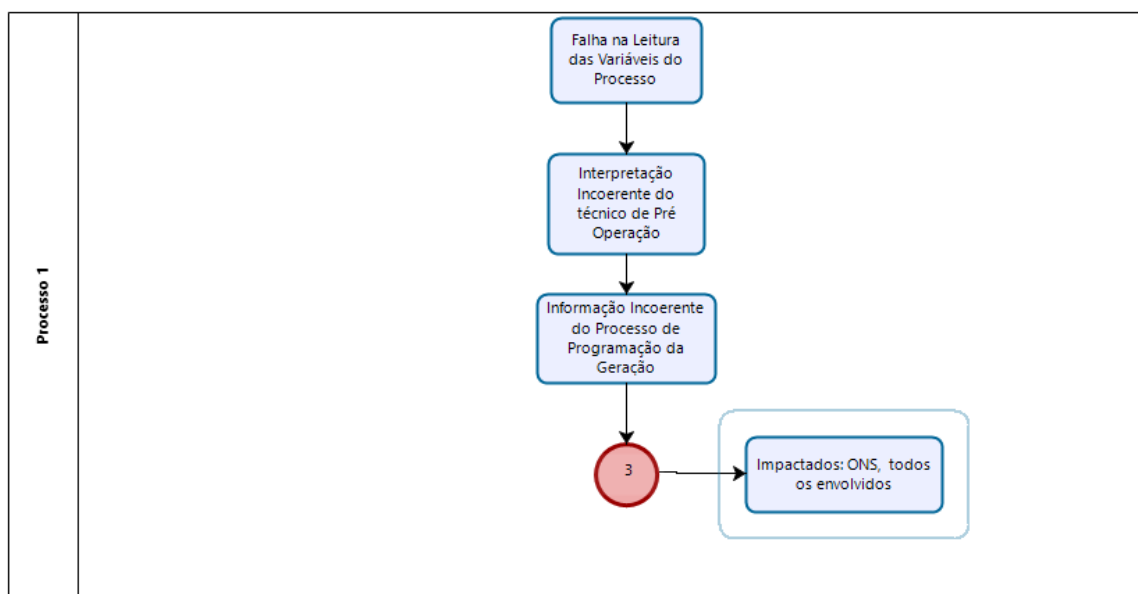
### 3.4 FALHAS POSSÍVEIS DA AUTOMAÇÃO DO MONITORAMENTO DAS BACIAS

Uma vez implementada a automação as possíveis falhas esperadas para o sistema são:

- ✓ Falhas nas variáveis do processo;
- ✓ Falhas no link de comunicação;
- ✓ Falhas no P.I. *System*;
- ✓ Falhas humanas na verificação.

As falhas nas variáveis do processo podem gerar uma interpretação incoerente do técnico de pré-operação que, por sua vez passa esta informação ao programa de geração, conferindo um grau elevado de risco (Figura 3.4-1).

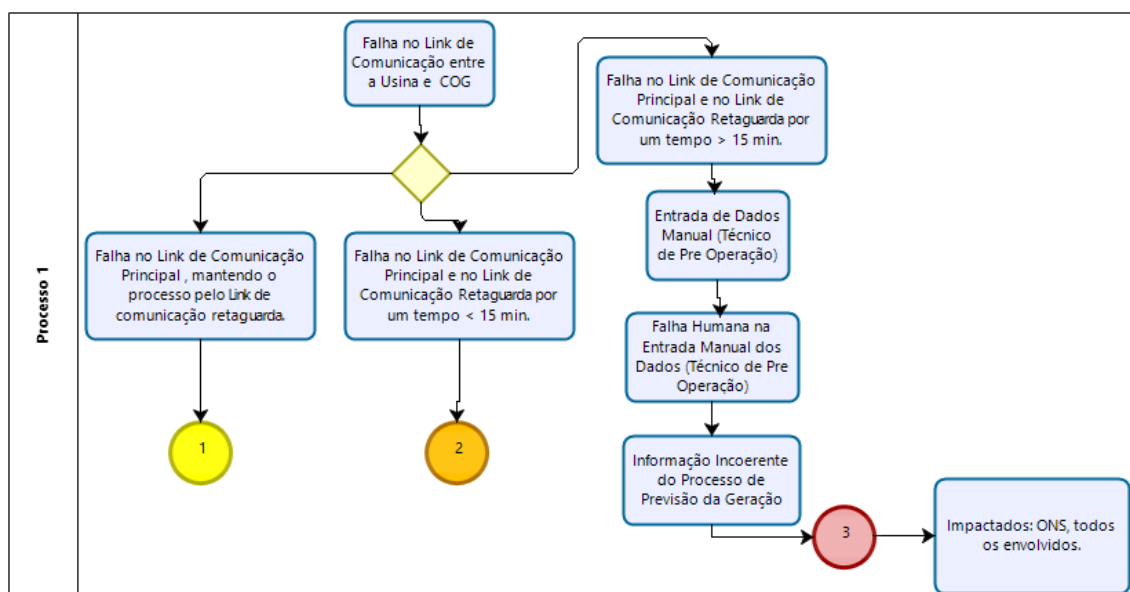
Figura 3.4-1 – Fluxograma da falha na leitura das variáveis



Fonte: produção própria.

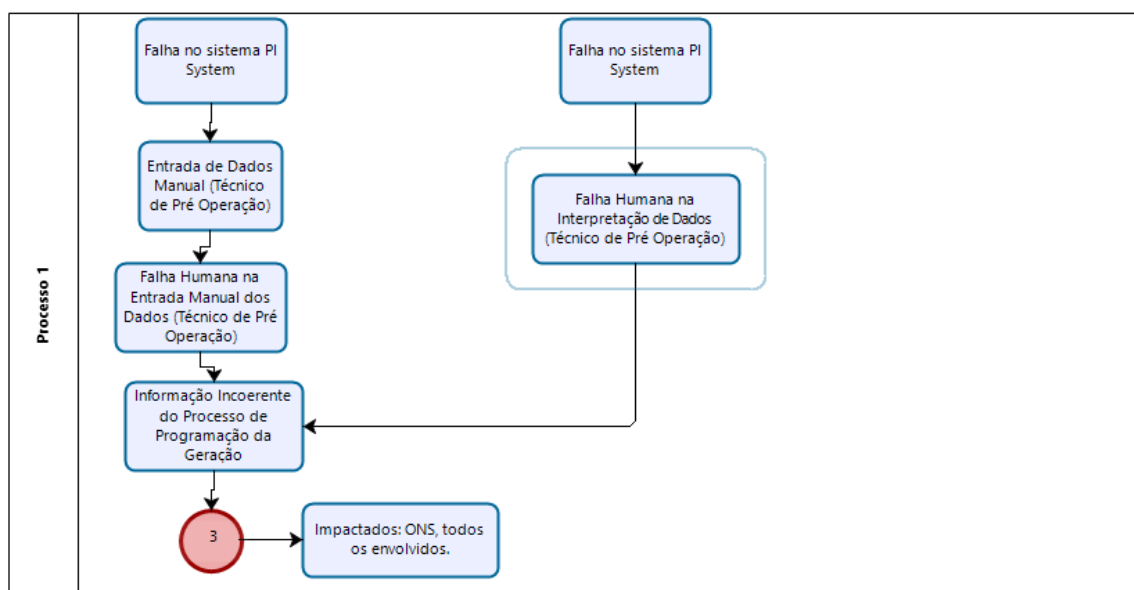
Já no que se referem as falhas nos links de comunicação, assim como a falha nas variáveis pode assumir um grau elevado de risco uma vez que tais informações errôneas podem ser passadas pelo técnico de pré-operação até o programa de geração (Figura 3.4-2). Caso a falha de comunicação seja contornada em menos de quinze minutos essa assume uma importância baixa ou média.

Figura 3.4-2 – Fluxograma da falha no link de comunicação



Fonte: produção própria.

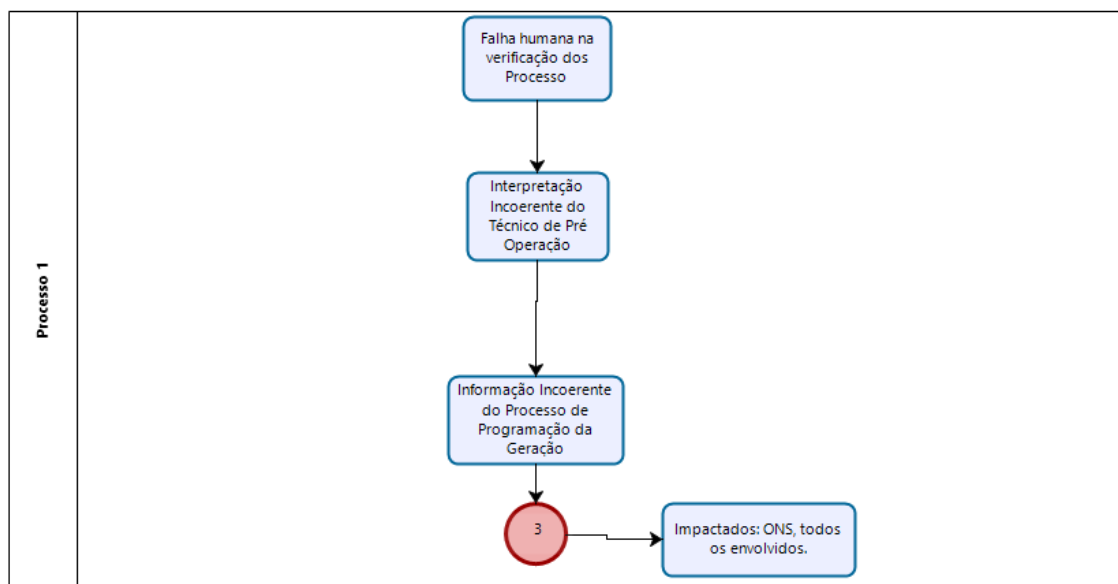
Em caso de falhas no P.I. *System* as falhas assumem sempre uma importância elevada e são geradas pela necessidade de entrada manual dos dados por parte dos técnicos de pré-operação (Figura 3.4-3). Esta falha decorre-se da interpretação errônea que o técnico pode obter.

Figura 3.4-3 – Fluxograma da falha no P.I. *System*

Fonte: produção própria.

No fluxograma da falha de verificação observa-se que essa também assume elevada importância e sua ocorrência assenta-se sobre o técnico de pré-operação (Figura 3.4-4).

Figura 3.4-4 – Fluxograma da falha na verificação do PDG



Fonte: produção própria.

### 3.5 CONSIDERAÇÕES E SÍNTESE DO CAPÍTULO

O presente capítulo consistiu em uma apresentação da automação utilizada pela empresa no controle hidráulico e no monitoramento de bacias. Abordou-se também as falhas passíveis de ocorrerem a partir desta automação e percebe-se que todas elas recaem sobre o trabalho manual, caso o sistema falhe de alguma maneira.

A partir deste capítulo foi possível compreender a importância desta automação para a redução de falhas, além de se conhecer o número de pessoas envolvidas para que seja garantido à população energia constante.

Outra importância deste capítulo foi poder perceber que as falhas apresentam níveis de risco e danos, sendo aquele mais elevado sempre recaindo sobre órgãos governamentais e população, mostrando, assim, a importância de se manter um sistema mais limpo possível para se evitar prejuízos sociais, econômicos e até políticos.

Com base nisso, o capítulo seguinte abordará todo o processo de automação mostrando o antes e o depois desta adoção. Espera-se com o capítulo seguinte obter o conhecimento do quanto é benéfica a automação no processo industrial de larga escala como a geração de energia.

Ainda acerca do próximo capítulo espera-se que o leitor adquira o conhecimento das etapas realizadas para a redução de falhas e que, ao fim, ele possa traçar um paralelo disso com a importância da automação apresentada no capítulo 2.



## 4 DETALHAMENTO DO PROCESSO DE AUTOMAÇÃO NA MEPRESA

O objetivo deste capítulo é descrever os resultados obtidos pela automatização dos processos de controle hidráulico e monitoramento das vazões, apresentando uma discussão sob o viés da confiabilidade humana.

### 4.1 ROTINAS DA EMPRESA PRÉ-AUTOMATIZAÇÃO

Desde o início de sua atuação na geração de energias no Brasil, a empresa adotava um modelo manual de controle e monitoramento de suas rotinas. No que se refere ao controle hidráulico, a obtenção, o registro e a transmissão de dados referentes aos reservatórios, além dos cálculos de vazões em tempo real eram obtidos através da elaboração diária de planilhas via Excel, contendo uma aba para cada uma das dezesseis usinas, e alimentadas hora a hora em um processo manual e isolado (Figura 4.1-1).

Figura 4.1-1 – Planilha de controle hidráulico manual

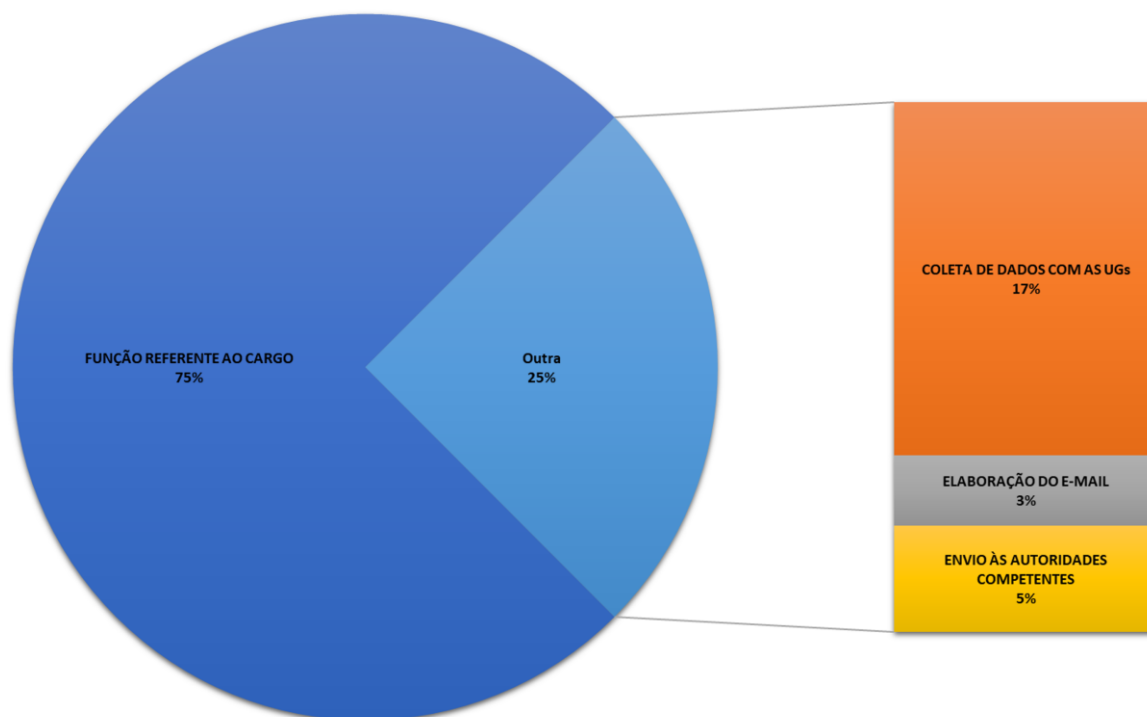
Planilha Porto Grande												Controle Hidráulico da Unidade												LIMITE DE OPERAÇÃO							
Nível Guia do Dia (m)												Data												MÁXIMO		MÍNIMO					
MÍNIMO: 58,15												08 / 05 / 2018												23 MW		23 MW		23 MW		MÍNIMO	
MÁXIMO: 58,30																								74 MW		74 MW		74 MW		MÁXIMO	
Horário	Níveis (m)			Turbina	Ventos	Defluente	Acumulada	Afluente	Afluente Ref.	Módulo/h	UG - 1		UG - 2		UG - 3		TOTAL GERADO	PGM PROGRAMADO	STATUS												
	Montante	Jusante	Quebra								m³/s	MW	m³/s	MW	m³/s	MW				m³/s	MW										
0000	57,76							2373									150	148													
0100	57,77	42,70	16,1	1079	1294	2373	149	2522	2448	2392	360	50	360	50	360	50	150	148													
0200	57,77	42,70	16,1	0	1079	1335	2414	0	2414	2468	2415	360	50	360	50	360	50	150	148												
0300	57,77	42,70	16,1	0	1079	1335	2414	0	2414	2414	2426	360	50	360	50	360	50	150	148												
0400	57,77	42,70	16,1	0	1079	1335	2414	0	2414	2414	2436	360	50	360	50	360	50	150	148												
0500	57,77	42,71	16,1	0	1079	1335	2414	0	2414	2414	2428	360	50	360	50	360	50	150	148												
0600	57,78	42,72	16,1	1	1079	1335	2414	150	2564	2489	2433	360	50	360	50	360	50	150	148												
0700	57,78	42,73	16,1	0	1079	1390	2469	0	2469	2516	2458	360	50	360	50	360	50	150	148												
0800	57,78	42,74	16,0	0	1079	1390	2469	0	2469	2469	2472	360	50	360	50	360	50	150	148												
0900	57,78	42,74	16,0	0	1079	1390	2469	0	2469	2469	2486	360	50	360	50	360	50	150	148												
1000	57,77	42,74	16,0	-1	1079	1431	2510	-149	2361	2415	2467	360	50	360	50	360	50	150	148												
1100	57,76	42,76	16,0	-1	1079	1431	2510	-149	2361	2361	2428	360	50	360	50	360	50	150	148												
1200	57,75	42,75	16,0	-1	1082	1431	2513	-149	2365	2365	2402	360	50	256	35	467	65	150	148												
1300	57,74	42,75	16,0	-1	1082	1431	2513	-148	2365	2365	2376	360	50	256	35	467	65	150	148												
1400	57,73	42,75	16,0	-1	1082	1431	2513	-148	2366	2365	2364	360	50	256	35	467	65	150	148												
1500	57,73	42,75	16,0	0	1082	1431	2513	0	2513	2440	2383	360	50	256	35	467	65	150	148												
1600	57,73	42,74	16,0	0	1082	1431	2513	0	2513	2513	2421	360	50	256	35	467	65	150	147												
1700	57,72	42,74	16,0	-1	1082	1431	2513	-147	2366	2440	2440	360	50	256	35	467	65	150	148												
1800	57,72	42,74	16,0	0	1082	1431	2513	0	2513	2440	2458	360	50	256	35	467	65	150	148												
1900	57,72	42,73	16,0	0	1082	1431	2513	0	2513	2513	2477	360	50	256	35	467	65	150	148												
2000	57,71	42,73	16,0	-1	1082	1431	2513	-147	2366	2440	2458	360	50	256	35	467	65	150	148												
2100	57,71	42,71	16,0	0	1082	1431	2513	0	2513	2440	2458	360	50	256	35	467	65	150	148												
2200	57,70	42,71	16,0	-1	1082	1431	2513	-147	2367	2440	2458	360	50	256	35	467	65	150	148												
2300	57,70	42,72	16,0	0	1079	1431	2510	0	2510	2438	2440	360	50	360	50	360	50	150	148												
2400	57,70	42,73	16,0	0	1079	1431	2510	0	2510	2510	2457	360	50	360	50	360	50	150	148												
M.D.					1081	1400	2481	-57	2444			1200		1035	1365	3100	3547														
MAX	57,8	42,8	15,07	1,00	1082	1431	2513	150	2564	2516	2486	360	50	360	50	467	65	150													
MIN	57,7	42,7	14,97	-1,00	1079	1294	2373	-149	2361	2361	2361	360	50	256	35	360	50	150													
TOTAL					25934	1400	59538	-885	88653	58585		8632	1200	7467	1035	8915	1365	3600													

Fonte: elaboração própria.

A adoção desta medida gerava inúmeras dificuldades desde a atualização da planilha como para a consulta de dados decorrente do volume de dados imputados na planilha. O processo de alimentação da planilha consistia em o técnico de tempo real do COG ligar para as usinas, coletar via telefone ao N.A. Montante; N.A. Jusante; Potência Ativa das usinas; e Abertura de Comportas. Estes dados eram manualmente digitados e depois era elaborado um e-mail para ser enviado às autoridades competentes, sendo, no total, três e-mails a cada hora.

Na prática, o tempo total do processo de controle hidráulico das usinas somava 25% da hora do dia (15 minutos), o que corresponde a duas horas de trabalho do funcionário, somado todo seu tempo laboral, sendo que destes 25% só para coleta e envio de dados, 10% refere-se à coleta, ou seja, ao tempo que o técnico em tempo real era obrigado a passar ao telefone pegando os dados com as usinas geradoras (Figura 4.1-2).

Figura 4.1-2 – Relação percentual do tempo gasto com atividades burocráticas (outras) para coleta de dados e envio dos mesmos às autoridades competentes, considerando uma jornada de trabalho de oito horas diárias



Fonte: elaboração própria.

Além do empecilho tempo, dois outros fatores contribuíam para a queda na confiabilidade do processo. O primeiro é inerente ao próprio ser humano quando submetido a uma repetição excessiva de suas atividades laborais: o cansaço. Diante da repetição as atividades manuais hora a hora, os atores ocupacionais desta função destacam-se pela alta vulnerabilidade aos deslizes esperados pelo estresse. Este fator ainda abre portas para que, diante da impunidade, funcionários mais “espertos” transgridam-se intencionalmente visando menos trabalho e mais horas de folga. Outro fator limitante para a confiabilidade é a própria medição nas usinas. O operador local da usina, que fazia toda a medição manualmente, pendenciava aos arredondamentos, visando facilitar sua atividade repetitiva (transgressão intencional). Assim, ao se calcular os dados referentes às análises de riscos e previsões para cada usina, o engenheiro de tempo real do COG tinha em suas mãos valores nem sempre precisos, o que favorecia a ocorrência de enganos que fragilizavam o sistema de geração de energia do Grupo.

No que tange o monitoramento das Bacias e a previsão de vazão afluente, a integração e o monitoramento das informações de fluviometria; pluviometria; nível; e vazão dos rios das usinas hidrelétricas da empresa possibilitam o desenvolvimento de algoritmos para previsão das informações hidrológicas com antecedência de aproximadamente um dia, fornecendo subsídio para tomada de decisões e evitando riscos operacionais e socioambientais das plantas de geração.

Tradicionalmente este processo foi realizado pela obtenção de dados isolados em diferentes sistemas (relatórios, *sites* de estações telemétricas; e planilhas), gerando uma enorme dificuldade na consulta de dados históricos e análise de tendência. Este monitoramento é importante por fornecer efeito remanso à montante da usina, podendo através dele serem calculados os riscos ambientais, porém devido à falta de dados para evitar o elevado número de manobras nas comportas, essa avaliação se torna comprometida.

Além disso, outro desafio a ser superado antes da automatização é a perda de geração e disponibilidade das usinas geradoras, decorrente da falta de dados para facilitar a tomada de decisão em relação ao despacho hidráulico e energético do empreendimento. Bem como no controle hidráulico, os fatores que mais contribuíam para estas lacunas era a repetição das atividades manuais, que gerava muitos *stakeholders*.

## 4.2 O CONTROLE HIDRÁULICO APÓS A AUTOMATIZAÇÃO

A partir da inclusão do controle hidráulico no PI System, os processos que compõem todo o controle passaram a ser observados hierarquicamente. Isso significa que por meio de um alinhamento adequado e fazendo-se uso de uma lógica de programação (Figura 4.2-1) já refinada, as rotinas diárias passaram a depender uma das outras para o sistema, gerando alertas sempre que alguma não consegue, por algum motivo, ser medida.

Figura 4.2-1 – Lógica de programação utilizada para imputar os dados no PI System, garantindo a dependência hierárquica das medições

The screenshot shows the PI System Explorer interface for a process named 'UCCA'. The main window displays a list of elements and a detailed view of the 'UCCA' process, including its name, description, and a table of variables with their expressions and output attributes.

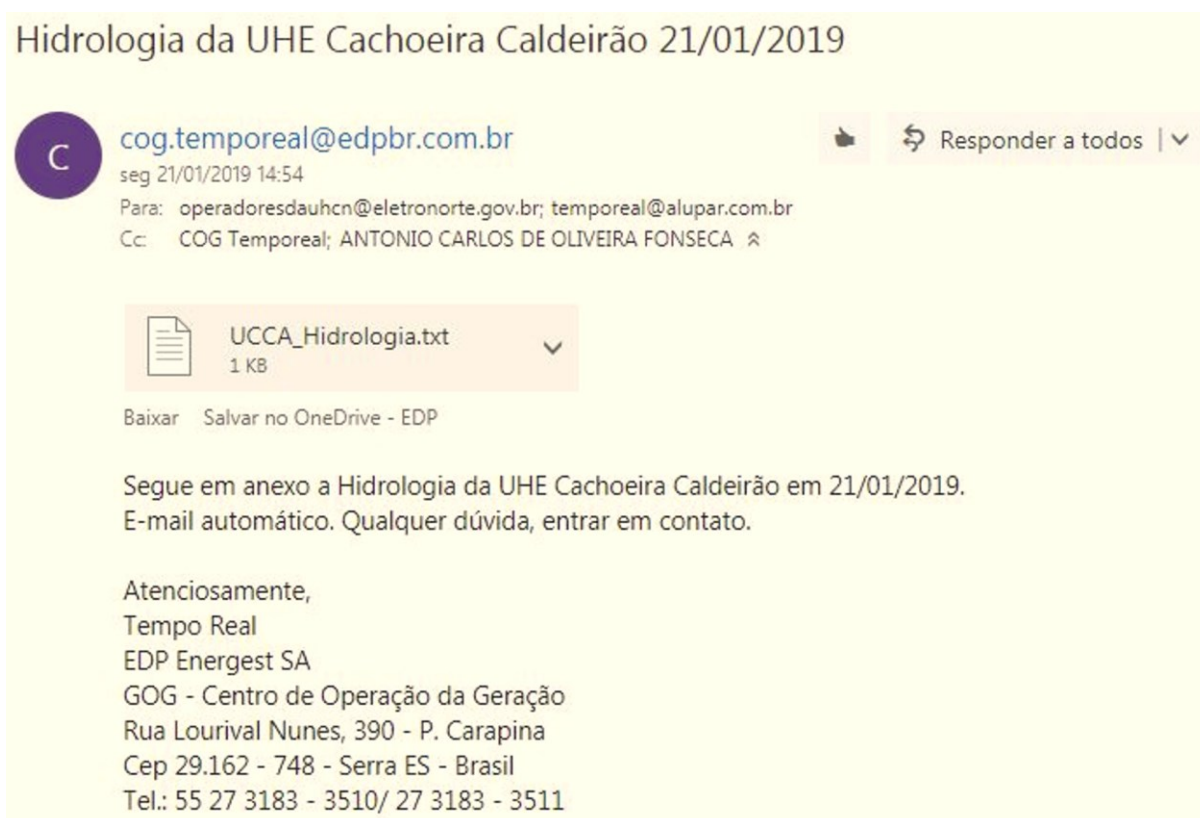
Name	Expression	Output Attribute
v3Start2a_etapa	'Acumulada'	Map
v3PotMed%UG1	if BadVal(TagAvg('Potencia Ativa Instantanea UG1', '*-1h', '')) then PrevVal('Potencia Ativa Media UG1', '*-1h', '') else Round(TagAvg('Potencia Ativa Instantanea UG1', '*-1h', ''))	Potencia Ativa Media UG1
v3PotMed%UG2	if BadVal(TagAvg('Potencia Ativa Instantanea UG2', '*-1h', '')) then PrevVal('Potencia Ativa Media UG2', '*-1h', '') else Round(TagAvg('Potencia Ativa Instantanea UG2', '*-1h', ''))	Potencia Ativa Media UG2
v3PotMed%UG3	if BadVal(TagAvg('Potencia Ativa Instantanea UG3', '*-1h', '')) then PrevVal('Potencia Ativa Media UG3', '*-1h', '') else Round(TagAvg('Potencia Ativa Instantanea UG3', '*-1h', ''))	Potencia Ativa Media UG3
v3FalhaLeituraPI	if BadVal(TagAvg('Potencia Ativa Instantanea UG1', '*-1h', '')) or BadVal(TagAvg('Potencia Ativa Instantanea UG2', '*-1h', '')) or BadVal(TagAvg('Potencia Ativa Instantanea UG3', '*-1h', ''))	FalhaLeituraOPC
v4PotenciaUG1xQueda	(v3PotMed%UG1 * 100) + 'Queda Aux para UG'	Potencia UG1 x Queda
v4PotenciaUG2xQueda	(v3PotMed%UG2 * 100) + 'Queda Aux para UG'	Potencia UG2 x Queda
v4PotenciaUG3xQueda	(v3PotMed%UG3 * 100) + 'Queda Aux para UG'	Potencia UG3 x Queda
v4Start3a_etapa	v4PotenciaUG3xQueda	Start Etapa 3

The interface also shows a 'Scheduling' section with 'Event-Triggered' selected and 'Trigger on' set to 'Acumulada'. The status bar indicates 'Automatic recalculation: Enabled' and 'Connected to the PI Analysis Service'.

Fonte: elaboração própria.

Além da otimizar o tempo pela medição automática dos dados necessários para o controle hidráulico, o que já eleva a confiabilidade humana do processo, o *PI System* inclui em suas atividades de rotinas diárias automatizadas o envio de e-mails para os atores jurídicos envolvidos no processo de geração de energia (Figura 4.2-2).

Figura 4.1-2 – e-mail padrão encaminhado atores competentes no envolvimento da geração de energia

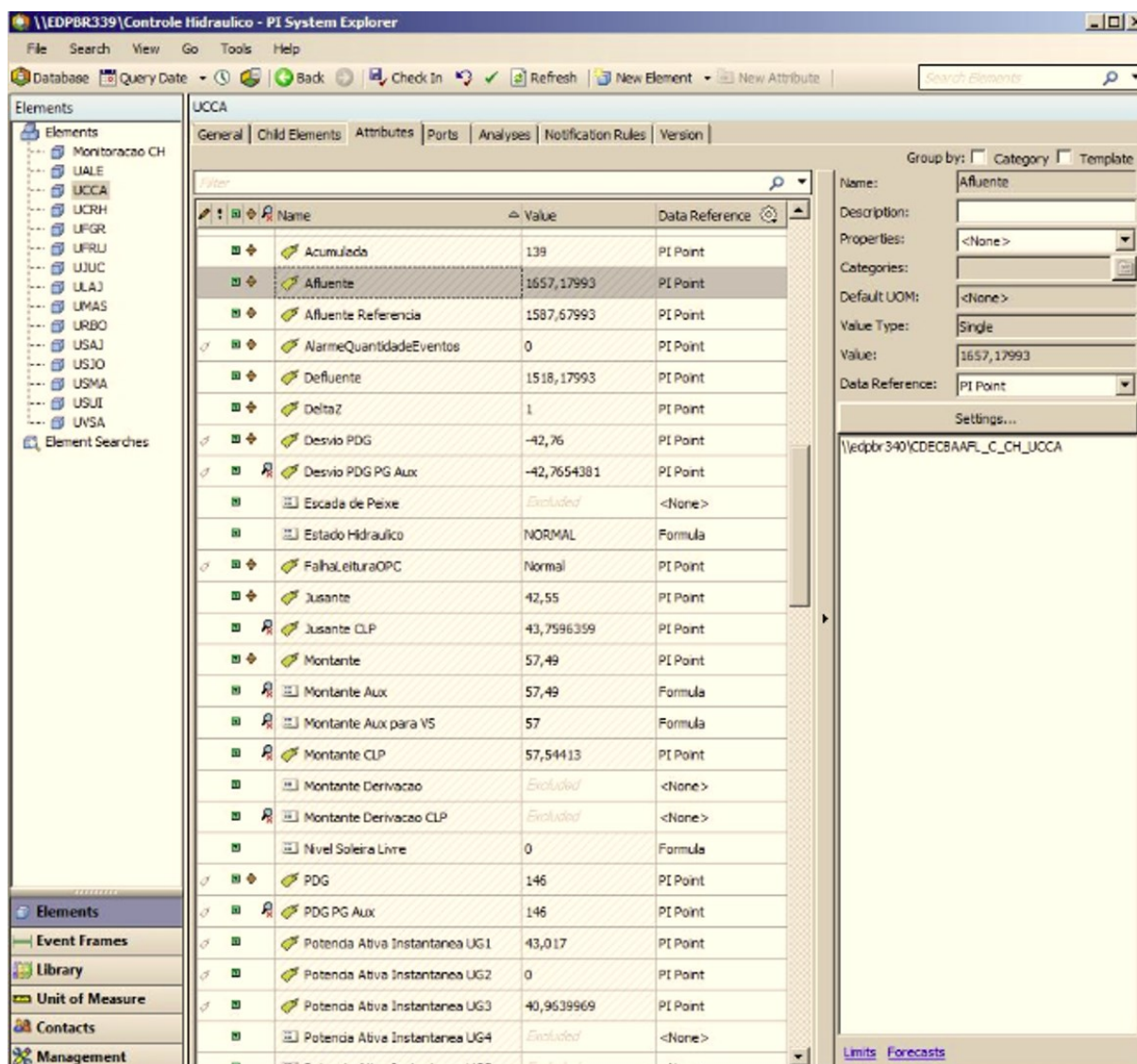


Fonte: elaboração própria.

Outro importante fator que aumenta a confiabilidade no processo de controle hidráulico das usinas geradoras é a possibilidade de acesso dos dados gerados, independente da localidade do responsável pela sua avaliação e análise (técnicos e engenheiros) (Figura 4.2-3). Esta medida se faz importante também na otimização do tempo de resolução de problemas, visto não ser necessário o profissional ter acesso a um determinado computador para que se possa acessar os dados e tomar decisões reparatórias e mitigatórias para o equilíbrio de funcionamento das usinas.



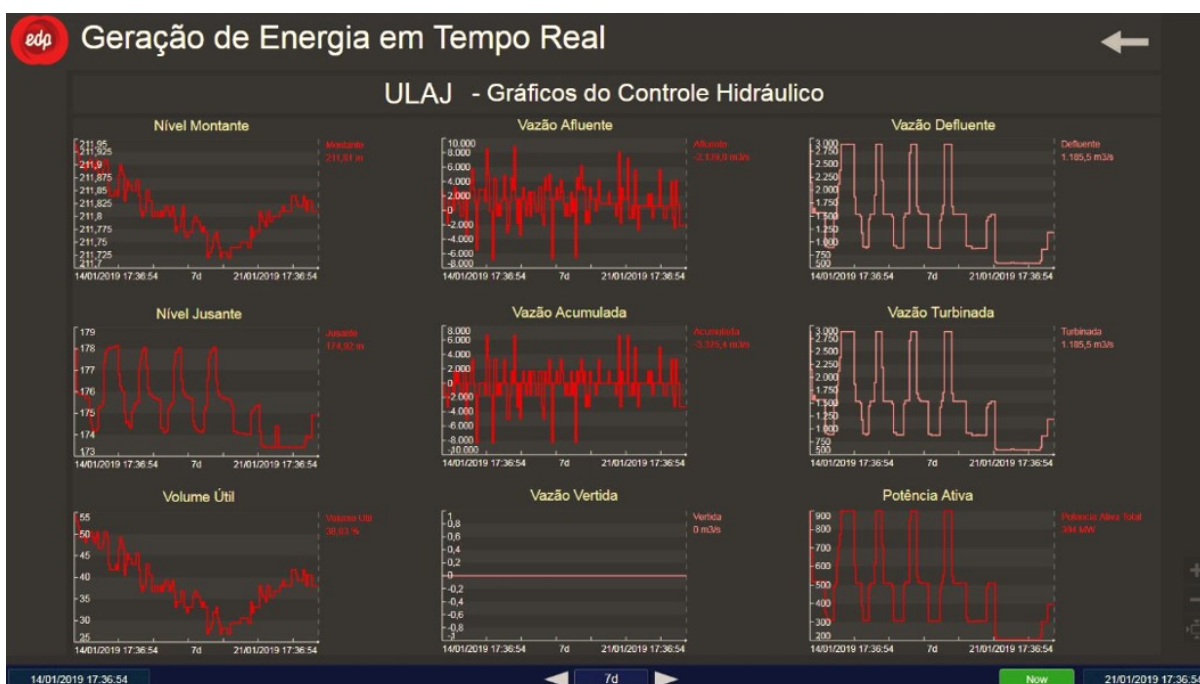
Figura 4.2-3 – Página do PI System acessada pelos atores envolvidos no processo de controle hidráulico, contendo dados atualizados constantemente e automaticamente



Fonte: elaboração própria.

Ainda no que tange o controle hidráulico das usinas, o PI System fornece, em tempo real, gráficos do controle que podem ser avaliados pelo engenheiro de tempo real e facilitando a tomada de decisões que tangem a solução de problemas (Figura 4.2-4). Estes gráficos contém a evolução das variáveis utilizadas para este controle, medidas hora a hora, pelo próprio sistema.

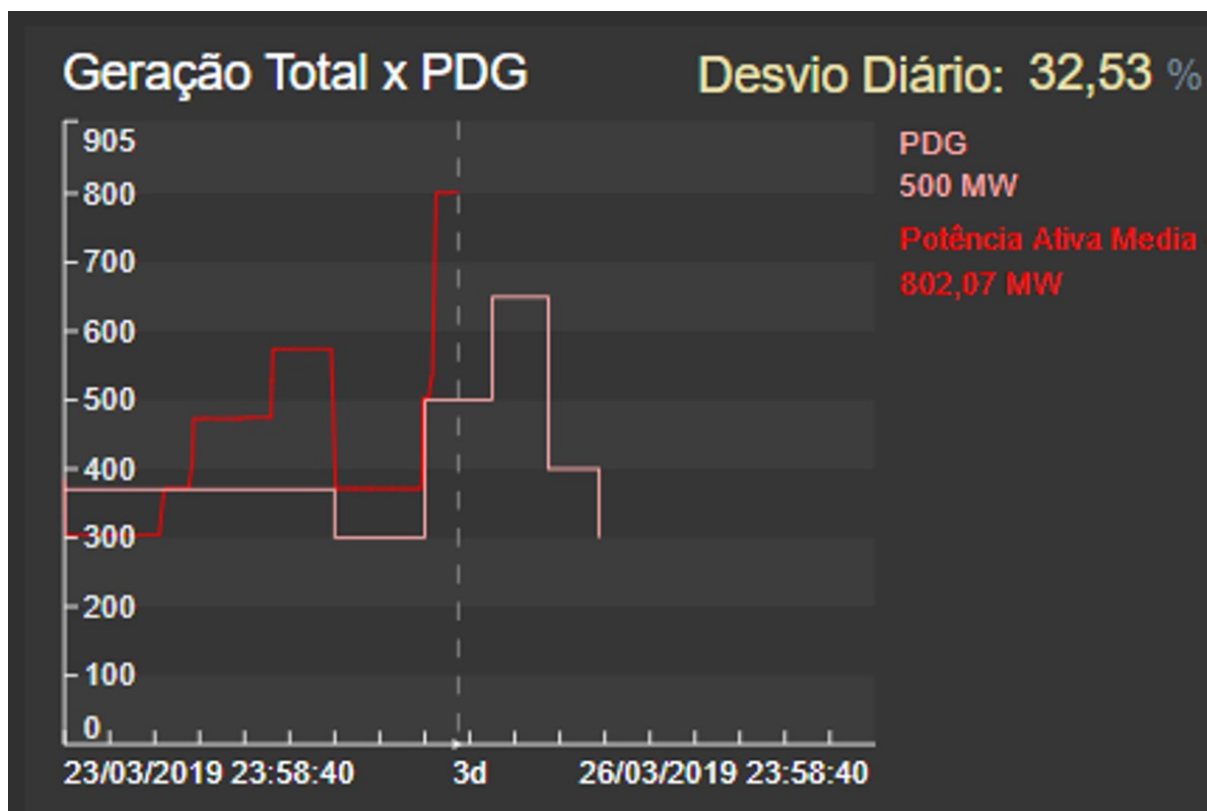
Figura 4.2-4 – Gráfico das variáveis utilizadas para o controle hidráulico, com medições automáticas pelo PI System medidas hora a hora



Fonte: elaboração própria.

Além dos gráficos que mostram as variáveis detalhadamente, o PI System ainda fornece um gráfico geração da geração de energia, por meio do qual há a previsibilidade daquilo que se espera gerar (linha rosa) e a realidade do que se foi gerado (linha vermelha) (Figura 4.2-5). É possível observar neste gráfico o desvio diário entre aquilo que se espera gerar e aquilo que se gera efetivamente. A interpretação deste gráfico requer a compreensão de seus indicadores: a linha pontilhada indica o dia atual; a linha rosa indica a previsibilidade de geração para aquela usina, no decorrer do mês; a linha vermelha indica a energia efetivamente gerada por aquela usina, no decorrer do mês em análise. Esse desvio entre o esperado e o efetivo dá-se por inúmeras razões, mas a principal delas é que as usinas funcionam sob tutela do ONS. Deste modo, caso o ONS solicite aumento ou redução na geração isso deve ser realizado independente da previsibilidade. O sistema automatizado facilita muito neste sentido, já que com dados precisos do que chega e do que sai de água é possível argumentar com o ONS o quanto se pode aumentar ou reduzir na geração de energia, sem que seja necessárias alertas ambientais e socioeconômicos às populações do entorno.

Figura 4.2-5 – Gráfico de ampla visualização da geração de energia em uma usina geradora, ao longo de dois dias mensais, elaborado automaticamente pelo PI System e que indicam as os desvios ocorridos pelo que é produzido e o que se prevê produzir



Fonte: elaboração própria.

Com a automatização do processo de controle hidráulico três respostas ante o conceito de confiabilidade foram observadas:

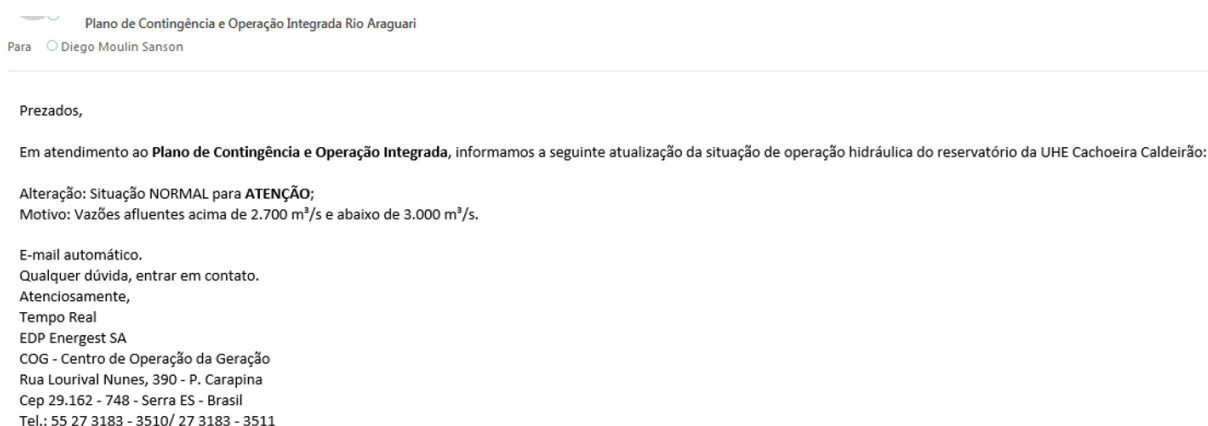
- ✓ A redução do tempo gasto para atividades rotineiras repetitivas, como a confecção das planilhas e o envio de e-mail, liberando, desta maneira, 25% a mais para que o responsável dedicasse às atividades específicas à função do cargo;
- ✓ Redução dos riscos de deslizes decorrentes do estresse e cansaço gerado pela atividade repetitiva diária;
- ✓ Aumento na precisão dos dados, uma vez que deixam de ser meramente estimativas arredondadas para dados precisamente pedidos pelo sistema.





Vale ressaltar que a obtenção precisa destes dados das estações telemétricas antes das barragens se faz necessária para que se o engenheiro de pré-operação seja capaz de prever decisões referentes à abertura das comportas, visando a mitigação de riscos ambientais como, por exemplo, o alagamento das comunidades ribeirinhas do entorno da área represada. Além destas ações que promovem o aumento da confiabilidade humana, a automatização da previsão de vazões permite a criação de um *template* simples e de fácil interpretação que, assim como para o controle hidráulico, é possível ser acessado de qualquer lugar que o profissional esteja. Esta ação reduz as chances de riscos operacionais e socioambientais e promove uma rotina mais eficiente aos atores envolvidos. Bem como para o controle hidráulico, o *PI System* também envia mensagens pré-programadas com as medições e análises realizados no dia, para os órgãos competentes (Figura 4.3-2).

Figura 4.3-2 – e-mail padrão encaminhado atores competentes no envolvimento da geração de energia



Fonte: elaboração própria.

Neste momento é importante entender que o é através das medições e previsões de vazões do afluente que a empresa pode conduzir o aumento ou a redução na geração de energias, conforme solicitado pelos órgãos competentes. Para compreender isso basta recordar do que já foi descrito para o controle hidráulico sobre os órgãos governamentais poderem solicitar mais ou menos geração. Porém associado a isso deve-se compreender a logística do que ocorre no cotidiano.

Supondo que anteriormente à automatização a decisão para abertura de compostas era feita subjetivamente, visando evitar ao máximo o risco de alagamento das comunidades ribeirinhas, agora essa previsão ocorre de maneira tão precisa que a empresa consegue economizar mais de um milhão e meio anual só com essa automatização. O cálculo para chegar desse valor é feito com base em dados como expostos na figura 4.3-3.

Figura 4.3-3 – Base do cálculo para previsão de economia com a automatização, no que tange a inclusão do monitoramento de Bacias e previsão de vazão afluente

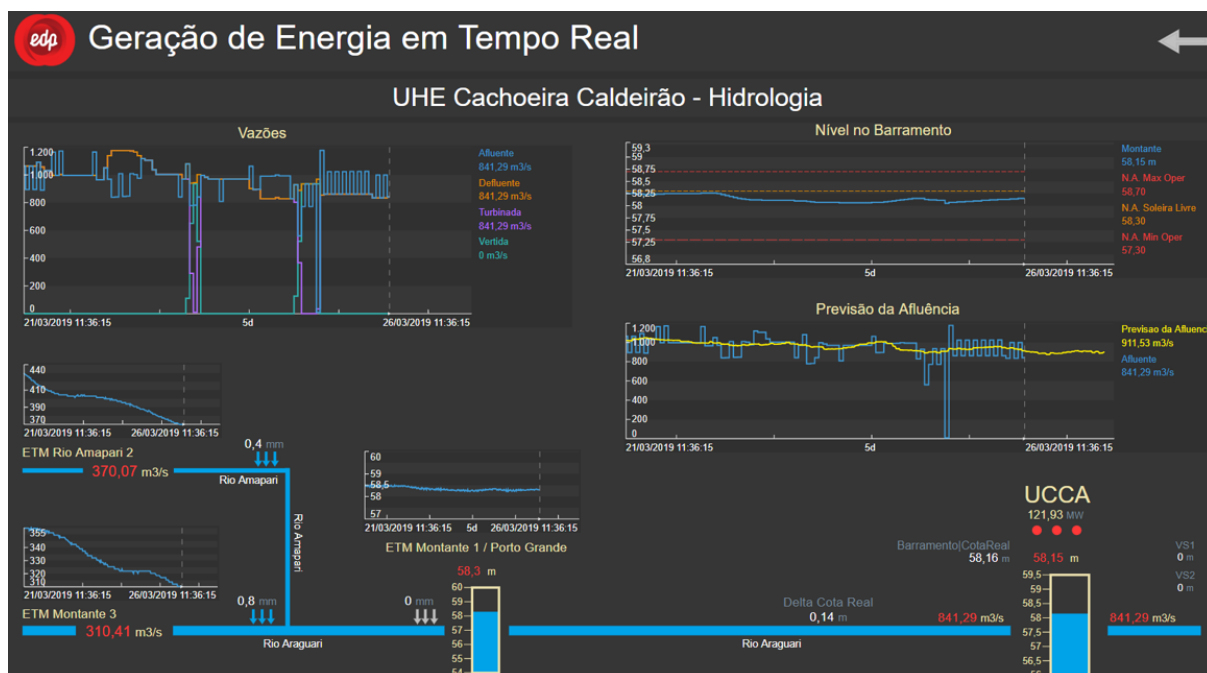
Descrição	Quantidade de aberturas desnecessárias por mês	Meses	Total	Tempo de atraso por manobra (h)	Perda por ano (horas)	Vazão Desperdiçada por abertura (m <sup>3</sup> /s)	Potência Equivalente a Vazão Desperdiçada (MW)	Energia Equivalente a Vazão Desperdiçada por ano (MWh)	Perda de Produção Eviatada no ano (R\$)
Calculo de perda de produção relacionada a aberturas desnecessária devido a falta de dados disponíveis	2	5	10	24	240	598	73	17520	R\$ 1.669.831,20

Fonte: elaboração própria.

A base desse cálculo foi realizada utilizando um mês normal, sem muitos eventos excepcionais, pré-automatização. Buscando os dados brutos observou-se que a média de aberturas ocorridas desnecessariamente, devido a dados subjetivos de monitoramento, foi de duas aberturas de comportas ao mês. Considerando um período de cinco meses, portando, o número de comportas abertas desnecessariamente totalizou dez. Com isso houve um atraso na produção em 24 horas e uma vazão desperdiçada de 598m<sup>3</sup>/s, o que monetariamente equivale a uma perda de produção de R\$1.669.831,20. Assim se faz entender que a automatização além da redução dos riscos traz com a precisão dos dados uma economia para a empresa.

Assim como para o controle hidráulico, o *PI System* fornece gráficos em tempo real (Figura 4.3-4). A interpretação destes gráficos foca, principalmente, naquele de previsão da afluência, onde a linha pontilhada indica o tempo real; a linha amarela indica a previsão das afluências para as próximas 24h baseadas nas estações (neste caso representado pela Bacia do rio Amapari). A linha azul refere-se aos dados do controle hidráulico obtidos em tempo real. Ou seja, caso a previsão de vazões esteja muito destoante das variáveis do controle hidráulico, faz-se necessário que a atuação dos engenheiros de tempo real seja de abertura ou fechamento das comportas.

Figura 4.3-4 – Gráfico do monitoramento das bacias e previsão de vazão afluente gerado com medições automáticas pelo PI System



Fonte: elaboração própria.

Este procedimento já era realizado anteriormente à automatização, porém como os dados eram arredondados e, portanto, subjetivos, optava-se por um cenário mais alarmante na hora de se tomar as decisões. Contudo, a automatização, neste caso, fornece o aumento da confiabilidade a partir da redução de enganos (erros) gerados por um conjunto de dados imprecisos que levam à falha de diagnóstico e aptidão.

#### 4.4 O ANDAMENTO DA AUTOMATIZAÇÃO NO ANO DE 2019

A automatização das rotinas nas usinas de geração de energia da empresa teve início no segundo semestre de 2018. Até o momento do fechamento dos dados desta pesquisa (junho de 2019) observa-se que no mesmo ano de implementação houve a conclusão de 75% das etapas destinadas para o ano (Figura 4.4-1). Deste estas etapas estão a integração dos dados rotineiros de controle hidráulico e monitoramento das Bacas no sistema de medição e faturamento; a integração dos dados das estações telemétricas no PI; e o desenvolvimento de uma ferramenta (PI System) para o controle hidráulico mais preciso.

Porém, apesar do amplo sucesso da automatização no ano de 2018, não foi possível concluir todas as etapas programadas, bem como para o ano de 2019 até o fechamento das coletas de dados desta pesquisa nenhuma das etapas programadas par ao ano vigente foram concluídas.

Figura 4.4-1 – Etapas em execução e conclusão da automatização dos processos rotineiros nas usinas de geração de energia da empresa



Fonte: elaboração própria.

As principais dificuldades encontradas na continuidade da automatização da empresa perpassam por processos burocráticos de contratação e inicialização da execução das atividades programadas.

#### 4.5 CONSIDERAÇÕES E SÍNTESE DO CAPÍTULO

O presente capítulo apresentou todo o histórico de automação ocorrido de 2018 até o presente momento nos Centros de Geração de Energia da empresa. Foi possível observar que houve uma melhoria na qualidade do serviço, mas como se nota pela figura 4.3-3 a empresa não mais deu continuidade à ampliação e melhorias desta automação.

A partir deste capítulo foi possível compreender a importância desta automação para a redução de falhas, bem como sugere-se um desinteresse econômico para a mesma, por parte da empresa.

Outra importância deste capítulo foi poder perceber que enquanto o processo analógico tomava muito tempo dos atores envolvidos na geração de energia, o processo automatizado permite que seja melhor garantido o fornecimento de energia de qualidade à população, reduzindo-se também os riscos à saúde do trabalhador.

## 5 CONCLUSÃO

Considerando o objetivo geral deste trabalho, que é apresentar o modelo de automação aplicado aos processos operacionais da empresa, desde o ano de 2018, a partir do conceito de confiabilidade humana, é possível citar diversos pontos positivos e negativos desta prática, bem como as dificuldades e soluções encontradas.

Os pontos positivos tangem o aumento na confiabilidade humana associada à redução de danos causados por falhas humanas. Foi possível observar que pelo pouco que já se avançou do processo de automação das ações rotineiras das usinas de geração da empresa, houve uma importante melhoria na redução do estresse causador de deslizos. Isso porque, segundo Pallerosi, Mazzolini e Mazzolini (2011) tendem a cometer estes deslizos quando seu cérebro está sobrecarregado de informações sem qualquer descanso. Os autores ainda afirmam que a selinidade mental provocada pelo estresse provoca a degradação do sistema nervoso central, o que favorece a ocorrência de falhas.

Foi possível observar que a maior parte das falhas geradas pela prática manual repetitiva no processo de geração de energia da empresa tange tanto os deslizos quando as transgressões intencionais. Sobre essa segunda, Pallerosi, Mazzolini e Mazzolini (2011) ressaltam a consciência do erro, porém a opção que o trabalhador faz em se manter nele.

### 5.1 PROPOSTA DE EXTENSÃO DO TRABALHO DESENVOLVIDO.

Com a experiência e aprendizados adquiridos durante o desenvolvimento deste trabalho, cita-se como necessários à extensão:

- ✓ A finalização da automação iniciada nas usinas de geração de energia da empresa, objetivando maior confiabilidade no processo e redução de danos;
- ✓ Estudos quantitativos aprimorados que permitam análises de confiabilidade humana mais precisa. Deste modo é necessário que seja realizado um acompanhamento da evolução das rotinas pós-automação para se comparar com os dados pré-automação.

## REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, Ana Carolina Maganha De. **Estudo da biodegradação de corantes azóicos por inóculo proveniente de biodigestor anaeróbico de alimentos**. 2008. 100 f. Universidade Estadual Paulista, 2008.
- ANEEL. **Resolução Normativa nº. 270 de junho de 2007**. Brasil: [s.n.]. Disponível em: <[encurtador.com.br/brEI7](http://encurtador.com.br/brEI7)>., 2007
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5462: Confiabilidade e Manutenibilidade**. Rio de Janeiro: [s.n.], 1994.
- BAYER, Fernando Marino; ECKHARDT, Moacir; MACHADO, Renato. **Automação de Sistemas**. 1. ed. Santa Maria: UFSM, 2011.
- CUBEROS, Fábio Luiz. **Novo modelo institucional do setor elétrico brasileiro: análise dos mecanismos de mitigação de riscos de mercado das distribuidoras**. 2008. 135 f. Universidade de São Paulo, 2008.
- FOGLIATTO, Flávio Sanson; RIBEIRO, José Luis Duarte. **Confiabilidade e Manutenção Industrial**. 1. ed. Rio de Janeiro: Elsevier Editora, 2011.
- GUEDES, Johnnattann Pimenta. **Análise da confiabilidade humana na operação de Uma subestação do Sistema Elétrico de Potência**. 2017. 79 f. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2017.
- LAFRAIA, João Ricardo Barusso. **Manual de Confiabilidade, Manutenibilidade e Disponibilidade**. 3. ed. [S.l.]: Qualitymark, 2001.
- MARTINS, Alessandro. Portal Brasil Energia. **Centro de Operação da Geração é diferencial no setor eólico**, 2018. , p. s/pDisponível em: <<https://editorabrasilenergia.com.br/>>.
- NASCIMENTO NETO, Manuel Pereira Do. **Proposição de uma sistemática para avaliação de confiabilidade humana em mina a céu aberto**. 2014. 96 f. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2014.
- ONS. **Portal ONS**. Disponível em: <<http://ons.org.br/>>. Acesso em: 26 fev 2019.
- PALLEROSI, Carlos Amadeu; MAZZOLINI, Beatriz Pinheiro Machado; MAZZOLINI, Luiz Ricardo. **Confiabilidade Humana: conceitos, análises, avaliação e desafios**. 1. ed. São Paulo: All Print, 2011.
- PARASURAMAN, Raja; MANZEY, Dietrich. Complacency and bias in human use of automation: an attentional antegration. **Human Factors**, v. 52, n. 3, p. 381–410, 2010.
- PAZOS, Fernando. **Automação de Sistemas & Robótica**. 1. ed. Rio de Janeiro: Axcel Books, 2002.
- PROVDANOV, Cleber Cristiano; FREITAS, Ernani Cesar De. **Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico**. 2. ed. Novo Hamburgo: Feevale, 2013. Disponível em: <<http://www.feevale.br/Comum/midias/8807f05a-14d0-4d5b-b1ad-1538f3aef538/E->



book Metodologia do Trabalho Científico.pdf>.

QUEIROZ, Roberto Jefferson Nunes. **Implantação de um Centro de Operação em tempo real de um agente de transmissão do Sistema Interligado Nacional**. 2010. 134 f. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2010.

RAIMUNDO, Ana Paula. **Estruturas hidráulicas utilizadas em reservatórios de controle de cheias**. 2007. 179 f. Universidade de São Paulo, 2007.

ROZA FILHO, Osvaldo Aristides. **Segurança do trabalho em atividades com energia elétrica: um estudo baseado na interpretação da responsabilidade jurídica na NR-10**. 2012. 114 f. Universidade Estadual da Paraíba, 2012.

SANTOS, Jarbas Patriota Dos. **Portal O Setor Elétrico**. Disponível em: <encurtador.com.br/gIqK0>. Acesso em: 3 abr 2019.

SANTOS, Felipe Marques. **Sistema Elétrico Brasileiro: histórico, estrutura e análise de investimentos no setor**. 2015. 59 f. Universidade Federal de Santa Catarina, 2015.

SANTOS, Mário José Marques Ferreira. **Gestão de Manutenção do Equipamento**. 2009. 76 f. Universidade do Porto, 2009.

SILVA, Bruna Grazielly de Jesus e colab. **Confiabilidade Humana: uma abordagem atual do erro humano**. 2017, Aracaju: UFS, 2017. p. 405–417.

SILVA, Danielle Simone Da; NASCIMENTO, João Maria Araújo Do. **Automação Industrial**. Natal: [s.n.], 2003

SILVA, Josiane Roberta dos Santos e colab. **Análise da confiabilidade: um estudo de caso**. 2015, Fortaleza: ABEPRO, 2015. p. 1–22.

SILVEIRA, Paulo R.; SANTOS, Winderson E. **Automação e controle discreto**. 1. ed. São Paulo: Érica, 1998.

SIQUEIRA, Iony Patriota De. **Manutenção Centrada na Confiabilidade. Manual de Implementação**. 1. ed. Rio de Janeiro: QualityMark, 2004.

SOMAR METEOROLOGIA. **Portal Somar Meteorologia**. Disponível em: <ww.somarmeteorologia.com.br>. Acesso em: 28 out 2019.

SOUZA, Fernanda Patrícia Santos De; FIRMINO, Paulo Renato Alves; DROGUETT, Enrique Lopez. **A análise da confiabilidade humana: uma revisão comentada da literatura**. 2009, Bento Gonçalves: SBPO, 2009. p. 2123–2134.