



Universidade Federal
do Rio de Janeiro

Escola Politécnica

ESTUDO DE ANOMALIAS E INDICADORES DE RISCOS OPERACIONAIS
APLICADOS A UMA PLANTA AUTOMATIZADA

Raphael Rocha dos Santos

Projeto de Graduação apresentado ao Curso de Engenharia de Controle e Automação da Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Engenheiro.

Orientadora: Rossana Odette Mattos Folly, D.Sc.

Coorientadora: Andrea Valdman, D.Sc.

Rio de Janeiro / RJ

Março de 2015

ESTUDO DE ANOMALIAS E INDICADORES DE RISCOS OPERACIONAIS
APLICADOS A UMA PLANTA AUTOMATIZADA

Raphael Rocha dos Santos

PROJETO SUBMETIDO AO CORPO DOCENTE DO CURSO DE ENGENHARIA DE
CONTROLE E AUTOMAÇÃO DA ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE
FEDERAL DO RIO DE JANEIRO, COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS
PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE ENGENHEIRO DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO.

Aprovado por:

Rossana Odette Mattos Folly, D.Sc.
(Orientadora)

Andrea Valdman, D.Sc.
(Coorientadora)

Carlos André Vaz Junior, D.Sc.

Laura Castro Xavier de Souza, Eng.^a

Rio de Janeiro / RJ

Março de 2015

Rocha dos Santos, Raphael.

Estudo de anomalias e indicadores de riscos operacionais aplicados a uma planta automatizada / Raphael Rocha dos Santos. – Rio de Janeiro: UFRJ / Escola Politécnica, 2015.

XIV, 44 p.: il; 29,7 cm.

Orientadora: Rossana Odette Mattos Folly.

Coorientadora: Andrea Valdman.

Projeto de Graduação – UFRJ / Escola Politécnica /
Curso de Engenharia de Controle e Automação, 2015.

Referências Bibliográficas: p. 43 – 44.

1. Automação. 2. Anomalias. 3. Indicadores de risco.
4. Usina hidrelétrica. 5. Norma ISA-18.1-1972
(R1992).

I. Odette Mattos Folly, Rossana. II. Valdman, Andrea
III. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola
Politécnica, Curso de Engenharia de Controle e
Automação. IV. Estudo de anomalias e
indicadores de riscos operacionais aplicados a uma
planta automatizada.

“Uma longa caminhada começa com o primeiro passo”

Lao-Tsé

“Toda ação humana, quer se torne positiva ou negativa, precisa depender de motivação.”

Dalai Lama

DEDICATÓRIA

*À minha esposa
e à minha filha.*

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, pelo dom da vida e por ser o melhor companheiro em momentos de reflexão e o melhor conselheiro em momentos de dúvida.

À família, a avó Elzanir, por toda a dedicação ao longo de toda a vida. Aos pais Cristiane e Nilton, pela amizade, companheirismo e pela minha concepção.

À esposa Greciane, o amor da minha vida, a quem devo inúmeros momentos de felicidade e o melhor presente que já recebi nesta vida, nossa filha Beatriz, que está longe de ter esta percepção, mas foi grande incentivadora para a conclusão deste trabalho.

Aos amigos: “vizinhos” desde sempre e para todo sempre, mesmo morando longe, por toda a força, incentivo e eterna amizade; de escola, alguns, próximos até hoje, pelas boas memórias e amizade; de faculdade, por toda a ajuda em momentos complicados do curso; de empresa (EGP), a Laura, por toda a paciência, e Juliana, pelo incentivo.

RESUMO

O presente trabalho possui foco no estudo de anomalias de uma usina hidrelétrica, mais especificamente, da usina Isamu Ikeda I, pertencente à empresa Enel Green Power. Foi observado que o alto número e distintas origens destas anomalias, assim como a complexidade da estrutura de rede de automação da usina, traziam grandes dificuldades em tarefas como gerenciamento, documentação das mesmas, configuração dentro do sistema SCADA da usina e tomada de decisão, no ambiente de operação. Para mitigar estas dificuldades: uma ferramenta de gerenciamento de anomalias foi desenvolvida; a aplicação da norma ISA-18.1-1972 (R1992) orientou quais mudanças eram necessárias; e o desenvolvido de um indicador de risco à planta que, através de um sistema de atribuição de pesos às anomalias, foi capaz de gerar um número relacionado ao grau de risco corrente o qual a planta está submetida.

Palavras-chave:

Automação, anomalias, indicador de risco, usina hidrelétrica, norma ISA-18.1-1972 (R1992)

ABSTRACT

The present work has focused on the study of anomalies of a hydroelectric plant, more specifically, the plant Isamu Ikeda I, owned by Enel Green Power. It was observed that the high number and different origins of these anomalies, as well as the complexity of network infrastructure of automation, brought great difficulties in tasks such as management, documentation of the same, configuration within the SCADA system of the plant and decision-making, at operation environment. To mitigate these problems: an anomaly management tool was developed; the application of ISA-18.1-1972 (R1992) guided on what changes were necessary; and the development of a risk indicator to the plant, which through a weights rating system to anomalies was able to generate a number related to the extent of the current risk that the plant is subjected.

Key words:

Automation, anomalies, risk indicator, hydroelectric plant, ISA 18.1-1972 (R1992) standard

LISTA DE FIGURAS

- Figura 2.1 - Página de partida e parada, contida no sistema supervisorio da usina. (p. 6)
- Figura 3. 1 - Página de Sinótico Geral, contida no sistema supervisorio da usina. (p. 12)
- Figura 3. 2 - Página de Unifilar, contida no sistema supervisorio da usina. (p. 13)
- Figura 3. 3 - Parte do diagrama esquemático de comunicação de ISAI. (p. 18)
- Figura 3. 4 - Software Microsoft Visual Basic exibindo a tela de criação de um formulário. (p. 23)
- Figura 4. 1 - Formulário de anomalias sendo editado. (p. 28)
- Figura 4. 2 - Sequência de funcionamento do Formulário de anomalias (“a” e “b”). (p. 30)
- Figura 4. 3 - Sequência de funcionamento do Formulário de anomalias (“c” e “d”). (p. 30)
- Figura 4. 4 - Sequência de funcionamento do Formulário de anomalias (“e” e “f”). (p. 31)
- Figura 4. 5 - Sequência de operação de anomalias para ISAI. (p. 34)
- Figura 4. 6 - Tela de Anomalias em tempo real do Grupo 1, após modificações. (p. 35)

LISTA DE QUADROS

- Quadro 2. 1 - Designações de sequências básicas. (p. 9)
- Quadro 2. 2 - Designações de opções numéricas. (p. 10)
- Quadro 2. 3 - Designações de primeira anomalia operada. (p. 10)
- Quadro 3. 1 - Lista de anomalias possivelmente presente em um grupo gerador genérico.
(p. 22)
- Quadro 3. 2 - Dados estatísticos conforme critério 1. (p. 26)
- Quadro 3. 3 - Dados estatísticos conforme critério 2. (p. 26)
- Quadro 3. 4 - Dados estatísticos conforme critério 4. (p. 26)
- Quadro 4. 1 - Cenário operacional 1. (p. 38)
- Quadro 4. 2 - Cenário operacional 2. (p. 38)
- Quadro 4. 3 - Cenário operacional 3. (p. 39)
- Quadro 4. 4 - Cenário operacional 4. (p. 39)
- Quadro 4. 5 - Cenário operacional 5. (p. 40)

LISTA DE SIGLAS

AD	Alarme Deferível
AE	Automático Externo
AI	Automático Interno
AIF	Automático Interno Forçado
AL	Alarme (Grupo)
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
AU	Alarme Urgente
BE	Bloqueio Elétrico
Bit	Dígito binário, do inglês Binary digit
BM	Bloqueio Mecânico
Byte	Termo binário, do inglês Binary term
CHV	Central Hidráulica de Válvulas
CLP	Controlador Lógico Programável
COGE	Centro de Operações de Geração da Enel
E	Excluído
EGP	Enel Green Power
ENEL	Autoridade Nacional em Energia Elétrica, do italiano <i>Ente Nazionale per l'energia ELectrica</i>
GUI	Interface gráfica, do inglês <i>Graphical User Interface</i>
HCS	Sistema de controle de usinas hidrelétricas, do inglês <i>Hydropower Control System</i>
HMI	<i>Interface</i> homem-máquina, do inglês <i>Human Machine Interface</i>
ISA	Sociedade de automação, sistemas e instrumentação, do inglês <i>The Instrumentation, Systems and Automation Society</i>
ISAI	Isamu Ikeda I
ISII	Isamu Ikeda II
M	Manual
ONS	Operador Nacional do Sistema Elétrico
PCH	Pequena Central Hidrelétrica
PID	Proporcional Integral Derivativo
SCADA	Controle supervisão e aquisição de dados, do inglês <i>Supervisory Control And Data Aquisition</i>

SGU	Serviço Geral da Usina
STL	Lista de Instruções, do inglês <i>Statement List</i>
TSB	<i>Trip</i> Sem Bloqueio

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO	1
1.1 MOTIVAÇÃO	2
1.2 OBJETIVOS	2
1.3 ORGANIZAÇÃO DO PROJETO	2
CAPÍTULO 2 – LITERATURA RELACIONADA E FUNDAMENTOS TEÓRICOS	3
2.1 ENERGIA HIDRÁULICA	3
2.1.1 Pequenas centrais hidrelétricas no Brasil.....	3
2.1.2 Enel Green Power	3
2.1.3 Isamu Ikeda.....	4
2.1.4 Geração de energia elétrica.....	4
2.1.4.1 Partida de grupo	5
2.1.4.2 Parada de grupo	6
2.2 NORMA ISA-18.1-1979 (R1992)	7
2.2.1 Apresentação.....	7
2.2.2 Método de designação	8
2.2.2.1 Designações de sequências básicas.....	8
2.2.2.2 Designação das opções numéricas	9
2.2.2.3 Designações de primeira anomalia operada.....	10
2.3 RISCOS OPERACIONAIS.....	11
CAPÍTULO 3 – MATERIAS E METÓDOS	12
3.1 SISTEMA SUPERVISÓRIO	12
3.1.1 Descrição das telas	13
3.1.1.1 Anomalias.....	14
a. Anomalias em tempo real.....	14
b. Histórico de anomalias	15
c. Anomalias em grupos geradores	15
3.1.1.2 Condições iniciais	15
3.1.1.3 Maquinário	15
3.1.1.4 Parâmetros de Máquina.....	15
3.1.1.5 Sequência partida/parada.....	16
3.1.1.6 Sinóticos	16
3.1.1.7 Demais páginas	16
3.1.2 Estrutura de automação.....	16
3.2 ANOMALIAS	19
3.2.1 Bloqueio, <i>trip</i> sem bloqueio e alarme.....	20
3.2.2 Codificação de anomalias	21
3.2.3 Formulário de anomalias	22
3.2.3.1 Ferramenta para construção do formulário	23
3.2.4 Partida, parada e repartida de grupo	23
3.3 ALGORITMO DE ANOMALIAS	24
3.3.1 Procedimento	25
3.3.2 Análise de dados	26
3.3.3 Análise de risco.....	27
CAPÍTULO 4 – RESULTADOS	28
4.1 FORMULÁRIO DE ANOMALIAS	28
4.1.1 Utilização do Formulário de Anomalias.....	28
4.1.2 Funcionamento do Formulário de Anomalias	30
4.2 NORMA APLICADA A ISAMU IKEDA I	31

4.2.1	Documentos	32
4.2.2	Sequência de operação de anomalias	32
4.3	INDICADORES DE RISCO APLICADOS A ISAMU IKEDA I	38
4.3.1	Cenários operacionais	38
4.3.2	Análise de resultados	40
CAPÍTULO 5 – CONCLUSÃO E SUGESTÕES		41
5.1	CONCLUSÃO	41
5.2	SUGESTÕES	41
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS		43

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO

A evolução dos equipamentos eletrônicos e a crescente adoção da automação por parte das empresas permitiram uma grande mudança na forma de administrar algumas medidas de segurança e situações de risco nas instalações industriais.

Há alguns anos atrás, a sala de comando de uma indústria demandava grande espaço físico, pois necessitava abrigar grandes painéis de controle com uma extensa botoeira, alavancas, lâmpadas de indicação, janelas luminosas contendo avisos, etc. Além disso, todas as informações chegavam através de cabos elétricos, que trazem riscos à própria instalação e aos profissionais de manutenção. Também se pode citar a dificuldade, ou até impedimento, de instalação de um novo equipamento, já que novos cabos deveriam ser lançados, demandando um grande tempo, e o painel deveria possuir espaço para abrigar tal dispositivo. Atualmente, fazendo-se uso da automação, a maioria das informações, se não todas, chegam ao painel por meio de barramento de dados e, se existe a necessidade de uma nova leitura do sistema, uma vez que o equipamento de medição seja instalado em campo e sua interface de comunicação conectada à rede de dados, com poucas mudanças em nível de software, a informação já estará disponível ao operador. Este tipo de manobra é muito menos custosa, pois não há grande necessidade de cabos, menos esforço físico e menor demanda de tempo para execução. Com isso, é possível disponibilizar aos operadores, via Controlador Lógico Programável (CLP) e sistema supervisor, uma vasta quantidade de informações, tanto digitais quanto analógicas, tornando o trabalho do operador mais produtivo, diminuindo a exposição dos profissionais a alguns riscos e elevando a segurança dos equipamentos e processos da indústria (Goeking, 2010).

Em relação à área de segurança, anteriormente se limitava a levar ao painel apenas algumas informações cruciais à segurança da operação. Já com automação, o número de informações acerca de anomalias cresceu bastante, pois muitas informações podem estar disponíveis e, se necessário, com redundância. Ao mesmo tempo em que este fato trouxe maior segurança ao processo, elevou a responsabilidade do operador, pois muitas vezes, em uma situação anormal, salta em sua tela de computador uma imensa lista de avisos e este deve tomar a decisão de contatar a manutenção para verificar determinados equipamentos. Porém, em meio àqueles inúmeros avisos em sua tela, poderia haver algo de grande relevância que não tenha sido tratado como prioridade. Algo que pudesse corromper todo o processo em questão. Em situações como essa, uma hesitação ao escolher qual equipamento merece atenção primeiro pode fazer a empresa perder ou deixar de ganhar muito dinheiro. E, devido a

isso, a área de anomalias merece esforço e dedicação por parte dos profissionais de automação, para assim criar meios de contornar o problema do grande número de avisos. (Venturelli, 2014).

1.1 Motivação

A motivação para este trabalho partiu da observação do grande número de alarmes e, sem a devida organização, presente nos Sistemas de Controle de plantas hidrelétricas da empresa Enel Green Power (EGP), mais especificamente, da usina Isamu Ikeda I, que apresentava um potencial de melhoria que merecia ser estudado.

1.2 Objetivos

Este trabalho tem como objetivo: reunir todas as possíveis anomalias presentes em usinas da EGP; padronizá-las e organizá-las em documentos; adequar anomalias, sistema supervisório e lógica de automação à norma ISA-18.1-1979 (R1992); elaborar um algoritmo de detecção de riscos operacionais; e aplicar os resultados à usina Isamu Ikeda I.

1.3 Organização do projeto

De forma a tornar compreensível o conteúdo deste trabalho, logo após este capítulo, no Capítulo 2, será apresentado o contexto o qual o mesmo se insere, englobando algumas operações básicas realizadas na planta e a apresentação da norma ISA utilizada, ou seja, este capítulo traz o conteúdo teórico que precede as propostas que serão apresentadas à frente. O Capítulo 3 traz novas descrições e algumas propostas acerca dos principais temas abordados pelo presente trabalho, dentre eles: sistema supervisório, anomalias e indicadores de risco. O Capítulo 4 descreve os resultados obtidos pelas propostas do capítulo anterior e marca o fim do conteúdo prático deste trabalho.

CAPÍTULO 2 – LITERATURA RELACIONADA E FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1 Energia hidráulica

O processo de geração de energia elétrica, proveniente da energia hidráulica, consiste, basicamente, na transformação da energia potencial gravitacional, oriunda do armazenamento de água em reservatórios, em energia elétrica. De forma pouco mais detalhada, a água represada no reservatório escoar pelo conduto forçado até a turbina, provocando a rotação de suas paletas. A turbina é acoplada ao rotor do gerador e essa, ao girar, transfere sua energia ao gerador. Em seguida, a energia elétrica gerada é enviada à subestação, de onde é transmitida. (Portal PCH, 2014).

Em 2002, segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), a energia hidráulica era responsável por cerca de 90% da energia elétrica produzida no país. Atualmente, este número caiu para cerca de 70%, o que mostra que o país está diversificando suas fontes de energia elétrica. Apesar desta tendência, principalmente devido a restrições socioeconômicas e ambientais de projetos hidráulicos, tudo indica que a energia hidráulica continuará sendo, por muitos anos, a principal fonte de energia elétrica do Brasil. (ANEEL, 2002).

2.1.1 Pequenas centrais hidrelétricas no Brasil

A revisão do conceito de pequenas centrais hidrelétricas (PCHs) e mais uma série de mudanças institucionais e regulamentares ocorridas no período de 1996 a 1999, serviram de incentivo à entrada de novos agentes na indústria de energia elétrica. Estes fatores estimularam o crescimento de aproveitamentos hidrelétricas de pequeno porte e baixo impacto ambiental, os quais visam atender a demandas próximas aos centros de carga, em áreas periféricas ao sistema de transmissão e áreas de expansão de atividade agrícola, promovendo desenvolvimento de regiões remotas do país. (ANEEL, 2002).

2.1.2 Enel Green Power

A EGP é uma grande empresa na área de geração de energia a partir de fontes renováveis. Pertence ao grupo italiano ENEL (*Ente Nazionale per l'energia Elettrica*). Tem uma capacidade instalada de cerca de 9,5 GW em 16 países em uma mistura de produção que

inclui a energia eólica, solar, hidrelétrica, geotérmica e biomassa. Atualmente, no Brasil, a EGP possui 22 usinas hidrelétricas, distribuídas nos estados de Mato Grosso, Tocantins e São Paulo. (ENEL, 2015).

2.1.3 Isamu Ikeda

O complexo de Isamu Ikeda, pertencente à EGP, é localizado a 150 km da cidade de Palmas, Tocantins, e possui duas diferentes usinas, Fase I e Fase II, as quais recebem os nomes de Isamu Ikeda I (ISAI) e Isamu Ikeda II (ISII). Ambas estão localizadas no rio Balsas Mineiras entre Monte do Carmo e Ponte Alta do Tocantins, e são totalmente automatizadas e assistidas remotamente do Centro de Operações de Geração da Enel (COGE).

Este complexo hidrelétrico possui seis grupos geradores, onde cada um dos grupos é composto por: comporta, central hidráulica, válvulas, bexigas de nitrogênio, distribuidor, bombas, trocadores de calor, turbina, mancais, freio, gerador, excitatriz, disjuntores, chaves seccionadoras, medidores etc.

ISAI possui quatro grupos geradores verticais, tipo Kaplan, de 4.47 MW cada um, comissionados em 1982, enquanto ISII possui dois grupos geradores verticais, tipo Kaplan, de 5.88 MW cada um, comissionados em 1993. A potência instalada do complexo é de 29,64 MW, o que o caracteriza como uma PCH, pois possui potência instalada menor que 30 MW. As duas usinas são conectadas através da barragem, que é a mesma para ambas, mas possuem subestações elétricas distintas, de onde partem as conexões à rede de distribuição local.

2.1.4 Geração de energia elétrica

Para que este processo ocorra de forma automatizada e segura, uma série de componentes, além dos citados anteriormente, também compõe o chamado grupo gerador. Alguns destes componentes serão citados ao longo do trabalho, porém, não faz parte do escopo do trabalho detalhar o funcionamento do processo de geração de energia elétrica. Por este motivo, possivelmente alguns componentes e processos internos serão omitidos.

Os procedimentos de partida e parada de grupo seguem sequências bem específicas de ações, que são totalmente distintas entre os dois procedimentos e que vêm a permitir que o grupo entre em geração ou pare completamente, respectivamente. As sequências são compostas de passos. Em cada passo, certas ações são comandadas pela saída do CLP, ativando ou desativando determinados componentes, e as entradas do CLP informarão se tais

ações foram devidamente executadas. Para evoluir ao próximo passo, uma série de condições deverá ser satisfeita. O sistema só habilita seguir em direção à próxima etapa quando todas as condições específicas da etapa corrente estejam sendo satisfeitas. Por exemplo, quando o grupo está totalmente parado, dizemos que este está no passo zero e, depois de verificada uma ordem de partida e as condições iniciais satisfeitas, o mesmo segue para o passo seguinte.

2.1.4.1 Partida de grupo

Para o processo de partida de grupo, primeiramente, via supervisor, deve ser enviado pelo operador um pedido de partida. Caso as condições iniciais, citadas a seguir, sejam satisfeitas, o processo prossegue. Estas condições são: ausência de emergência e bloqueio, disjuntores do armário de automação fechados, grupo parado ou com velocidade inferior a 80% da velocidade nominal, freios desativados, serviço em automático, distribuidor e válvula de máquina fechados e disjuntor de excitatriz e de grupo abertos.

Dando prosseguimento, são enviados comandos às bexigas de nitrogênio e, em seguida, é verificada a pressão destas bexigas e, caso esteja dentro da faixa esperada, são enviadas certas ordens ao Serviço de Bombas, que liga as bombas de óleo da Central Hidráulica de Válvulas (CHV) e do regulador de velocidade. Após certificado que as bombas estão ligadas, é dada a ordem de habilitar a válvula de segurança e, quando esta operação é ratificada, envia-se o comando de abertura das válvulas *by-pass*. Quando a pressão medida na válvula *by-pass* chega a um determinado valor, envia-se o comando para abrir a válvula de máquina e, simultaneamente a este comando, também se envia o de fechar a válvula *by-pass*. Quando o sinal referente à abertura da válvula de máquina chega ao CLP, ordena-se a abertura do distribuidor frente ao comando de ativação do controlador Proporcional Integral Derivativo (PID) de velocidade de rotação da turbina. É verificado se o sistema saiu da inércia e, ao atingir 90% da velocidade nominal, a excitatriz é ativada e o disjuntor de excitatriz é fechado. A 95% da velocidade nominal, o sincronizador é ativado. Quando a frequência do sistema sincroniza com a da rede elétrica (60 Hz), o disjuntor de grupo é fechado e, a partir deste momento, é iniciado, de fato, o processo de geração de energia elétrica. Existem situações onde é desejável manter a rotação em velocidade nominal sem conectar o grupo à rede. Esta operação é chamada partida em marcha vazia e também é feita de forma automática pelo CLP. É uma operação habilitada em momentos de realização de testes ou por motivos ambientais, pois um regime de vazões deve ser mantido no rio para atender a determinados requisitos mínimos do ecossistema aquático.

A Figura 2.1 mostra a tela de supervisorio chamada Sequência, a qual possui um esquema gráfico para representar os procedimentos de partida e parada. Através de animações, é possível saber exatamente o estado dos equipamentos envolvidos e também em qual passo o sistema se encontra.

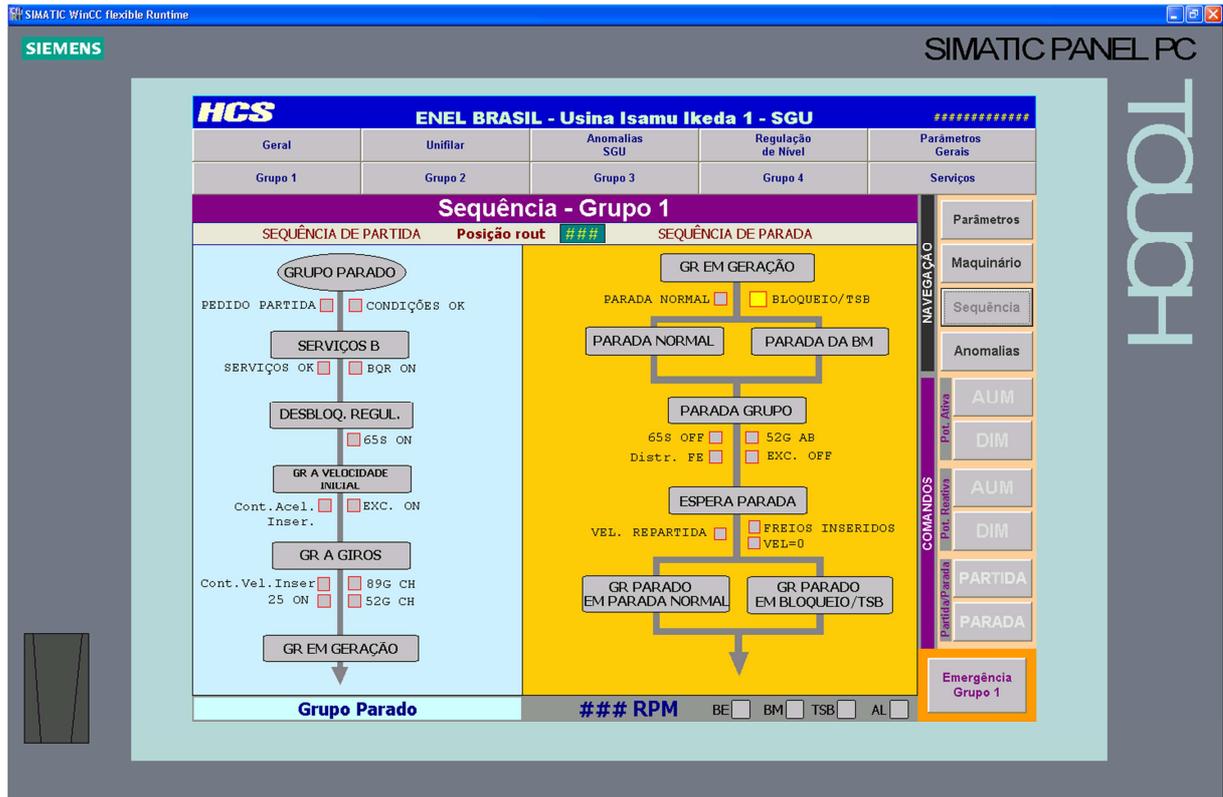


Figura 2.1 - Página de partida e parada, contida no sistema supervisorio da usina.

2.1.4.2 Parada de grupo

O procedimento de parada pode ser iniciado de duas formas: via supervisorio, onde o operador envia um pedido de parada, clicando em um botão na tela de supervisorio; ou através da ocorrência de alguma situação anormal, prevista no CLP ou no circuito serial fisico de emergência, que ocasione a parada de grupo.

O procedimento de parada, assim como o de partida, possui sua sequência, porém, a única condição inicial para seu início é a rotação do eixo do gerador. A sequência de parada normal se inicia pelo fechamento do distribuidor, para diminuição da potência ativa. Quando a potência atinge um determinado valor, a sequência continua com a abertura do disjuntor de grupo, abertura do disjuntor de excitatriz, fechamento da válvula de máquina seguido da

desativação da válvula de segurança. Na parada normal, de maneira semelhante à partida, um comando só é enviado após recebimento de determinada informação pela entrada do CLP. No caso da parada em anomalia, não se aguarda pelo recebimento de tais informações, pois os comandos são enviados simultaneamente. Quando a velocidade de rotação se encontra em 40% da velocidade nominal, os freios são ativados e, por último, são desligadas as bombas da CHV e do regulador de velocidade.

2.2 Norma ISA-18.1-1979 (R1992)

Esta norma foi elaborada pela Sociedade de Automação, Sistemas e Instrumentação (ISA – *The Instrumentation, Systems and Automation Society*) com o objetivo de uniformizar as terminologias de anunciadores, as denominações e apresentações de sequências e auxiliar na especificação e documentação dos anunciadores. Além disso, também visa promover melhorias na comunicação entre os profissionais envolvidos com o projeto e operação de anunciadores.

2.2.1 Apresentação

A norma foi feita, originalmente, para utilização em anunciadores elétricos (analógicos), os quais atentam o operador para condições anormais do processo através de avisos luminosos e sonoros, porém, também podem ser utilizados para fornecer informações de etapas e condições normais do processo. As mudanças de estado na sequência exibida por um anunciador são causadas por mudanças nas condições do processo ou por operações manuais de botões. O novo estado alcançado pode depender das condições de processo existentes no momento em que o botão for pressionado. As mudanças nas condições de processo geralmente são percebidas por contatos elétricos em campo.

O mostrador visual, segundo a norma, pisca para indicar algo anormal, podendo variar esta frequência para diferenciar situações, e mantém-se aceso quando o alarme recebe o reconhecimento do operador. Geralmente, todos os pontos de alarme seguem a mesma sequência, porém, diferentes sequências podem ser utilizadas para um determinado grupo de pontos.

A norma propõe a utilização de duas diferentes formas para a representação de sequências de operação de anomalias: diagrama e tabela de sequências. Estas devem ser utilizadas de acordo com a conveniência da situação.

A representação por diagrama utiliza um bloco para cada estado da sequência. As condições do processo, o estado e os dispositivos visuais e auditivos são indicados em cada

bloco. Os blocos são colocados de forma a mostrar a evolução da sequência, desde uma situação normal, passando por outros estados e retornando ao estado normal. Para indicar as possíveis ações em cada estado, sendo estas mudanças no processo ou pressionamento de um botão, são utilizadas setas entre os blocos.

A tabela pode ser anexada ao diagrama para descrever todos os aspectos da operação em questão. Essa contém uma linha para o estado inicial normal e mais uma linha para cada ação que possa causar uma mudança de estado. O número de referência em cada linha recebe a adição de um sufixo, representado por uma letra maiúscula, quando o novo estado depende da condição existente no momento em que o botão fora pressionado. Referências a outras linhas são utilizadas para evitar a repetição de características de outro estado.

Além dessa proposta, também existem especificações em relação ao projeto dos anunciadores, que envolve: localização do circuito lógico, sequência de operação de anomalias, número de anomalias, fonte de alimentação, tipo de circuito lógico, tipo de conexão, dentre outros; e também em relação à documentação que deve estar à disposição da equipe envolvida. Esta documentação deve conter: descrição do anunciador, descrição da sequência de operação de anomalias, desenhos esquemáticos do projeto, manuais de instrução, lista de equipamentos, etc.

Conforme já foi comentado, a norma foi elaborada para anunciadores analógicos e, devido a isso, contém algumas exigências que não se aplicam ao projeto em questão, logo, não foram levadas em consideração. Para outras, foram feitas adaptações de forma a seguir tão próximo quanto possível as sugestões da norma.

2.2.2 Método de designação

Para as definições mais comuns como sequências básicas, algumas opções de sequência e identificação do primeiro alarme ativado são utilizadas letras e números. Combinações desses símbolos podem definir uma vasta quantidade de sequências distintas.

2.2.2.1 Designações de sequências básicas

Três tipos básicos de sequência de anunciadores são comuns. As operações são diferentes entre si após o processo retornar às condições normais. São estes:

Sequência básica	Palavras chaves
A	<i>Reset automático</i>
M	<i>Reset manual</i>
R	Aviso de retorno

Quadro 2. 1 - Designações de sequências básicas.

(A) Reset automático - A sequência retorna ao estado normal automaticamente depois que as anomalias recebem reconhecimento e as condições normais reestabelecidas.

(M) Reset Manual - A sequência retorna ao estado normal depois que as anomalias recebem reconhecimento, as condições normais são reestabelecidas e o botão de *reset* é pressionado.

(R) Aviso de retorno - As indicações sonora e visual são distintas quando o processo retorna às condições normais. A sequência retorna ao estado normal depois que as anomalias recebem reconhecimento, as condições normais são reestabelecidas e o botão de *reset* é pressionado.

2.2.2.2 Designação das opções numéricas

Estas opções podem ser usadas com as sequências básicas, de modo a definir muitas variações de sequência. Neste trabalho, apesar do grande número de opções de dispositivos supostos pela norma, evidenciado pelo Quadro 2.2, será descrita apenas a opção presente no projeto ISAI:

Opções numéricas	Palavras chaves
1	Botão silenciador
2	Silenciador com travamento
3	Primeiro alarme com travamento
4	Sem bloqueio
5	Sem intermitência
6	Sem aviso sonoro
7	Silenciador automático de anomalia
8	Aviso sonoro de retorno comum
9	Silenciador automático de aviso de retorno
10	Sem aviso sonoro de retorno
11	Aviso visual de retorno comum
12	Aviso de retorno momentâneo automático
13	Mostrador de lâmpada fraca
14	Lâmpada de teste

Quadro 2. 2 - Designações de opções numéricas.

(1) Botão Silenciador - Um botão com a função de silenciar o alarme sonoro sem afetar os alarmes visuais.

2.2.2.3 Designações de primeira anomalia operada

Indicadores de primeira anomalia são utilizados para exibir qual, dentre um grupo, foi a primeira a operar. Três métodos são descritos pela norma. São estes:

Primeira anomalia ativada	Palavras chaves
F1	Sem estado para a anomalia subsequente
F2	Sem intermitência para anomalias subsequentes
F3	Botão de <i>reset</i> para primeira anomalia ativada

Quadro 2. 3 - Designações de primeira anomalia operada.

(F1) Sem estado para a anomalia subsequente – As anomalias subsequentes são exibidas já no estado reconhecido, sem excitar sinal visual ou sonoro. A indicação da primeira a operar recebe *reset* através do botão de reconhecimento.

(F2) Sem intermitência para anomalias subsequentes - As subsequentes não excitam sinal visual, porém, excitam o sinal sonoro. A indicação da primeira recebe *reset* através do botão de reconhecimento.

(F3) Botão de reset para a primeira anomalia ativada - Frequências diferentes de intermitência são utilizadas para identificar novas, a primeira e as anomalias reconhecidas. A indicação da primeira recebe *reset* através de um botão específico para esta função.

2.3 Riscos Operacionais

Segundo Abdala (2012), o conceito de risco pode ser dado por: “Risco pode ser entendido como o potencial que a realização de objetivos estratégicos, táticos ou operacionais seja negativamente influenciada devido a eventos futuros e incertos”. No caso deste trabalho, o objetivo, de natureza operacional, é a geração de energia elétrica, que, como vista até o momento, envolve uma série de equipamentos. Estes, além de demandarem manutenções periódicas, também apresentam potencial de falha.

Para Abdala (2012, p.17), o risco operacional, definido como resultante de falha operacional, envolve não só ações, mas também inações e, dentre estas se pode incluir a falta de manutenção, o que poderia ser considerado um ato de exposição ao risco.

De acordo com uma correta gestão de riscos, esta deve seguir os seguintes passos: estabelecimento do contexto, identificação dos riscos, análise dos riscos, avaliação dos riscos e tratamento dos riscos. Paralelamente aos passos, estão as atividades de comunicação e monitoramento desta gestão. (AS/NZS 4360, 2004, p.1).

Para a planta em questão, o contexto já é algo bem claro para os profissionais envolvidos no projeto; a identificação dos riscos pode ser entendida como o levantamento das anomalias e suas fontes originadoras; a análise, um estudo qualitativo das possíveis ocorrências; avaliação, a quantificação de uma determinada anomalia; e o tratamento, o desenvolvimento de planos para tratar os riscos.

Um dos objetivos deste trabalho é a criação e implementação de um algoritmo de detecção de riscos operacionais que, de acordo com os passos apresentados anteriormente, se enquadra na tarefa de avaliação dos riscos. Para alcançar tal tarefa, os passos anteriores, necessariamente, tiveram que ser seguidos.

CAPÍTULO 3 – MATERIAS E METÓDOS

3.1 Sistema supervisório

O sistema supervisório da usina hidrelétrica ISAI, referente ao SGU, foi construído utilizando o software SIMATIC WinCC flexible 2008 SP3. O sistema contempla o controle de toda usina, ou seja, as quatro unidades geradoras, média e alta tensão e serviços auxiliares. A Figura 3.1 mostra a tela de sinótico geral e a Figura 3.2 mostra o diagrama unifilar da usina. Através delas, o operador tem acesso a informações e comandos gerais do processo de geração. Caso esse necessite de algo mais detalhado, existem outras páginas com a função de suprir tal necessidade.

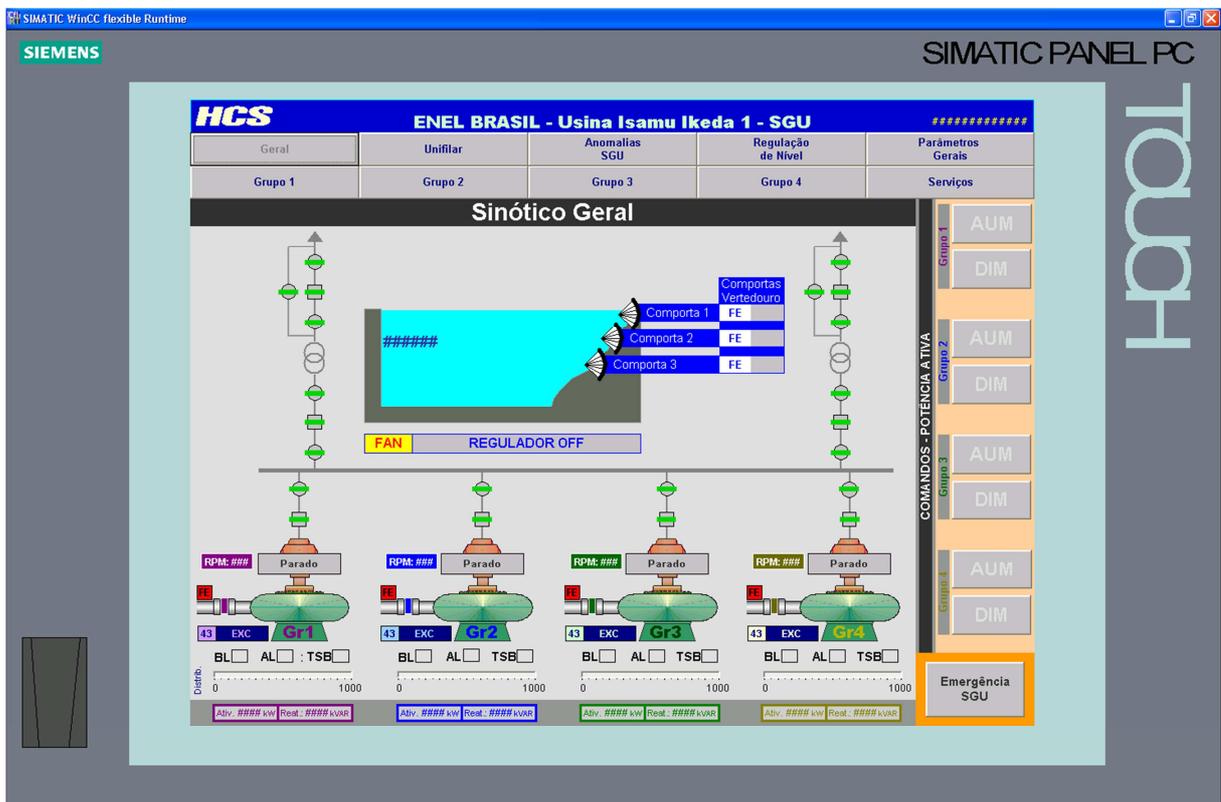


Figura 3. 1 - Página de Sinótico Geral, contida no sistema supervisório da usina.

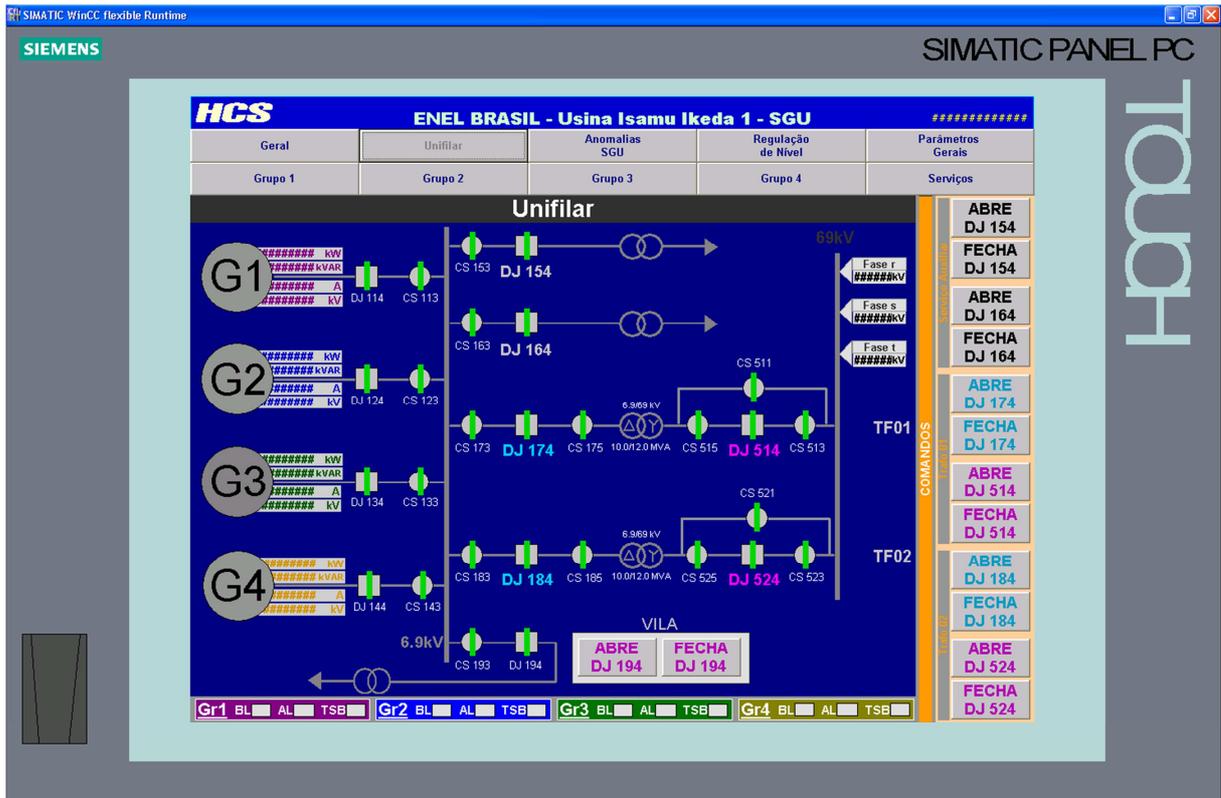


Figura 3. 2 - Página de Unifilar, contida no sistema supervisório da usina.

3.1.1 Descrição das telas

O sistema supervisório do SGU é composto por 47 (quarenta e sete) telas navegáveis entre si. São elas: 10 (dez) telas de anomalia, 4 (quatro) de condições iniciais, 8 (oito) de maquinário, 8 (oito) de parâmetros de máquina, 4 (quatro) de sequência partida/parada, 5 (cinco) de sinótico, e além dessas, regulador de nível, gráfico do nível de reservatório, gráfico de potência ativa, definição de senhas, serviço de automação, parâmetros gerais, parâmetros do regulador de nível e diagrama unifilar. Através delas, o operador tem acesso a todas as informações necessárias para manter a usina gerando energia e, além disso, evitar incidentes e acidentes de qualquer espécie.

Todas contam com um rodapé e um cabeçalho. No rodapé de todas as páginas de SGU estão informações acerca de possíveis ocorrências de anomalias dos quatro grupos; já nas páginas de grupo, o rodapé exibe somente informações do grupo em questão. O cabeçalho é comum a todas as páginas e conta, basicamente, com uma botoeira de navegação.

3.1.1.1 Anomalias

As páginas de anomalia se dividem em dois tipos: em tempo real e histórico. Ao todo são 10 (dez) páginas, pois se tratam de 4 (quatro) grupos geradores mais o SGU da usina e cada sistema possui os dois tipos de página.

A lista onde são exibidas as anomalias possui 7 (sete) colunas: classe de anomalia (Bloqueio Elétrico (BE), Bloqueio Mecânico (BM), Alarme (Grupo) (AL), Alarme Deferível (AD) e Alarme Urgente (AU) e *Trip* Sem Bloqueio (TSB)), número da anomalia (ordem configurada no supervisão), hora de ocorrência, data de ocorrência, estado (Ativado, Extinto e Verificado), texto (descrição da irregularidade) e grupo gerador/SGU.

a. Anomalias em tempo real

Após alguma ocorrência, a anomalia é exibida e vista na lista como ativada. Em seguida, esta deve ser reconhecida pelo operador (pressionando um botão no supervisão), feito isso, o estado é atualizado para ativado e verificado. Quando a irregularidade é corrigida e esta informação chega ao CLP, o estado é modificado para extinto e a anomalia em questão deixa de ser exibida.

As páginas de anomalia em tempo real referentes a um grupo gerador possuem duas informações exclusivas: estado do relé de bloqueio e posição em relação às etapas entre partida/parada (chamada de posição de *router*), ambas as informações são individuais de cada grupo; e mais um botão, também exclusivo: desbloqueio de grupo.

Se tratando do SGU, a página possui um botão exclusivo: desbloqueio do SGU.

O botão de desbloqueio tem a função de reconhecimento, ou verificação, da irregularidade e, caso este botão seja pressionado quando esta já tenha sido resolvida, ou seja, extinta, a mesma deixa de ser exibida na tela de anomalia em tempo real e é marcada como reconhecida e extinta na de histórico. Caso a irregularidade ainda esteja ativa, pressionando o botão, a mesma é marcada como reconhecida em ambos os tipos (tempo real e histórico), mas continua sendo exibida em ambos. Porém, assim que deixa de ser ativa, automaticamente desaparece da tela de tempo real.

Se uma anomalia é provinda do SGU, esta é repassada a todos os grupos na forma de “Anomalia provinda do SGU”. Após uma ocorrência desta natureza, para desbloquear um determinado grupo, primeiro deve-se desbloquear o SGU, via supervisão de SGU e, em seguida, desbloquear ou grupos, individualmente.

b. Histórico de anomalias

Em relação à descrição do funcionamento da lista de exibição de anomalias, esta não difere muito em relação à descrição feita anteriormente, exceto pelo fato de que as anomalias, mesmo em estado excluído, continuam sendo exibidas (em ordem cronológica de ocorrência).

c. Anomalias em grupos geradores

As páginas referentes a um grupo, tanto do tipo tempo real quanto histórico, ainda contam com: estado do grupo gerador (parado, transição, geração, bloqueio ou repouso), valor da rotação da turbina (RPM), indicadores intermitentes de anomalia (um para cada classe: BM, BE, TSB e AL) e botão de emergência de grupo. Essas informações se repetem de forma fixa no rodapé de todas as páginas referentes a determinado grupo.

3.1.1.2 Condições iniciais

Este assunto foi comentado anteriormente na seção 2.1.4.1. As páginas referentes às condições iniciais possuem uma representação gráfica para cada condição a ser atendida. Existem retângulos contendo o nome de cada uma das condições e estes mudam de cor conforme o estado desta: vermelho para não atendida, amarelo para estado de transição ou incongruência e verde para atendida.

3.1.1.3 Maquinário

As páginas de maquinário possuem desenhos esquemáticos do gerador, eixo, freio, turbina e regulador de velocidade. As informações contidas nestas telas são: temperaturas, pressões, estado de válvulas, tempo de funcionamento e estado de determinados dispositivos. Por se tratar de um grande número de informações, estas foram divididas em duas páginas de maquinário por grupo. A maioria dos ícones possui animações ligadas ao mesmo de forma a alertar o operador sobre a aproximação de uma situação de risco.

3.1.1.4 Parâmetros de Máquina

Nestas páginas, o operador encontra campos de entrada de dados onde podem ser configurados limites de tempo, temperaturas e pressões que virão a disparar avisos de

irregularidade caso os valores lidos pelo CLP ultrapassem os limites estabelecidos (máximos ou mínimos).

Também existem parâmetros que não estão ligados diretamente às anomalias. Por exemplo, o botão de ligar e desligar partida em marcha vazia.

Devido ao grande número de parâmetros, estes foram divididos em duas páginas por grupo.

3.1.1.5 Sequência partida/parada

O detalhamento de partida/parada de grupo fora feito nas seções 2.1.4.1 e 2.1.4.2.

Estas páginas contam com elementos que, através de animações, deixam claro ao operador em que posição de *router* o procedimento se encontra, seja este de partida ou parada.

3.1.1.6 Sinóticos

Conforme o próprio nome, as páginas de sinótico exibem ao operador um resumo de cada sistema. No caso de um sinótico de grupo, só constam informações referentes a um determinado grupo. Já o sinótico geral traz informações dos 4 (quatro) grupos, além de informações acerca do nível do reservatório, comportas, disjuntores, chaves seccionadoras e velocidade de rotação do eixo.

3.1.1.7 Demais páginas

As páginas descritas anteriormente assumem importância relativamente maior dentro o escopo deste trabalho. Devido a isso, algumas páginas citadas anteriormente não estão detalhadas neste trabalho.

3.1.2 Estrutura de automação

A usina ISAI possui 4 (quatro) grupos geradores e cada um possui um armário de automatismo. Neste armário estão contidos diversos componentes elétricos e eletrônicos com a função de controlar o grupo em questão. Alguns desses componentes são: painel *touch screen*, módulos de entrada e saída de dados, disjuntores, chaves contadoras, relés, proteção

elétrica, cabos elétricos, cabos *Profibus*, botão de emergência, chave seletora, sincronizador, etc.

Todos os grupos possuem em seu sistema supervisório uma configuração chamada estado de serviço. Este estado é modificado quando uma chave seletora, presente na frente do armário de automatismo, é operada manualmente. Esta, presente somente nos armários de grupo, possui 4 (quatro) possíveis posições físicas: automático externo (AE), automático interno (AI), excluído (E) e manual (M). Além destes estados, também existe automático interno forçado (AIF), que só é alcançado em nível de supervisório, pois, fisicamente a chave se encontra em estado AE. O armário de SGU também possui uma chave seletora semelhante, porém, esta possui somente duas possíveis posições: comando remoto, onde o SGU é comandado pelo COGE, e comando local, onde é comandado pelo painel *touch screen* do armário de SGU.

Além dos armários de automatismo de grupo, existe mais um chamado armário do SGU, que possui a maioria dos componentes presentes nos armários de grupo, porém voltados aos serviços gerais e à equipamentos de média tensão; e armário SE (subestação) para alta tensão. O SGU é capaz de orientar o controle todos os grupos geradores e, além disso, também recebe e envia dados oriundos da subestação elétrica, reservatório, comporta, grades do conduto forçado, etc. A função deste armário é controlar todo o funcionamento da usina, mas em sua ausência o funcionamento dos armários de grupo não é corrompido, pois a lógica de automação de cada grupo está instalada somente no CLP deste grupo. Por outro lado, caso o mau funcionamento de algum componente do armário de grupo comprometa o funcionamento deste armário, o SGU não é capaz de continuar orientando o controle deste grupo em questão.

Ainda em relação à chave seletora de serviço, quando esta se encontra em AE, o grupo é controlado pelo SGU, ou seja, o grupo pode ser controlado pelo supervisório de SGU. Em AI, o grupo é controlado pelo seu próprio armário. Em E, o grupo encontra-se desligado e é utilizado principalmente para manutenções, embora também seja de boa prática, por redundância de segurança, que o botão de emergência do armário do grupo em questão esteja pressionado. O estado M é utilizado apenas para testes, principalmente no momento da instalação de novos equipamentos. Na maioria do tempo, todas as chaves encontram-se em AE, pois esta situação permite ao operador controlar toda a usina utilizando apenas um supervisório, que permite acesso a todos os dados de todos os grupos e demais setores dentro da usina. O estado AIF é mostrado no supervisório de um determinado grupo quando há falha

na comunicação entre os armários do SGU e deste grupo, especificamente, se, e somente se, a chave seletora estiver em AE.

Para a comunicação entre os armários, estão presentes dois meios físicos distintos: cabos *ethernet* e cabos *Profibus*. Ambos são utilizados, porém possuem funções diferentes. A rede Profibus, por ser um meio mais robusto e possuir característica determinística (Silva, Wladimir L. Diretrizes para Projeto e Instalação de Redes PROFIBUS DP.), onde os dados têm garantia de chegar ao seu destino, é utilizada para transmissão de ordens de comando e de dados de extrema importância, que possam interferir em decisões lógicas coordenadas pelo CLP do SGU. Todos os outros dados que fogem das características citadas anteriormente são transmitidos via *ethernet*.

De forma a operar conforme descrito anteriormente, ambos os meios físicos, *ethernet* e *Profibus*, necessariamente, precisam estar em contato com todas as fontes de dados de todos os armários, que somam 5 (cinco), ao todo. Desta forma, dentro da usina, existe uma arquitetura de rede capaz de suprir tal necessidade. A Figura 3.3 exhibe uma parte do diagrama esquemático de comunicação da usina ISAI.

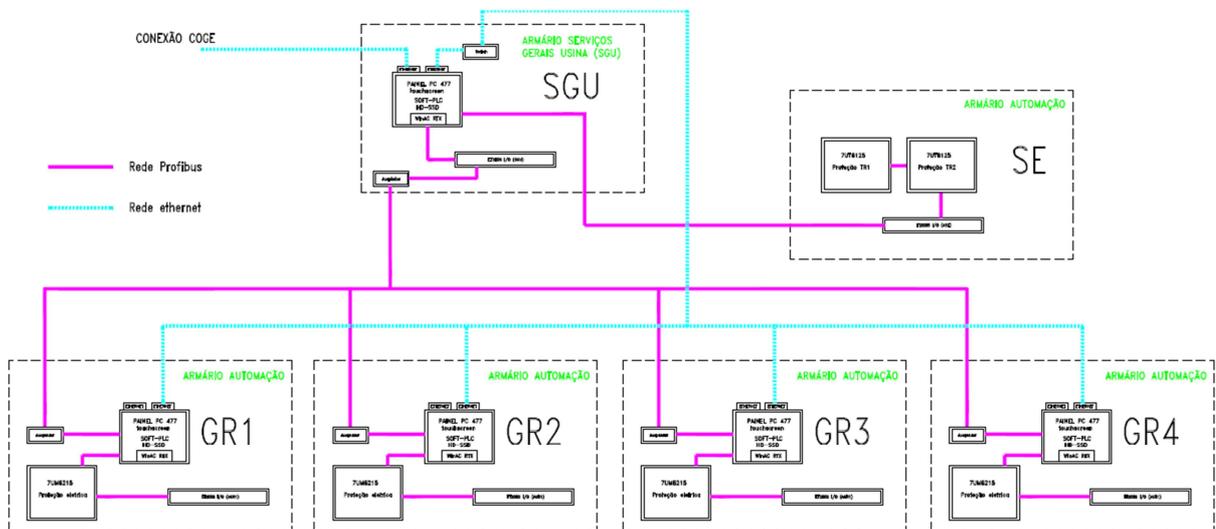


Figura 3. 3 - Parte do diagrama esquemático de comunicação de ISAI.

A rede *Profibus* está ligada ponto a ponto, de modo que o cabo entra e sai de cada equipamento a ela conectado. O módulo remoto de entradas e saídas da subestação, representado pelo equipamento ET200S, de fabricação Siemens, a ET200S do SGU e o painel *touch screen* do SGU, estão num mesmo barramento *Profibus* e, também ligado a este barramento estão quatro acopladores de rede, os quais possuem a função de acoplar o

barramento Profibus do SGU ao barramento *Profibus* de cada grupo. Nos barramentos de grupo, há o acoplador, que é seguido pela ET200S da turbina, ET200S do gerador, painel do grupo e ET200S do regulador de velocidade. Os conectores *Profibus* utilizados também são de fabricação Siemens. Estes possuem estrutura que permite o encaixe de dois cabos *Profibus*. Para determinar a passagem de nós de dados, possuem uma pequena chave seletora de duas posições: uma posição configura que aquele terminal dará continuidade à transmissão de dados através dos dois cabos encaixados nele e, a outra posição, configura que aquele terminal está localizado na extremidade de um barramento.

A rede *ethernet* segue uma arquitetura mais simples. Como cada armário possui um painel e este possui duas entradas *ethernet*, uma dessas entradas de cada painel de grupo é utilizada, ligando-as a um *switch* localizado no armário do grupo 1, devido à proximidade com o armário de SGU. Este *switch* é ligado a outro *switch* localizado no armário SGU. O painel SGU é conectado a este segundo e, dessa forma, há a troca de dados entre armários de grupo e SGU. Assim, fica estabelecida conexão de todas as fontes de informação também via *ethernet*. Também existem outros equipamentos que fazem uso da rede *ethernet*, porém, seus detalhes fogem do escopo deste trabalho.

3.2 Anomalias

Conforme descrito no capítulo anterior, existem 6 (seis) diferentes classes de anomalias, adotadas de forma a agrupar itens semelhantes de acordo com diferentes critérios. É possível imaginar que, com seis classes de anomalias, o número total destas não seja pequeno. Ao todo são cerca de 750 (setecentos e cinquenta) anomalias em ISAI, representadas por todas as classes, todos os quatro grupos e SGU. Desmembrando este número, tem-se 164 (cento e sessenta e quatro) para cada grupo e cerca de 100 (cem) para SGU. Ainda assim, são números grandes e trazem dificuldades tanto no momento de configurá-las em supervisor quanto no momento de operação. De forma a minimizar as dificuldades no momento de configuração das anomalias, foi construída uma ferramenta para padronizar a posição de memória ocupada por cada uma das anomalias, os textos descritivos de cada uma e também foi criado um código, apenas de uso interno, para organização das anomalias. Essa ferramenta, quando utilizada futuramente, facilitará a escolha de quais anomalias estarão presentes em cada projeto.

3.2.1 Bloqueio, *trip* sem bloqueio e alarme

O foco deste trabalho é o estudo de anomalias e estas possuem diferentes origens. Assim como as origens, as anomalias também diferem em outros aspectos e um destes é o nível de relevância de cada um. Existem situações, dentro de uma usina hidrelétrica, que fogem da condição normal, porém, se suas resoluções forem postergadas, não possuem potencial para causar incidentes ou acidentes a curto ou médio prazo. Enquanto outras exigem altos graus de urgência. Nestes casos, providências devem ser tomadas imediatamente após uma possível ocorrência.

As anomalias de usinas da EGP são divididas em 3 (três) classes principais: bloqueio (BL), Trip sem bloqueio (TSB) e alarme (AL), e suas ocorrências provocam diferentes comportamentos do sistema. Porém, dentro destas classes ainda existem outras divisões. Os bloqueios possuem duas possíveis origens: elétricos (BE) ou mecânicos (BM); e os alarmes, devido à estrutura de automação da usina, se dividem em: alarmes (grupo) (AL), alarmes urgentes (SGU) (AU) e alarmes deferíveis (SGU) (AD).

A classe AL está presente nos sistemas dos grupos, também estão presentes: BE, BM e TSB, ou seja, suas ocorrências são provocadas por equipamentos presentes somente nos grupos geradores. Enquanto que AU e AD estão presentes somente no SGU. Estes dois últimos não estão presentes nos sistemas dos grupos. Porém, com base no que fora descrito na seção 3.1.1.1, é possível visualizar qualquer ocorrência de anomalia, independentemente de classe, através do supervisor SGU, pois este possui páginas específicas do próprio SGU e também para cada grupo.

Algumas classes possuem em seus próprios nomes uma boa indicação do motivo pelo qual foram criadas. É o caso de BE, BM, AU e AD.

Os BE são disparados quando alguma situação, envolvendo um ou mais equipamentos elétricos, exige o bloqueio de toda operação envolvendo aquele grupo gerador, até que o motivo que tenha provocado o disparo do bloqueio seja resolvido. Neste caso, conforme introduzido na seção 2.1.4.2, o grupo entra em processo de parada e deve ser desacoplado da rede elétrica, através da abertura do disjuntor 52G, com extrema urgência, pois caso isto não ocorra, pode causar sérios danos a equipamentos e, existe também outro motivo, com menor potencial de perda. Quando um grupo deixa de gerar energia, mas continua acoplado à rede, o mesmo passa a consumir energia, o que também representa perda à empresa.

Os BM são disparados quando alguma situação, envolvendo um ou mais equipamentos mecânicos, exige o bloqueio de toda operação envolvendo aquele grupo gerador, até que o

motivo que tenha provocado o disparo do bloqueio seja resolvido. Este tipo de bloqueio também possui alto potencial de perda de equipamento, caso a operação não seja bloqueada.

Os AL também representam situações anormais no processo e, devido a isso, suas ocorrências devem chegar ao conhecimento do operador, porém, não exigem que o processo de geração seja interrompido.

As *Trips* deste projeto, e também de outros projetos da EGP, não provocam bloqueio e, devido a isso, recebem o nome de *trip* sem bloqueio, conforme mencionado anteriormente. As TSB, em relação ao grau de relevância, são bem semelhantes aos AL. Porém, o disparo deste tipo de anomalia tem origem em agentes externos, ou seja, não são representados por nenhum dos equipamentos citados até o momento. Há ainda, programado em lógica, um dispositivo, que após a ocorrência de uma TSB, o grupo é desconectado da rede elétrica e passa a funcionar em marcha vazia. Caso não ocorra nenhuma outra TSB dentro de uma janela de 5 (cinco) minutos, o grupo é religado à rede.

Os AU, embora dentro da mesma classe, possuem origens bem variadas em seus disparos, assim como AD. Estes dois diferem entre si, principalmente, pela gravidade da anomalia. AU requerem reações urgentes por parte do operador. Enquanto que AD se assemelham aos AL, ou seja, são informações importantes ao conhecimento do operador, mas não demandam soluções urgentes.

3.2.2 Codificação de anomalias

Devido ao grande número de classes e sistemas, para contribuir na organização das anomalias, foram utilizados códigos que seguem um padrão. Este padrão foi definido entre a equipe de automação da EGP após algumas reuniões e se destina a utilização interna.

O código é formado por cinco algarismos numéricos. O primeiro algarismo pode variar de 0 (zero) a 5 (cinco) e representa, respectivamente, as classes BM, BE, TSB, AL, AD e AU. O segundo algarismo representa o grupo gerador e, no caso de SGU, este algarismo é sempre 0 (zero). Os três últimos algarismos representam as anomalias, dispostas em uma ordem internamente estabelecida. Estes últimos algarismos são herdados do local em memória do sistema SCADA ocupado por cada anomalia. Cada anomalia ocupa um dígito binário (ou *bit* do inglês *binary digit*), dentro de um Bloco de Dados (DB – *Data Block*). Estes blocos são divididos em octetos (ou *bytes*, do inglês *binary terms*). Logo, os três últimos algarismos da codificação são os dois algarismos menos significativos do *byte* ocupado e mais o número do

bit ocupado. Como exemplo desta codificação, estão listadas na Quadro 3.1 algumas das anomalias presentes em usinas da EGP.

Código	Classe	Sistema	Descrição
01000	Bloqueio Mecânico	Grupo 1	Máxima temperatura metal mancal combinado lado acoplado
01001	Bloqueio Mecânico	Grupo 1	Máxima temperatura metal mancal combinado lado não acoplado
01007	Bloqueio Mecânico	Grupo 1	Máxima temperatura metal mancal gerador lado acoplado
01010	Bloqueio Mecânico	Grupo 1	Máxima temperatura metal mancal gerador lado não acoplado
01020	Bloqueio Mecânico	Grupo 1	Grupo parado com rotação
11000	Bloqueio Elétrico	Grupo 1	Bloqueio da SGU
11005	Bloqueio Elétrico	Grupo 1	Anomalia válvula de máquina
11006	Bloqueio Elétrico	Grupo 1	Anomalia ao ligar excitatriz
11020	Bloqueio Elétrico	Grupo 1	Posição distribuidor acima posição inicial arranque
11023	Bloqueio Elétrico	Grupo 1	52G aberto em geração
21000	Trip Sem Bloqueio	Grupo 1	Máxima corrente
21001	Trip Sem Bloqueio	Grupo 1	Desequilíbrio de carga
21002	Trip Sem Bloqueio	Grupo 1	Mínima tensão
31000	Alarme (Grupo)	Grupo 1	Máxima temperatura óleo mancal combinado
31001	Alarme (Grupo)	Grupo 1	Anomalia sistema freios
31002	Alarme (Grupo)	Grupo 1	Máxima temperatura óleo regulador

Quadro 3. 1 - Lista de anomalias possivelmente presente em um grupo gerador genérico.

3.2.3 Formulário de anomalias

Algumas usinas pertencentes à EGP já operam de forma totalmente automatizada, porém, quando o projeto de automação foi implantado em cada uma delas, houve um aproveitamento de equipamentos e estruturas de cada uma. Desse modo, a lista de anomalias configuradas na lógica do CLP e no sistema supervisório varia de uma usina para a outra.

Para auxiliar o projeto de implantação de um novo sistema de automação, mais especificamente, a tarefa de listar as anomalias que serão configuradas, um formulário, de utilização bem simples, foi criado em Microsoft Excel. Este formulário engloba todas as possíveis situações de alarme, bloqueio e TSB presentes em todas as usinas da EGP, ou seja, nele consta a união de todas as anomalias já configuradas anteriormente, levando em consideração todos os projetos já implantados.

3.2.3.1 Ferramenta para construção do formulário

Para criar o formulário, foi utilizado o *software* Microsoft Excel, que possui como uma de suas funcionalidades acesso a programação em Microsoft Visual Basic, voltado a aplicações. O detalhamento do processo de criação desta ferramenta foge do escopo deste trabalho, portanto, não será feito.

A Figura 3.4 exibe a janela do Microsoft Visual Basic e suas ferramentas assim que a janela é aberta. Todo o formulário em questão foi construído utilizando as ferramentas: UserForm, Código, Propriedades e Caixa de ferramentas.

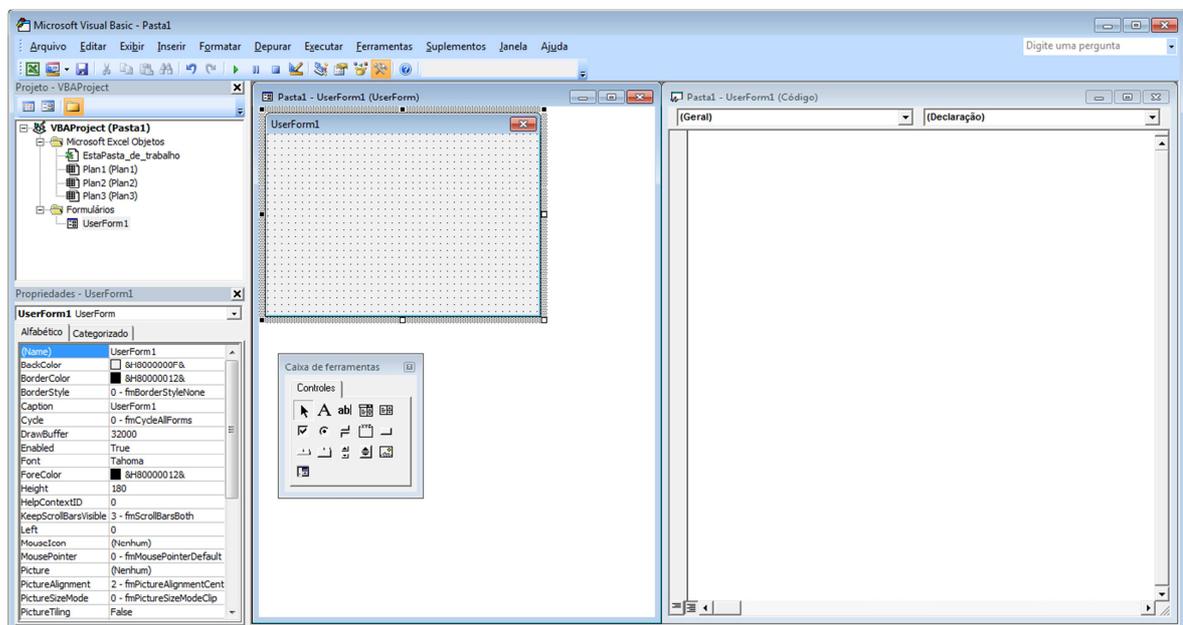


Figura 3. 4 - Software Microsoft Visual Basic exibindo a tela de criação de um formulário.

No capítulo 4, serão detalhados o funcionamento do formulário, as formas de utilização do mesmo e sua interface com o usuário.

3.2.4 Partida, parada e repartida de grupo

Conforme a definição de bloqueio, tanto elétrico quanto mecânico, o mesmo provoca o procedimento de parada. Porém, esse procedimento se comporta de maneira distinta, dependendo da origem da ordem de parar. De fato, quando este tipo de anomalia ocorre, o

procedimento de parada é seguido até o momento de sua conclusão. Mas em BE, o distribuidor é fechado e imediatamente todos os outros componentes são desabilitados simultaneamente. Já em BM, aguarda-se a diminuição da potência até um determinado valor e, quando este valor é alcançado, os componentes são desabilitados simultaneamente. Nas situações de parada por bloqueio, não é possível repartir o grupo, ou seja, é necessário aguardar a conclusão do procedimento de parada, verificar e reparar o motivo do bloqueio, desbloquear o grupo no supervisor e, só então iniciar uma nova partida.

Quando ocorre uma TSB, o distribuidor é fechado para diminuir a potência ativa e em seguida o disjuntor de grupo é aberto. Neste caso, o PID de velocidade mantém-se ativo, onde o *setpoint* é a velocidade de rotação nominal. O procedimento de repartida é iniciado automaticamente, conforme descrito na seção 3.2.4. Porém, caso ocorram 3 (três) TSB em uma janela de tempo de 1 (uma) hora, ocorre o disparo de um BE e o procedimento de parada segue conforme o de um BE.

Quando o procedimento de parada é iniciado pela ordem do operador, esse é mais lento quando comparado aos procedimentos descritos acima. O motivo desta diferença de tempo é evitar desgastes eletromecânicos desnecessários. E neste caso, é possível dar a ordem de repartida durante o procedimento de parada.

3.3 Algoritmo de anomalias

Para o estudo de análise de riscos, em uma tentativa de quantificar o risco corrente na planta hidrelétrica, foram elaborados algoritmos que transformam a lista de anomalias em números que representam o nível de risco da planta a qual as anomalias pertencem. Porém, para tornar possível tal transformação, foi necessário analisar todas as anomalias e dar pesos às mesmas de acordo com o risco potencial que cada uma representa.

Devido ao grande número de anomalias presentes em toda a planta, para esta análise, considerou-se apenas as anomalias referentes à unidade geradora 1 (um). Ainda assim, em virtude das distintas origens as quais as anomalias estão ligadas, o que dificultaria a atribuição dos pesos às mesmas, foi realizado um procedimento de desmembramento da lista de anomalias de forma a gerar grupos contendo amostras similares entre si.

3.3.1 Procedimento

Primeiramente, todas as anomalias do grupo 1 foram colocadas em uma planilha contendo apenas uma única coluna. Esta continha os textos descritivos das anomalias precedidos por um dos símbolos: BM, BE, TSB ou AL, que representam as classes já descritas anteriormente. Em seguida, foram adicionadas mais 4 (quatro) colunas, onde foram feitos os reagrupamentos, de acordo com as similaridades, por 4 (quatro) critérios diferentes.

O primeiro critério, fazendo uso das classes originais, utiliza os algarismos 3, 2 e 1 para classificar BL, TSB e AL, respectivamente. Estes números representam os riscos apresentados pelas classes de anomalia, ou seja, por exemplo, um BL apresenta maior risco que um TSB. Vale ressaltar que, neste momento não foram diferenciados BM e BE.

O segundo, ainda utilizando as classes originais, somente foi responsável por diferenciar BM e BE, utilizando os algarismos 1 e 2, respectivamente. Estes números não possuem ligação com os riscos apresentados pelas classes de anomalia. Para TSB e AL, utilizou-se N.A. (não se aplica).

Para os critérios seguintes, não foram levadas em consideração as classes originais.

O terceiro critério levou em consideração a proximidade dos equipamentos envolvidos nas anomalias, de acordo com as páginas do sistema supervisor, para formar grupos. Como algumas páginas contém informações de muitos equipamentos, também foi utilizado o critério de regiões de uma mesma página para criar diferentes grupos. A estes grupos foram associados os algarismos de 1 a 15, sem necessariamente representar uma ordem, apenas foram classificados na ordem em que se apresentavam na lista original.

O quarto critério foi utilizado para dar pesos às anomalias de acordo com o risco em potencial que uma determinada anomalia possa representar para o sistema. Foram utilizados os números: 0.25, 0.5, 0.75 e 1.00 para os pesos, que representam os riscos de forma crescente, ou seja, um determinada anomalia que receber o peso 1.00 tem potencial de risco maior que outra classificada com peso 0.75. Para atribuí-los, de fato, os equipamentos foram considerados individualmente. Como muitos dos equipamentos possuem mais de uma anomalia associada, foi possível, para alguns deles, utilizar os 4 (quatro) níveis de risco definidos neste critério. Este procedimento visou maior eficiência ao critério, pois tendo uma lista de anomalias ligadas a um mesmo equipamento facilitou a atribuição dos pesos. Para este critério, levaram-se em consideração os conceitos de causa e efeito, frequência de ocorrência das anomalias e opinião de profissionais envolvidos na operação da usina.

Após estas etapas, obteve-se uma planilha contendo cinco colunas: a primeira contendo os textos descritivos e as demais, as classificações de acordo com a ordem em que os critérios foram apresentados.

3.3.2 Análise de dados

Com o procedimento descrito na seção anterior concluído, chegou-se aos números apresentados nos quadros a seguir:

Critério 1	Identificador	Classes originais	Contagem	Percentual (%)
	1	AL	57	34.76
	2	TSB	8	4.88
	3	BL = BM + BE	99	60.36
-	BL + TSB + AL	164	100.00	

Quadro 3. 2 - Dados estatísticos conforme critério 1.

Critério 2	Identificador	Classes originais	Contagem	Percentual (%)
	1	BM	43	43.43
	2	BE	56	56.57
	N.A.	TSB + AL	65*	-
-	BL = BM + BE	99	100.00	

* Não contabilizado em BL.

Quadro 3. 3 - Dados estatísticos conforme critério 2.

Critério 4	Pesos	Contagem	Percentual (%)
	1.00	28	17.07
	0.75	69	42.07
	0.5	60	36.59
	0.25	7	4.27
BL + TSB + AL	164	100.00	

Quadro 3. 4 - Dados estatísticos conforme critério 4.

Pelo Quadro 3.2, pode-se notar que BL ocupa a maior parte das anomalias, seguido por AL e, com menos de 5%, TSB.

O Quadro 3.3, esclarece, dentro de BL, o número de BM e BE, onde o segundo se mostra pouco mais numeroso. O somatório de TSB e AL está presente no quadro porque as classes também fazem parte do critério, apesar de não apresentarem importância prática.

O Quadro 3.4 deixa claro que a maior parte das anomalias representa risco mediano. Além disso, o número de anomalias consideradas de risco mediano-alto se mostra pouco superior ao número de mediano-baixo, e somados, estes dois são da ordem de 4 (quatro) vezes a soma das classificações extremas. Também é importante ressaltar que o número de anomalias consideradas de risco alto é da ordem de 5 (cinco) vezes as de risco baixo.

3.3.3 Análise de risco

De posse da planilha gerada após execução do procedimento descrito na seção 3.3.1, é importante estabelecer o limite superior que será utilizado nesta análise. Este limite foi obtido conforme a Equação 3.1:

$$\text{limite superior} = \sum_{k=1}^{164} C_{1,k} * C_{4,k} \quad (3.1)$$

onde: $C_{1,k}$ é o numeral identificador da k-ésima anomalia conforme critério 1;

$C_{4,k}$ é o peso da k-ésima anomalia conforme critério 4.

O número obtido para o limite superior foi igual a 263 (duzentos e sessenta e três) e representa a situação onde todas as anomalias configuradas no CLP se encontram em estado ativo (situação fictícia).

CAPÍTULO 4 – RESULTADOS

4.1 FORMULÁRIO DE ANOMALIAS

Conforme descrito na seção 3.2.3, esta ferramenta foi criada para facilitar a tarefa de listar as anomalias que, dentre um banco de anomalias possíveis, estarão presentes em um novo projeto.

4.1.1 Utilização do Formulário de Anomalias

O formulário em questão, chamado de Formulário de Anomalias, por ser uma ferramenta de utilização interna, não possui nenhum emblema da empresa, e teve sua funcionalidade elaborada e construída para ser o mais objetiva possível.

Através da Figura 4.1, pode-se ver que o mesmo conta com um cabeçalho, composto por três campos e dois botões, e um corpo, composto por abas e caixas de seleção.

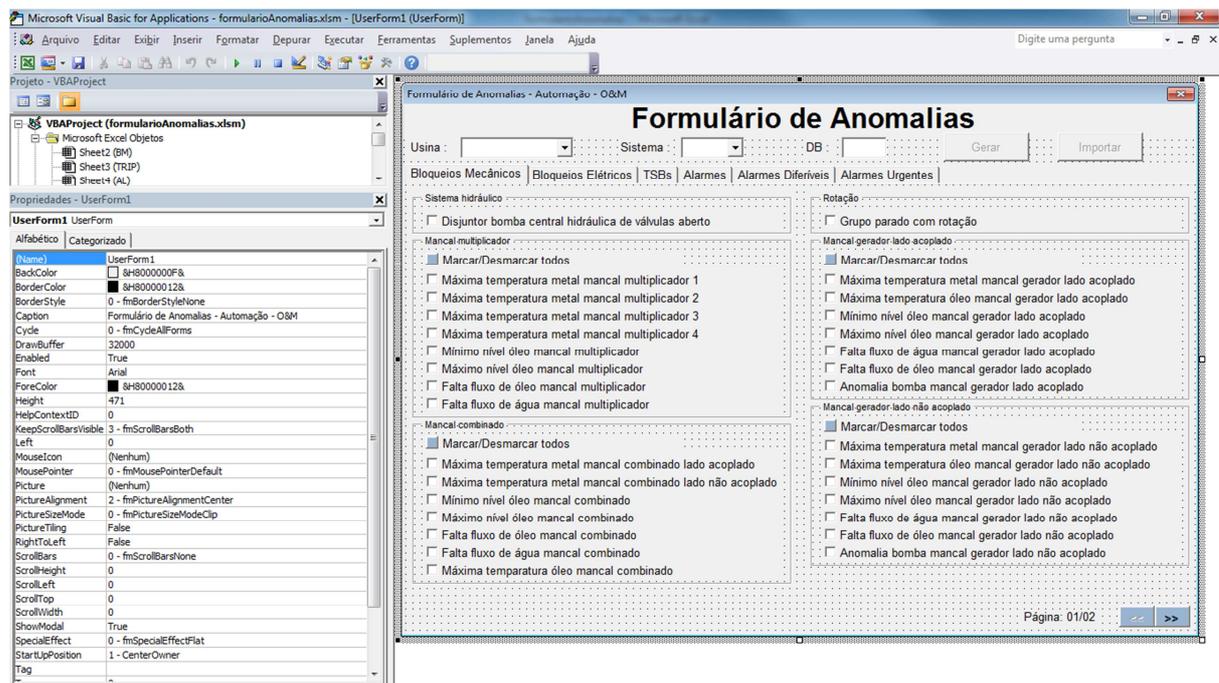


Figura 4. 1 - Formulário de anomalias sendo editado.

O preenchimento do cabeçalho deve ser feito na ordem em que aparece: usina, sistema e DB. Pois, ao longo do preenchimento, são executadas funções que visam à integridade do documento final. Quando o campo usina é preenchido, uma função acessa um banco de dados em busca do número de grupos geradores daquela usina e, automaticamente, adiciona as informações corretas à lista de opções, antes vazia, do campo sistema. Após o preenchimento

do segundo campo, outra função é executada. Esta função verifica se já existe algum documento referente àquela usina e sistema salvo anteriormente. Caso exista, o campo DB e o corpo do formulário são preenchidos conforme esse documento salvo e, neste momento, a edição de certas abas do formulário é habilitada. Caso não exista, é necessário preencher o campo DB para continuar a criação do documento, pois só assim o corpo do formulário é habilitado para edição.

Conforme explicado na seção 3.2.1, os diferentes sistemas possuem diferentes classes de anomalia. Ou seja, se o campo referente ao sistema for SGU, somente as abas de AU e AD serão habilitadas e, de forma semelhante, se o sistema for um grupo gerador, as classes serão BM, BE, AL e TSB. Esta exigência foi aplicada para não armazenar informações redundantes ou inconsistentes. No momento em que as caixas de seleção são habilitadas para edição, estas devem ser marcadas conforme a estrutura da usina e do sistema. Depois de marcadas, o documento pode ser salvo mediante clique no botão salvar, presente no cabeçalho. Antes de salvar, de fato, o formulário questiona se existe a certeza daquela operação e, caso sim, o documento é salvo. Os documentos são salvos na forma de planilha e não permitem edição de seus conteúdos. Todos os documentos são mantidos na rede da empresa, em um diretório com controle de acesso somente através de senha. Mesmo para a reedição de documentos, foi preferível manter os mais antigos, que são automaticamente direcionados a um subdiretório.

Existe mais uma funcionalidade presente no momento de preenchimento. Geralmente, grupos geradores de uma mesma usina possuem, senão as mesmas, configurações muito parecidas. Então, no momento em que já foram preenchidos os campos usina e sistema, é possível clicar no botão importar que, abre uma janela com opções de documentos já salvos. Após escolher a opção desejada e confirmando, o corpo do formulário é preenchido de forma automática, menos o campo DB. A operação de salvar só é habilitada após preenchimento de todos os campos do cabeçalho.

4.1.2 Funcionamento do Formulário de Anomalias

Abaixo, encontra-se uma sequência de imagens que ilustram o modo de utilização descrito na seção anterior.

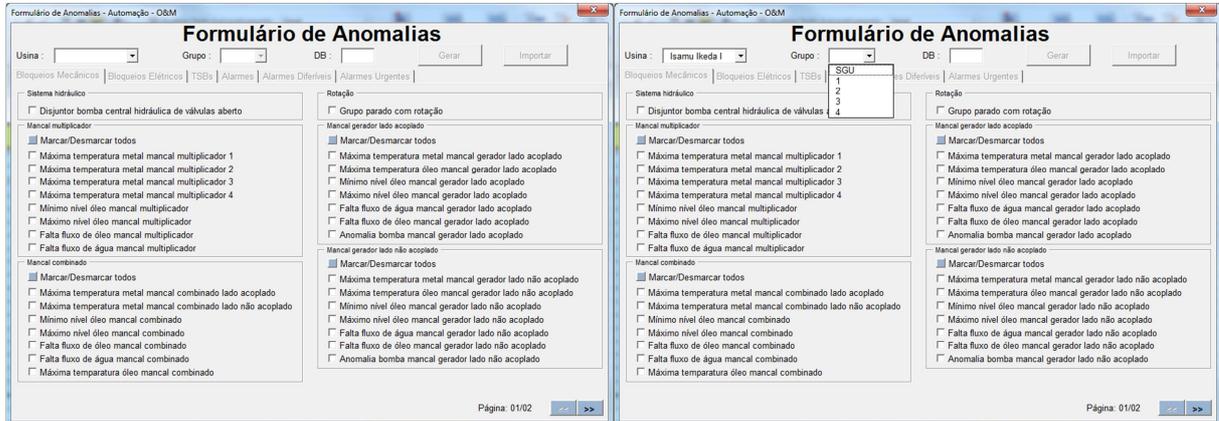


Figura 4. 2 - Sequência de funcionamento do Formulário de anomalias (“a” e “b”).

A Figura 4.2, da esquerda para a direita, mostra o formulário imediatamente após aberto (a) e, em seguida, com a usina ISAI selecionada no campo usina (b). Pode-se notar que, ao realizar esta seleção, as opções apresentadas no campo sistema são exatamente os sistemas presentes em ISAI, ou seja, não foram listados itens em desacordo com a realidade.

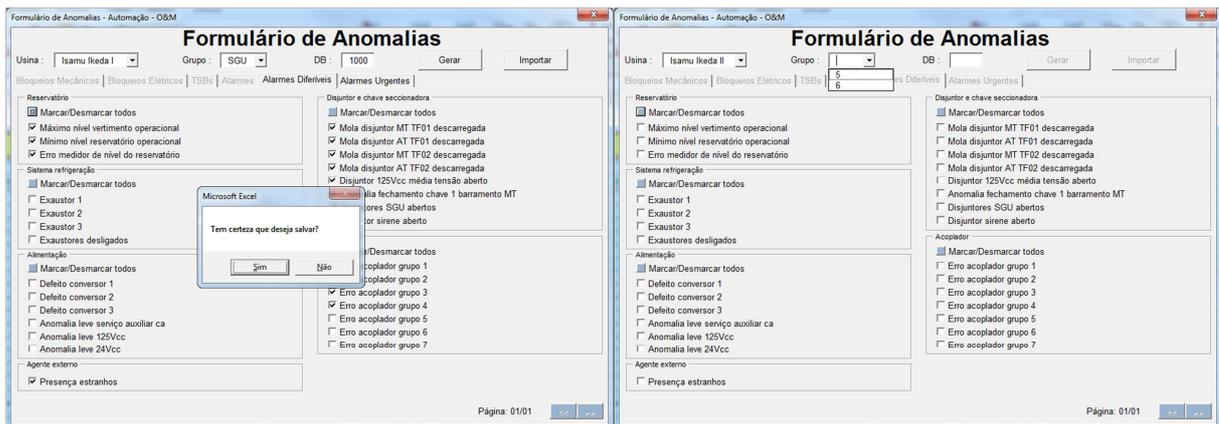


Figura 4. 3 - Sequência de funcionamento do Formulário de anomalias (“c” e “d”).

A Figura 4.3, da esquerda para a direita, mostra o momento em que o formulário solicita a confirmação para realizar a operação salvar (c) e, em seguida, com o campo usina

preenchido pela usina ISII (d). Mais um exemplo da função de listar sistemas. Pode-se notar que as opções apresentadas diferem das opções para ISAI, conforme desejado.

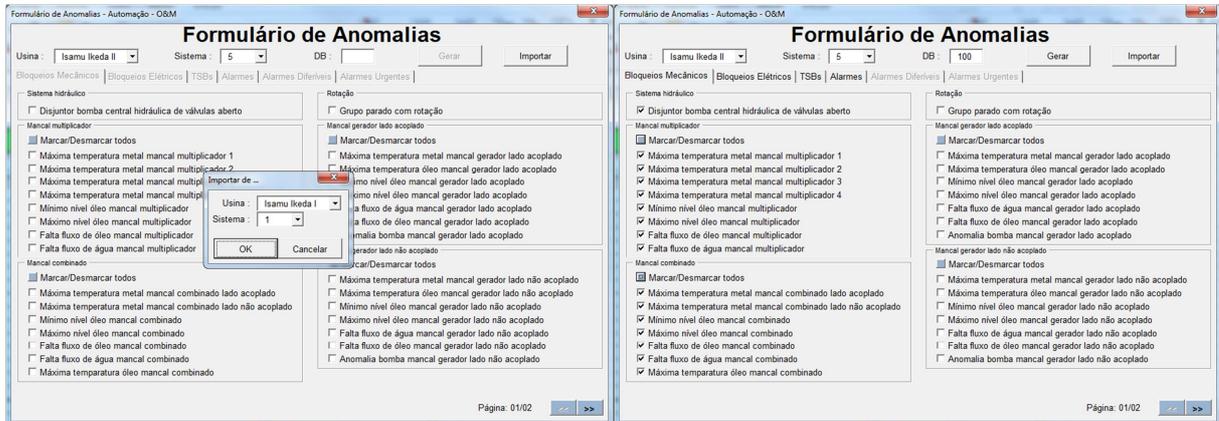


Figura 4. 4 - Sequência de funcionamento do Formulário de anomalias (“e” e “f”).

A Figura 4.4 exemplifica a execução da função “importar”. Primeiramente, o formulário exibe uma pequena janela somente com os campos usina e sistema, permitindo a escolha dentre os documentos já armazenados (e). No exemplo, o formulário foi preenchido com usina ISII e sistema grupo cinco, logo, as opções de importação limitam-se a grupos geradores, impossibilitando realizar a exportação de um documento para SGU (f). Após a confirmação, o formulário é preenchido conforme arquivo importado. Importante lembrar que o campo DB não foi preenchido automaticamente pelo comando de importar.

4.2 NORMA APLICADA A ISAMU IKEDA I

As designações de sequências fornecidas pela norma foram utilizadas para direcionar quais mudanças eram necessárias. Além disso, também orientou em relação à padronização da sequência de operação de anomalias do projeto em questão.

Cabe ressaltar que a norma foi criada para plantas analógicas e, quando aplicada a uma planta digitalizada, deve-se atentar para algumas mudanças.

De início, tem-se o antigo painel de controle substituído pela ET200S (aquisição de dados) e painel contendo as páginas de supervisão. Este se trata de um painel *touch screen* que exibe em sua tela o sistema supervisor e também funciona como CLP. Este sistema conta com telas, conforme descrito na seção 3.1, compostas por botões, listas e outros elementos, confeccionadas visando tornar sua utilização bastante intuitiva.

A norma também faz referência a mostradores, janelas, lâmpadas, etiquetas, representações físicas de sequências, cabine lógica, botões físicos, etc. Todos estes itens estão presentes de forma virtual nas páginas internavegáveis.

A aplicabilidade da norma ISA-18.1-1979 (R1992) é mais evidente, neste trabalho, nas páginas de anomalia e nos elementos que a compõem. Porém, também está presente na padronização das sequências utilizadas e na orientação em relação à elaboração e reunião de documentos acerca do projeto de automação.

4.2.1 Documentos

Estes documentos trazem informações sobre o funcionamento do painel *touch screen*, seu funcionamento e configurações básicas; descrição detalhada das telas de supervisor, com informações da disponibilidade de informações e comandos a ser executados; descrição da sequência de operação de anomalias, o qual será descrita na próxima seção; todo o projeto de instalação dos equipamentos de automação, contendo sensores, cabos, fontes, armários e os outros diversos equipamentos presentes na planta, também dispostos em lista contendo a quantidade de cada um; manuais dos principais softwares (WinCC flexible e Step7) , envolvidos na construção do projeto e contatos das empresas fabricantes, bem como documentos para gerenciamento das licenças dos softwares; e também informações gerais sobre o processo de criação da lógica de automação.

4.2.2 Sequência de operação de anomalias

A designação mais adequada ao projeto foi chamada de F1.aA-1. Esta pode ser descrita, conforme método de designação e simbologia, por: (A) Reset automático, ou seja, após uma ocorrência de anomalia, esta é sinalizada ao operador, independentemente da página do supervisor que operador esteja vendo no momento desta ocorrência. Imediatamente, o mesmo deve navegar até a página de anomalia correspondente e observar a lista. Após isto, clicar no botão Desbloquear, que possui a função de reconhecimento. Para este projeto, a forma de diferenciar anomalias reconhecidas ou não se dá pelas cores utilizadas. Anomalias não reconhecidas são exibidas em cores intensas e também diferem conforme a classe. Após reconhecimento, as anomalias recebem cores menos vibrantes, também diferentes conforme a classe. Ao retornar a condição normal do processo, não é necessário realizar nenhuma operação para que as anomalias deixem de ser exibidas na tela. Caso haja necessidade de

reobservar a ocorrência, deve-se navegar até a página de histórico de anomalias; (F1.a) Dentre as descrições presentes na norma, a sequência F1 é a que mais se aproxima do funcionamento de ISAI. O sufixo “a” foi adicionado ao final da designação para tornar evidente que houve uma modificação na mesma. Esta se dá devido ao estado das anomalias subsequentes à primeira anomalia ativada, pois estas são exibidas no estado não reconhecido, diferentemente do que a norma sugere. A primeira anomalia ativada, além de ser exibida na lista junto com as outras anomalias, também é exibida em outro local, na mesma página em um rótulo próximo aos botões de filtro. O reset da primeira anomalia é dado no momento em que o botão de Desbloquear é clicado, ou seja, junto com o reconhecimento da lista de anomalias. Para utilização deste recurso, foi necessário criar na lógica de programação a devida rotina para captar a primeira anomalia operada. Esta rotina, depois de operada e as anomalias reconhecidas, só é habilitada novamente quando as condições normais do processo forem reestabelecidas. Não existe nenhum local com a função específica de armazenar o histórico de primeiras anomalias, ou seja, estas são armazenadas juntamente com as outras, nas páginas de histórico correspondentes; (1) Esta designação numérica se dá devido à presença do botão Silenciar Sirene, que tem a função momentânea de inibir a sinalização sonora. Esta função não tem qualquer ligação com o reconhecimento de anomalias. Isto é, caso o botão Silenciar Sirene seja clicado, o aviso sonoro deixa de ser emitido, mas a ocorrência de anomalias continua sem reconhecimento. Uma vez dado o reconhecimento e as condições normais reestabelecidas, caso as mesmas anomalias insistam em ocorrer, o aviso sonoro soará novamente. Porém, caso haja nova ocorrência de anomalia enquanto as condições normais não forem reestabelecidas e o botão de silenciar sirene tenha sido pressionado, a sirene não voltará a soar. Ou seja, o toque da sirene só é reabilitado após retorno às condições normais.

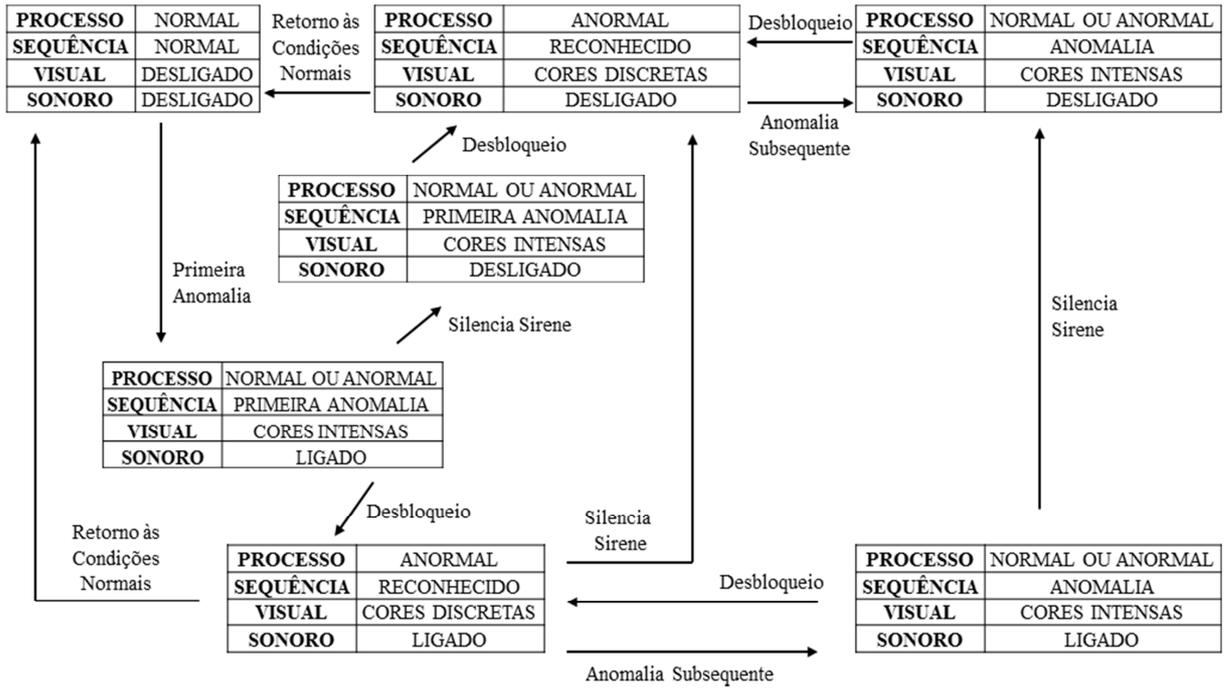


Figura 4.5 - Sequência de operação de anomalias para ISAI.

A Figura 4.5 exibe a sequência de operação das anomalias no formato de diagrama, conforme proposto pela norma. Cada bloco representa um estado e as setas representam mudanças nas condições do processo. Caso ocorra alguma mudança em um determinado estado e esta não esteja simbolizada no diagrama da figura acima, o processo continua no mesmo estado.

Como modelo para as modificações oriundas da aplicação da norma no supervisor, será utilizada a página de anomalia em tempo real do grupo 1. A descrição da antiga página está na seção 3.1.1.1, porém, após aplicação da norma, a página sofreu algumas mudanças. Também foram feitas modificações na lógica de automação, adicionando ao conteúdo já existente uma nova função capaz de identificar a primeira anomalia a operar, dentre uma cascata de anomalias. Esta função armazena em uma variável do tipo inteiro o código de anomalias descrito na seção 3.2.2.

HCS ENEL BRASIL - Usina Isamu Ikeda 1 - SGU 16/07/2014 10:35:52

Geral		Unifilar		Anomalias SGU		Regulação de Nível		Parâmetros Gerais						
Grupo 1			Grupo 2			Grupo 3			Grupo 4			Serviços		
CL. N.	Hr	Data	Estado	Anomalia										
BM 01062	10:35:27	16/07/2014	A	Falha na bomba do regulador de velocidade.										
BM 01050	10:35:27	16/07/2014	A	Máxima temperatura de óleo do regulador de velocidade.										
BM 01047	10:35:27	16/07/2014	A	Mínima pressão de óleo da bomba do regulador de velocidade.										

Relé de Bloq. Excitado

STEP LÓGICO MOMENTO DO BLOQUEIO 100

Legenda Estado Anomalias

BL	TSB	AL	A=Ativado
R	R	R	R=Extinto
K	K	K	K=Verificado

FILTRO ANOMALIAS

TODAS BLOQUEIOS ELÉTRICOS BLOQUEIOS MECÂNICOS TSB ALARMES

Grupo em Bloqueio 199 RPM

BE BM TSB AL

PRIMEIRA ANOMALIA CÓDIGO DA PRIMEIRA ANOM. 01050

Emergência Grupo 1

Figura 4. 6 - Tela de Anomalias em tempo real do Grupo 1, após modificações.

A Figura 4.6, além de exibir o conteúdo conforme descrição da seção 3.1.1.1, também traz as modificações feitas após aplicação da norma. Estas são: adição do botão de silenciar sirene e da informação de primeira anomalia a operar. São poucas modificações, mas de grande influência para o trabalho do operador da usina.

programa FirstOutAnnunciator

início programa

DB_ORIGEM, DB_DESTINO: entrada //DB = DATABLOCK

ANOMALIA: duplo-inteiro

N_GRUPO, CODIGO_ANOMALIA, TAMANHO_DB, INT_AUXILIAR, CORTE: inteiro

ANOMALIA_OBTIDA: booleano

N_GRUPO = 1

se tamanho(DB_ORIGEM) == tamanho(DATABLOCK_DESTINO)

INT_AUXILIAR = tamanho(DATABLOCK_ORIGEM)

TAMANHO_DB = tamanho(DATABLOCK_ORIGEM)

senão

escreva "ERRO DE DIMENSÃO DE BLOCO DE DADOS"

fim programa

fim se

se ANOMALIA_OBTIDA

fim programa

fim se

enquanto INT_AUXILIAR > 0

se DB_ORIGEM [TAMANHO_DB - INT_AUXILIAR:TAMANHO_DB - INT_AUXILIAR + 4] == 0

INT_AUXILIAR - = 4

senão

ANOMALIA_OBTIDA = verdadeiro

fim enquanto

fim enquanto

CORTE = TAMANHO_DB - INT_AUXILIAR

DB_DESTINO [CORTE : CORTE + 4] = invert_e_bytes(DB_ORIGEM [CORTE : CORTE + 4])

CODIGO_ANOMALIA += 1000 * N_GRUPO

ANOMALIA = DB_DESTINO [CORTE : CORTE + 4]

se 0 <= CORTE < 800

CODIGO_ANOMALIA = 10000 * inteiro(CORTE / 200)

CODIGO_ANOMALIA += octal(log2(DB_DESTINO [CORTE : CORTE + 4]))

CODIGO_ANOMALIA += 32 * (resto(CORTE, 200) / 4)

senão

escreva "ERRO DE AQUISIÇÃO DE ANOMALIA"

fim programa

fim se

fim programa

4.3 INDICADORES DE RISCO APLICADOS A ISAMU IKEDA I

Conforme descrito na seção 3.3, através do algoritmo de análise de risco, ou seja, estabelecendo pesos para cada uma das anomalias presentes na planta de ISAI (Grupo 1), foi possível estabelecer um limite superior, representando a situação onde todas as anomalias do sistema estariam ativas.

Após executar os procedimentos e realizar as análises, todos descritos na seção 3.3, alguns cenários reais de operação foram selecionados para aplicação do indicador de risco operacional e serão apresentadas de acordo com o indicador e em ordem crescente. Este indicador faz uso do procedimento e do limite, de forma a estabelecer quão próxima a situação operacional corrente está ao limite superior.

4.3.1 Cenários operacionais

Todos os cenários apresentados a seguir foram retirados do arquivo de histórico de anomalias, que é armazenado na memória do painel *touch screen*.

O primeiro cenário é representado por apenas uma anomalia, pertencente à classe AL, conforme Quadro 4.1.

Classe	Código	Hora	Data	Estado	Anomalia
AL	31004	11:17:53	25/11/2014	A	Mínimo nível de óleo da comporta.

Quadro 4. 1 - Cenário operacional 1

No caso, o valor para o indicador foi 0.75 (três quartos). Como o limite superior é 263 (duzentos e sessenta e três), o indicador representa, aproximadamente, 0.29% do limite.

No segundo caso, conforme ilustrado pelo Quadro 4.2, também com uma única anomalia, porém, da classe BM.

Classe	Código	Hora	Data	Estado	Anomalia
BM	01051	16:58:41	29/11/2014	A	Máxima temperatura do óleo da comporta.

Quadro 4. 2 - Cenário operacional 2

O valor do indicador para este caso foi 1.5 (um e meio) e representa, aproximadamente, 0.57% do limite.

O terceiro caso é marcado pela ocorrência de três anomalias de mesma classe (BM). Pode-se perceber pelo Quadro 4.3, que as anomalias ocorreram em uma janela de tempo menos que um segundo. Devido ao algoritmo de detecção da primeira anomalia, foi registrado também em histórico que a cascata de anomalias se originou devido à máxima temperatura de óleo do regulador de velocidade.

Classe	Código	Hora	Data	Estado	Anomalia
BM	01062	10:35:27	15/07/2014	A	Falha na bomba do regulador de velocidade.
BM	01050	10:35:27	15/07/2014	A	Máxima temperatura de óleo do regulador de velocidade.
BM	01047	10:35:27	15/07/2014	A	Mínima pressão de óleo da bomba do regulador de velocidade.

Quadro 4. 3 - Cenário operacional 3

O valor indicativo do terceiro caso foi 4.5 (quatro e meio), aproximadamente, 1.71% do limite.

O quarto caso e o quinto são bastante semelhantes entre si, porém, algumas diferenças devem ser levantadas. Primeiramente, pelos quadros abaixo, pode-se notar que as anomalias do Quadro 4.4 estão todas contidas no Quadro 4.5 que, além dessas, possui mais duas ocorrências. A outra diferença é na detecção da primeira anomalia a operar: para o caso quatro esta é representada pelo bloqueio provindo do SGU; já para o caso cinco, pela mínima/máxima frequência (CLP).

Classe	Código	Hora	Data	Estado	Anomalia
TSB	21035	21:34:05	27/11/2014	A	Mínima tensão 220Vca.
BE	11031	21:34:05	27/11/2014	A	Bloqueio provindo do SGU.
BE	11057	21:34:07	27/11/2014	A	Sobrevelocidade elétrica.
BM	01047	21:34:09	27/11/2014	A	Mínima pressão de óleo da bomba do regulador de velocidade.
BE	11087	21:34:19	27/11/2014	A	Bloqueio elétrico provindo de bloqueio mecânico.

Quadro 4. 4 - Cenário operacional 4

O quarto caso possui um indicativo de 10.5 (dez e meio), aproximadamente, 3.99% do limite.

Classe	Código	Hora	Data	Estado	Anomalia
TSB	21035	15:07:01	23/10/2014	A	Mínima tensão 220Vca.
AL	31064	15:07:01	23/10/2014	A	Terra rotor (64R).
BE	11031	15:07:01	23/10/2014	A	Bloqueio provindo do SGU.
BE	11049	15:07:01	23/10/2014	A	Mínima/Máxima frequência (CLP).
BE	11057	15:07:03	23/10/2014	A	Sobrevelocidade elétrica.
BM	01047	15:07:05	23/10/2014	A	Mínima pressão de óleo da bomba do regulador de velocidade.
BE	11087	15:07:09	23/10/2014	A	Bloqueio elétrico provindo de bloqueio mecânico.

Quadro 4. 5 - Cenário operacional 5

Já o quinto caso, o indicativo é 14.5 (quatorze e meio) e assume o maior valor dentre as situações observadas. Este representa, aproximadamente, 5.51% do limite.

4.3.2 Análise de resultados

De acordo com as amostras apresentadas em formato de quadro (Quadro 4.1 a Quadro 4.5), apesar de poucos exemplos, foi possível levantar alguns números que podem ajudar a identificar os níveis potenciais de gravidade as anomalias correntes podem trazer à planta. Para a faixa de 0.00% a 0.99%, apesar da possibilidade de ocorrer alguma anomalia considerada crítica, esta ocorreria de forma isolada, reservando certo tempo para o operador normalizar a situação. A faixa em torno de 1.50% representa uma faixa intermediária e demandaria algum esforço para o operador normalizar a planta. Já valores superiores a 3.99% representam um elevado nível de ocorrências anormais e demandaria um esforço enorme por parte do operados para verificar e normalizar a atividade na planta.

CAPÍTULO 5 – CONCLUSÃO E SUGESTÕES

5.1 CONCLUSÃO

Os objetivos deste trabalho foram alcançados: as anomalias presentes em projetos da EGP foram reunidas, seus textos descritivos foram padronizados, e as mesmas foram disponibilizadas no formulário de anomalias, para utilização em futuros projetos (já utilizado em ISAI), segundo descrição na seção 3.2.3; o sistema supervisorio, envolvendo lógica e anomalias, do SGU de ISAI foi construído segundo a NORMA ISA 18.1, considerando adaptações para uma planta digitalizada; o algoritmo de detecção de riscos foi implementado em ISAI e gerou uma série de resultados, alguns expostos na seção 4.3.1.

Grande parte do esforço dedicado a este trabalho se deu para compreender o funcionamento de equipamentos dentro do contexto da usina, para assim poder formular uma melhor descrição às anomalias envolvendo cada dispositivo; assim como para compreender a estrutura de automação e as diferentes classes de anomalias e suas particularidades.

As modificações realizadas ao longo deste trabalho, apesar de sutis, interferiram ativamente e positivamente no cotidiano dos operadores da EGP.

As manipulações e ferramenta para gerenciamento de anomalias trouxeram agilidade e robustez a tal tarefa, e já foram utilizadas em outros projetos que sucederam ISAI.

A norma ISA 18.1 assumiu grande importância no fato de orientar as modificações necessárias no projeto de automação de Isamu Ikeda I. Em relação à documentação, futuramente, quando houver necessidade de acessar os documentos acerca do projeto de automação da usina Isamu Ikeda I, o profissional com tal tarefa encontrará certa facilidade, pois, apesar do número de documentos envolvidos, estão todos num mesmo diretório na rede da EGP. Em relação às modificações feitas em supervisorio e lógica, ainda há muito que ser estudado e realizado em termos de ferramentas que facilitem a operação de plantas hidrelétricas, porém, as que foram realizadas já contribuíram positivamente em termos de segurança e agilidade, principalmente ao tornar disponível a anomalia potencialmente responsável por uma cadeia de anomalias.

5.2 SUGESTÕES

O estudo de indicadores de risco talvez seja a tarefa com maior potencial em trazer eficiência à operação de fato. Por assumir papel tão importante, merece ser aprofundado de forma a evoluir trazendo segurança e robustez. A fração deste estudo proposta pelo presente

trabalho foi concluída com êxito, porém, para aquisição de mais dados é necessário mais tempo, uma vez que situações anômalas não ocorrem com muita frequência na planta em questão.

Também existe o fato de anomalias como TSB e AL, por não causarem bloqueio, ao serem detectadas como primeira anomalia, interferirem de forma negativa em uma possível cascata de anomalias, pois podem não ser as originadoras da cascata. Este fato não foi observado, mas deve ser aprofundado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDALA, F. K. Risco e Gestão de Riscos na Engenharia de Produção: uma Proposta para o Curso de Engenharia Mecânica da EESC-USP. São Carlos, 2012. Monografia. Graduação em Engenharia de Produção Mecânica. Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2012.

Aneel [Internet] [Acessado em: 2015 Jan 5]. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br>

AS/NZS 4360:2004 - Tutorial Notes: The Australian and New Zealand Standard on Risk Management. Pymble, Broadleaf Capital International, 2004.

Documentos internos de Isamu Ikeda I (especificações técnicas e projeto de automação)

Eletrobrás [Internet] [Acessado em: 2014 Jun 5]. Disponível em: <http://www.eletrobras.com>

Enel Green Power [Internet] [Acessado em: 2015 Jun 5]. Disponível em:
<https://www.enelgreenpower.com>

Goeking W. Da máquina a vapor aos softwares de automação. O setor elétrico. Edição 52, 2010 Mai. [Internet] [Acessado em: 2014 Jun 11] Disponível em:
<http://www.osetoreletrico.com.br/web/component/content/article/57-artigos-e-materias/343-xxxx.html>

Norma ISA-18.1 [Elaborada em: 1979] [Edição: 1992]

Normas Regulamentadoras [Internet] [Acessado em: 2014 Jun 9] Disponível em:
<http://portal.mte.gov.br/legislacao/normas-regulamentadoras-1.htm>

ONS [Internet] [Acessado em: 2015 Jan 5]. Disponível em: <http://www.ons.org.br>

Portal PCH [Internet] [Acessado em: 2014 Jun 5]. Disponível em: <http://portalpch.com.br>

Silva, Wladimir L. Diretrizes para Projeto e Instalação de Redes PROFIBUS DP. [Internet] [Acessado em: 2014 Jun 17] Disponível em:

<http://www.profibus.org.br/news/julho2009/news.php?dentro=3>

SIMATIC STEP 7 V5.4, Guidelines for Implementing Automation Projects in a GMP Environment [Edição: 2007 Abr]. Disponível em:

http://www.industry.siemens.com/verticals/global/en/pharma-industries/gmp-validation/gep/documents/gmp_simatic_step7_en.pdf

SIMATIC WinCC flexible 2007, Guidelines for Implementing Automation Projects in a GMP Environment [Edição: 2014 Abr]. Disponível em:

https://www.industry.siemens.com/verticals/global/en/pharma-industries/gmp-validation/gep/Documents/GMP_SIMATIC_WinCC_flex2007_EN.pdf

Venturelli M. Gerenciamento de Alarmes: Aumento da Segurança nas Operações de Plantas Produtivas Automatizadas. Automação Industrial. 2014. [Internet] [Acessado em: 2014 Jun 11] Disponível em: <http://www.automacaoindustrial.info/gerenciamento-de-alarmes-aumento-da-seguranca-nas-operacoes-de-plantas-produtivas-automatizadas/>