

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
DEPARTAMENTO DE AUTOMAÇÃO E SISTEMAS
CURSO ENGENHARIA DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO

Lucas Battistella

**Projeto de Controle de Nível de Lagoa de Estação de Tratamento de Efluente de
Indústria de Carne de Aves**

Florianópolis

2023

Lucas Battistella

**Projeto de Controle de Nível de Lagoa de Estação de Tratamento de Efluente de
Indústria de Carne de Aves**

Relatório submetido à Universidade
Federal de Santa Catarina como requisito
para a aprovação na disciplina **DAS 5511:**
Projeto de Fim de Curso do curso de
Graduação em Engenharia de Controle e
Automação.
Orientador: Prof. Max Hering de Queiroz

Florianópolis

2023

Ficha de identificação da obra

A ficha de identificação é elaborada pelo próprio autor.

Orientações em:

<http://portalbu.ufsc.br/ficha>

Lucas Battistella

**Projeto de Controle de Nível de lagoa de Estação de Tratamento de Efluente de
Indústria de Carne de Aves**

Esta monografia foi julgada no contexto da disciplina DAS5511: Projeto de Fim de
Curso e aprovada na sua forma final pelo Curso de Engenharia de Controle e
Automação.

Florianópolis, _____ de _____ de _____

Prof. Hector Bessa Silveira, Dr.
Coordenador do Curso

Banca Examinadora:

Prof. Max Hering de Queiroz, Dr.
Orientador

Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Diogo Ortiz Machado, Dr.
Avaliador
IFRS

Ricardo Badaró, Eng.
Supervisor na Empresa

Dedico este trabalho a todo o curso de Engenharia de Controle e Automação da Universidade Federal de Santa Catarina, corpo docente e discente, a quem fico lisonjeado por dele ter feito parte.

Dedico este trabalho a todos os que me ajudaram ao longo deste período.

AGRADECIMENTOS

Aos familiares, por todo o apoio e pela ajuda, que muito contribuíram para a realização deste trabalho.

Aos amigos, que sempre estiveram ao meu lado, pela amizade incondicional e pelo apoio demonstrado ao longo de todo o período de tempo em que me dediquei a este trabalho.

Aos professores, por todos os conselhos, pela ajuda e pela paciência com a qual guiaram o meu aprendizado.

A todos da equipe de Automação da UIA Matelândia, pela oportunidade de desenvolvimento do projeto que gerou este trabalho.

It's bad if we are controlled, but if we're not, it can be even worse. (ŽIŽEK, 2013)

DECLARAÇÃO DE NÃO CONFIDENCIALIDADE

Na condição de representante da Cooperativa Agroindustrial Lar - UIA Matelândia na qual o presente trabalho foi realizado, declaro não haver ressalvas quanto ao aspecto de sigilo ou propriedade intelectual sobre as informações contidas neste documento, que impeçam a sua publicação por parte da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) para acesso pelo público em geral, incluindo a disponibilização *online* deste documento no Repositório Institucional da Biblioteca Universitária da UFSC. Além disso, declaro ciência de que Lucas Battistella, na condição de estudante da UFSC, é obrigado a depositar este documento, por se tratar de um Trabalho de Conclusão de Curso, no referido Repositório Institucional, em atendimento à Resolução Normativa nº 126/2019/Cun.

Por estar de acordo com esses termos, subscrevo-me abaixo.

Ricardo Badaró

Cooperativa Agroindustrial Lar - UIA Matelândia

RESUMO

A indústria de alimentos usa grande quantidade de água e é essencial que ela seja tratada antes de ser devolvida ao seu curso natural. Este trabalho trata da adequação de documentação e especificação de um projeto de um subsistema de controle de nível de um tanque da ETE da unidade de Aves, em Matelândia, da Cooperativa Agroindustrial Lar. Fazendo uma análise de viabilidade econômica de *payback* simples e considerações sobre o impacto social do projeto justificamos sua implementação. Com um estudo de instrumentação verificamos a compatibilidade entre os componentes escolhidos. Com a análise de segurança qualitativa FMEA identificamos cenários de falha do subsistema e através de Análise de falha em árvore (FTA) identificamos pontos críticos para o desenvolvimento de uma lógica segura, que por fim é especificada com base em um Grafcet gerado de modo a atender os requisitos propostos. E, por fim, com as conclusões feitas, sugerir melhorias ao projeto.

Palavras-chave: Indústria de Alimentos. Controle de nível. ETE. Viabilidade econômica. Segurança. FMEA. FTA. Grafcet.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Esquemático simplificado de funcionamento de ETE.....	24
Figura 2: Vista aérea da fábrica com elementos da ETE destacados em amarelo..	25
Figura 3: Diagrama de P&ID do subsistema da ETE.....	27
Figura 4: CLP e Sensor (dentro da proteção).....	37
Figura 5: P&ID que inclui malha de controle de nível.....	41
Figura 6: Grafcet do comportamento desejado.....	53

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Grau de Severidade atribuído à efeitos de falhas.....	45
---	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ETE Estação de Tratamento de Efluente
CTC Centro Tecnológico
IFRS Instituto Federal do Rio Grande do Sul
CONAMA Conselho Nacional do Meio Ambiente
UIA Unidade Industrial de Aves
DBO Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO Demanda Química de Oxigênio
P&ID *Piping and Instrumentation Diagram*
FMEA *Failure Modes and Effects Analysis*
FTA *Fault Tree Analysis*
IEC *International Electrotechnical Commission*
ISA Instrument Society of America
VDC *Volts Direct Current*
I/O *Input/Output*
IDE *Integrated Development Environment*
 m^3 Metros Cúbicos

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	18
1.1. MOTIVAÇÃO.....	18
1.2. OBJETIVOS.....	19
1.3. CONTEXTUALIZAÇÃO COM O CURSO.....	20
1.4. ORGANIZAÇÃO DO DOCUMENTO.....	21
2. CONTEXTO DO PROJETO.....	22
2.1. CONCEITOS RELACIONADOS À ETE.....	22
2.2. CARACTERÍSTICAS DA ETE DA UIA - MATELÂNDIA.....	23
2.3. CARACTERÍSTICAS ORGANIZACIONAIS DA UIA.....	25
2.4. PROCESSO E EQUIPAMENTOS ANTES DO PROJETO.....	26
2.5. REQUISITOS E COMPORTAMENTO DESEJADO.....	28
3. ANÁLISE ECONÔMICA FINANCEIRA E OUTROS GANHOS.....	29
3.1. METODOLOGIA.....	29
3.2. DESENVOLVIMENTO.....	30
3.2.1. Cenário 1 - Conservação do modo de operação.....	30
3.2.2. Cenário 2 - Automação do controle do nível da lagoa de lodo.....	31
3.3. RESULTADOS.....	32
3.4. CONCLUSÃO.....	33
4. ESTUDO DE INSTRUMENTAÇÃO.....	35
4.1. METODOLOGIA.....	35
4.2. DESENVOLVIMENTO.....	35
4.2.1. CLP.....	36
4.2.2. Sensor.....	38
4.2.3. Sirene de Alarme e Indicadores Luminosos em Torre.....	40
4.2.4. Bombas.....	40
5. ANÁLISE DE SEGURANÇA E RISCO.....	43
5.1. METODOLOGIA.....	43
5.1.1. Análise de Modos de Falha e Efeitos (FMEA).....	44
5.1.2. Análise de Árvore de Falhas (FTA).....	45
5.2. DESENVOLVIMENTO.....	46
5.2.1. Aplicação de FMEA.....	46
5.2.2. Aplicação de FTA.....	48
5.3. RESULTADOS.....	49
5.4. CONCLUSÃO.....	51
6. ESPECIFICAÇÃO DA LÓGICA DO CONTROLE.....	52
6.1. METODOLOGIA.....	52
6.2. DESENVOLVIMENTO.....	52
6.3. RESULTADOS.....	55
6.4. CONCLUSÃO.....	55
7. CONCLUSÃO.....	56
REFERÊNCIAS.....	58

1. INTRODUÇÃO

1.1.MOTIVAÇÃO

A oferta abundante de matéria prima e mão de obra barata já foram os principais motivos para a competitividade da indústria de alimentos no Brasil. Os processos de melhoria contínua transformam essa realidade, através da mecanização da força de trabalho e da automação dos mais diversos processos. Assim, essa indústria concretiza uma posição de destaque no cenário global. Porém, a automação destes processos, para que tenha um impacto positivo, deve sempre observar questões de segurança para o ambiente laboral, questões de segurança ambiental e questões econômicas e sociais de sua implementação.

A evolução deste processo histórico, não acontece de forma perfeita, existem inúmeros casos de acidentes envolvendo máquinas e sistemas automatizados. Já na década de 60 começaram a surgir ferramentas e técnicas de estudo relacionadas aos riscos das atividades desempenhadas, de suas possíveis falhas e ações não desejadas que podem causar situações perigosas.

De modo geral é fácil identificar as falhas de segurança depois que algum acidente grave acontece e é moderadamente difícil identificá-las antes. A fundamental necessidade de preservar as vidas dos operadores, a integridade dos equipamentos, a conservação do meio ambiente e a boa imagem da empresa trazem incentivos muito fortes para que boas técnicas de análise de segurança sejam utilizadas. Usadas em projetos de engenharia, estas técnicas visam diminuir as chances de ocorrências indesejadas e, na impossibilidade de se evitá-las, visam mitigar suas consequências negativas.

Mesmo que os avanços dos processos de melhorias contínuas através da automação de tarefas tragam benefícios à saúde e segurança dos operadores, a história demonstra que nem sempre essas mudanças são bem recebidas pelos trabalhadores. A exemplo dos Ludistas do começo do século XIX, que em revolta contra a automação do tear, entendendo que as máquinas estavam tomando seus lugares e privando-os de emprego, destruíram maquinário industrial.

Apesar dos avanços da tecnologia e seus benefícios serem muito mais presentes na vida contemporânea, esse fator não deve ser subestimado quando se trata do ambiente laboral, em especial em indústrias de alimentos onde o maquinário divide escasso espaço com o trabalhador.

Não existem métodos definitivos para evitar o descontentamento dos operadores com mudanças dessa ordem. Mas com o devido cuidado é possível chegar a conclusões satisfatórias quando estes se sentem ouvidos. Seja na concepção dos sistemas automáticos, sugerindo mudanças, ou após a implementação, indicando padrões de uso emergentes não previstos e seus problemas com a experiência, a participação dos operadores no processo é importante.

Uma das menos prestigiadas, e portanto pouco valorizada, atividades laborais são as relacionadas ao tratamento de efluentes. Estas atividades estão associadas a fortes odores e portanto carregam estigma. Esta falta de prestígio e estigma associado a esta atividade laboral propicia ambiente fértil para desatenção.

A automação de processos como estes pode gerar significativa melhora do ambiente laboral, permitindo um ganho em qualidade, não apenas do ponto de vista de operação, mas também de segurança e valorização do trabalho.

A preocupação rigorosa com segurança e cuidadosa com questões sociais é o que propicia o crescimento constante de qualquer empresa, não apenas preservando a imagem e confiabilidade da marca, mas também promovendo-a.

1.2. OBJETIVOS

O trabalho desenvolvido relacionado a esse relatório tem por objetivo final o projeto de automação do controle de nível em uma lagoa da ETE da unidade de Aves da Cooperativa Agroindustrial Lar em Matelândia.

Para que este projeto seja incluído no cronograma de melhorias do programa de ideias da empresa, ou seja, incluído no processo de melhoria contínua, faz-se necessária a formalização de uma análise de viabilidade econômica que inclua considerações sociais a respeito da automação.

Para que a documentação do projeto seja completa e possa ser usada para a criação de um manual de manutenção e operação, faz-se necessário um estudo das

características dos equipamentos e considerações sobre suas compatibilidades. Este manual deve orientar trabalhos futuros relacionados a este sistema, seja na manutenção e operação ou em melhorias futuras.

Para que as soluções propostas tornem o processo mais seguro, visa-se fazer uma análise de segurança e risco, gerando soluções e propostas de melhorias.

Para garantir que o programa do controlador respeite os requisitos e siga o comportamento desejado, visa-se fazer um diagrama Grafcet para guiar sua programação.

1.3.CONTEXTUALIZAÇÃO COM O CURSO

O trabalho desenvolvido faz uso de diversas técnicas e conhecimentos apanhados ao longo do Curso de Engenharia de Controle e Automação da Universidade Federal de Santa Catarina, estando mais fortemente relacionado a disciplina de Informática Industrial (DAS5305), pelo objetivo principal ser, depois de todas as considerações, uma lógica de controle discreto contemplativa de todas as outras análises. Destaca-se também o uso de conhecimentos relacionados:

Da disciplina de Máquinas e Acionamentos Elétricos para a Automação (EEL5192), pela compreensão de circuito de acionamento e dinâmica de partida de motores elétricos industriais de grande inércia.

Da disciplina de Aspectos Econômicos e Sociais da Automação (CNM5111), pelo guia de zelo ao tratar da dinâmica da substituição da força de trabalho humana por um sistema automático.

Da disciplina de Avaliação de Desempenho de Sistemas de Automação Discretas (DAS5310) e Modelagem e Simulação de Processos (DAS5109), pela base para análise de simulação da lógica gerada pelo comportamento desejado do sistema automatizado e base para diagramas P&ID.

Da disciplina de Programação Econômica e Financeira (EPS5211), pelas ferramentas de análise de investimento

Da disciplina de Aspectos de Segurança em Sistemas de Controle e Automação (DAS5401), pela base para análises e avaliações de riscos.

Da disciplina de Instrumentação em Controle (DAS5151), pela base para análise

das características dos equipamentos usados pelo projeto, suas configurações e compatibilidades.

E por mérito da convivência próxima com outras disciplinas de Engenharia, propiciado pelo ambiente universitário do CTC, a disciplina de Tratamento de Águas Residuárias, da grade de Engenharia Sanitária e Ambiental (ENS7024), pela compreensão das etapas de tratamento de efluentes, o ciclo de nutrientes na água e autodepuração.

1.4. ORGANIZAÇÃO DO DOCUMENTO

Este relatório está dividido em 7 capítulos. No capítulo um é feita uma introdução ao projeto, apresentando a motivação para seu desenvolvimento, seus objetivos e destacando a relação deste com as disciplinas da grade curricular do curso.

No segundo capítulo apresenta-se o contexto ao qual o projeto está inserido, detalhados características importantes ao qual o sistema está relacionado e descreve-se alguns conceitos pertinentes ao seu entendimento.

Do terceiro ao sexto capítulo são abordadas as metodologias, o desenvolvimento e os resultados relacionados a cada um dos objetivos específicos. O terceiro capítulo trata sobre os objetivos relacionados à aspectos de viabilidade econômica e impacto no ambiente laboral. O quarto capítulo trata sobre os objetivos relacionados aos requisitos do projeto e as características dos equipamentos. O quinto capítulo trata sobre as análises de segurança e risco. O sexto capítulo trata sobre a construção da lógica do programa de controle.

Por fim, no sétimo capítulo, as conclusões tiradas dos resultados obtidos, recomendações de alteração ao projeto e considerações finais.

2. CONTEXTO DO PROJETO

As atividades industriais são uma das atividades humanas que mais faz uso de recursos hídricos. Em países em desenvolvimento como o Brasil, esta atividade perde apenas, em consumo, para o uso agrícola. Assim é fácil entender porquê uma empresa que está fortemente relacionada com as duas atividades dê grande importância a esse recurso.

Visando atender as exigências da resolução nº 430/2011, do CONAMA, todo recurso hídrico utilizado pelos processos fabris deve passar por tratamento, normalizando características físico-químicas e biológicas, para então ser devolvida à bacia da qual foi extraída, evitando assim que outras atividades humanas que ocorram a jusante sejam prejudicadas.

Para a melhor compreensão do problema discorreremos sobre o princípio de funcionamento de uma ETE, as características específicas do efluente ao qual o projeto está relacionado, da organização da empresa e a situação do sistema antes da execução do projeto.

2.1. CONCEITOS RELACIONADOS À ETE

A melhor forma de tratamento de efluente em regiões tipicamente quentes e com boa incidência solar se dá através da facilitação do processo de autodepuração e o uso de formas de controle sobre esse processo ajuda na sua eficiência.

“O fenômeno da autodepuração está vinculado ao restabelecimento do equilíbrio no meio aquático, por mecanismos essencialmente naturais, após as alterações induzidas pelos despejos afluentes.” (SPERLING, 1996, p. 93)

Nesse caso, a autodepuração busca mimetizar, no próprio efluente, o processo que ocorreria ao longo da bacia hidrográfica caso ele fosse despejado sem tratamento, de modo que quando a água é, de fato, devolvida à bacia, ela já se encontra com características similares ao corpo hídrico que passa a compor, causando assim pouco ou nenhum impacto.

Para esse fim, a forma mais simples de tratamento possível consiste na formação de uma lagoa, isolada da bacia hidrográfica, com o efluente, no qual, exposto ao ambiente e interagindo com vento e sol, a microbiota age no sentido de estabilizar as características da água. É importante porém, nesse exemplo simples, distinguir duas principais atividades microbiológicas, a digestão aeróbia, onde a matéria orgânica presente no efluente é decomposta na presença de oxigênio, o que induz a emissão de carbono pela lagoa, e a digestão anaeróbia, que ocorre predominantemente na seção inferior da coluna de líquido, na escassez de oxigênio dissolvido, onde a matéria orgânica é estabilizada como sólido e sedimenta no fundo da lagoa. Este tipo de lagoa é chamada lagoa facultativa.

O grande volume de água e grande quantidade de poluentes na demanda de tratamento levaram à criação e adaptação de técnicas para aumentar a eficiência dessas lagoas.

São exemplos de algumas das mais conhecidas técnicas de tratamento: O uso de lagoas facultativas em série, para estratificar e melhor monitorar os processos bioquímicos. O uso de aeradores para aumentar a interface de troca gasosa com o ambiente, aumentando a quantidade de oxigênio dissolvido na coluna de líquido. O uso de biorreatores para reforçar a inoculação do efluente e a separação de lodo.

Cada uma dessas técnicas aplicada ao efluente vai reduzir uma parcela dos poluentes encontrados neste. A aplicação sequencial destas sobre o mesmo efluente aumenta a eficiência do tratamento de forma multiplicativa. Considerando, por exemplo, um efluente carregado com 100 unidades de poluente teórico e uma técnica que reduz a carga de poluentes em 50%, a aplicação sequencial desta técnica, colocando uma jusante à outra, levaria a redução da carga de poluentes de 100 para 50 unidades na primeira jusante e para 25 unidades na segunda.

Sendo assim, as características do efluente informam o processo de escolha da melhor técnica, ou melhor conjunto de técnicas, a serem usadas.

2.2. CARACTERÍSTICAS DA ETE DA UIA - MATELÂNDIA

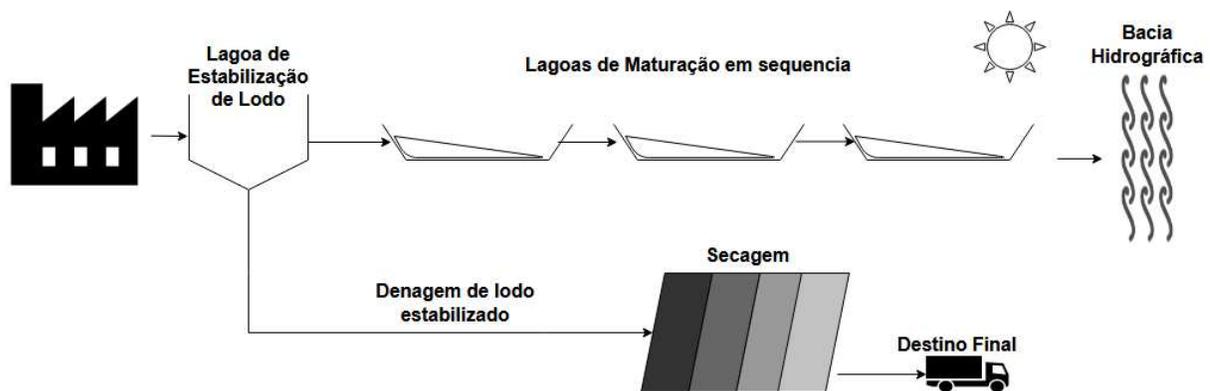
O projeto aqui tratado é um subsistema da ETE de uma indústria de alimentos onde é processado, principalmente, carne de aves. Com uma meta de uso de água de

22 litros por ave e uma média de 600.000 aves por dia, o consumo diário de água na unidade é próximo de $13,2 m^3$ para o uso no processo.

Deve existir um grande e cuidadoso esforço de tratamento para reduzir as características poluentes deste efluente para valores toleráveis pelo órgão de fiscalização responsável. Por se tratar, principalmente, de um processo biológico é importante para a manutenção de sua eficiência, que ocorram poucas perturbações, ou seja, que o sistema funcione de forma contínua e sem grandes variações. Uma falha que prejudique o processo biológico, mesmo que temporariamente, pode levar a um lançamento de efluente fora dos padrões desejados.

Para tal, nessa unidade fabril, faz uso de uma lagoa de estabilização de lodo com bombas para adição ao reservatório, bomba de dragagem para remoção do lodo estabilizado do reservatório e bomba para remoção de fluido do reservatório para os próximos passos do tratamento.

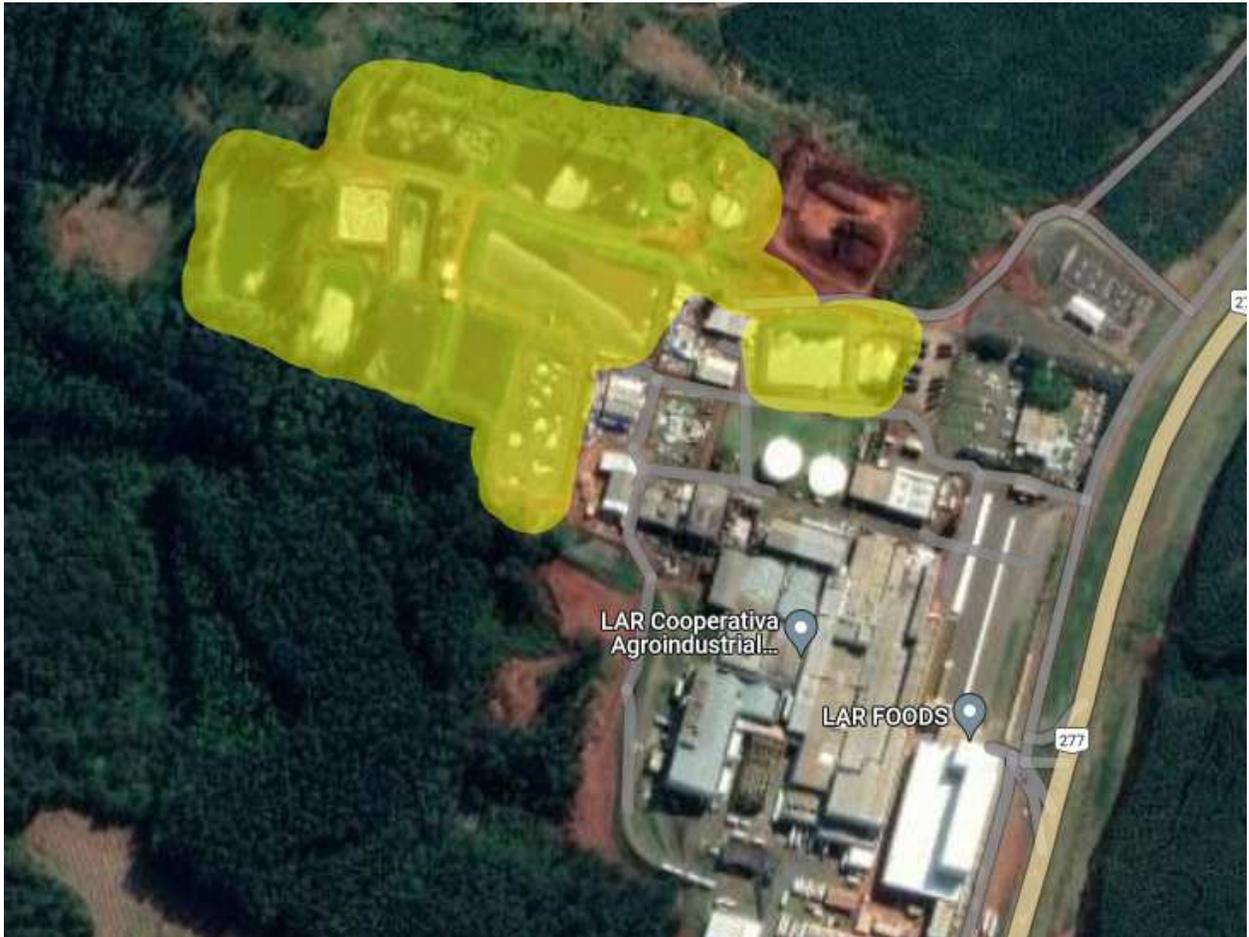
Figura 1: Esquemático simplificado de funcionamento de ETE.



Fonte: Adaptado de SPERLING, 1996

Observa-se na Figura 1, o esquemático simplificado de uma ETE destacando a lagoa de estabilização de lodo, lagoas de maturação à jusante e com o processo secundário de secagem do lodo antes do seu transporte para seu destino final. Destaca-se a representação do sol como indicativo que esses processos ocorrem em ambiente a céu aberto e são, portanto, naturalmente suscetíveis a variações sazonais.

Figura 2: Vista aérea da fábrica com elementos da ETE destacados em amarelo.



Fonte: Google Maps (2023)

Observa-se na Figura 2, a disposição geográfica dos elementos da ETE em relação ao resto da fábrica e a relação de tamanho horizontal quase igual entre ambas. Observa-se também afastamento dos elementos da ETE das vias públicas de grande fluxo, indicados na imagem com a etiqueta da BR-277 e a cobertura vegetal nas áreas próximas como estratégia para dispersão de odor. Presente na imagem, mas de difícil visualização, indica-se o quase que uniforme declive do canto inferior direito para o superior esquerdo.

2.3.CARACTERÍSTICAS ORGANIZACIONAIS DA UIA

Operando em 3 turnos de 8 horas, o abate de aves é interrompido apenas por emergências ou, por volta da meia noite, para início da sanitização das máquinas e

equipamentos. A fábrica tem as atividades de abate reiniciadas por volta das 6 horas da manhã e o funcionamento pleno retomado por volta das 8 horas da manhã, quase todos os dias. As exceções são dias determinados do calendário de operações conhecidos como "paradas de fábrica". Nestes dias, além da sanitização mais detalhada, as equipes de manutenção e outros colaboradores têm a oportunidade de modificar o processo, uma vez que, nesses dias não há abate.

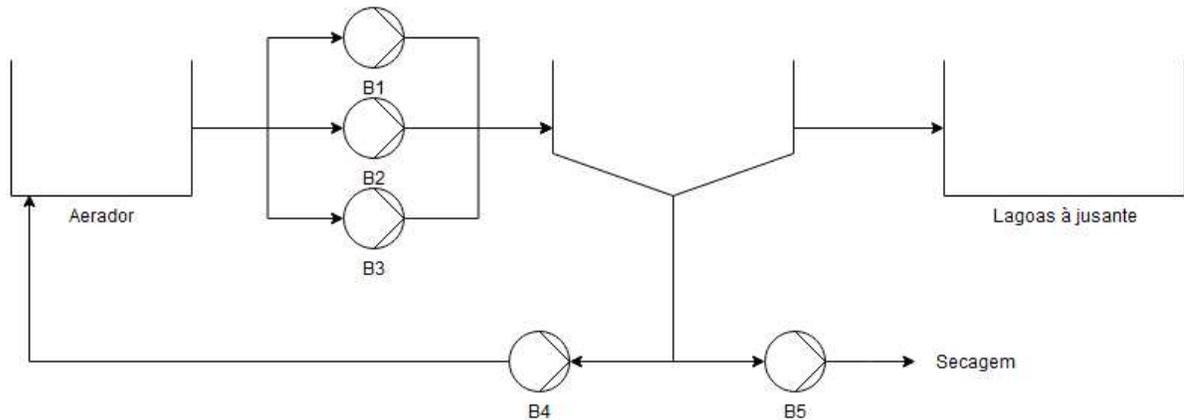
Os mais de 2000 colaboradores da UIA se organizam fundamentalmente em 4 setores. São eles: Administrativo, Produção, Operacional e Manutenção. As responsabilidades relacionadas a projetos de melhorias são atribuições do setor de Manutenção. Este por sua vez conta com diversas equipes especializadas para gestão de suas atividades. No âmbito deste relatório são mencionadas as equipes de operadores do sistema da ETE, que compõem o setor de Operacional e, inseridos no setor de Manutenção, as equipes de Automação, Melhorias, Montagem e Obras.

2.4.PROCESSO E EQUIPAMENTOS ANTES DO PROJETO

O P&ID (*Pipe and Instrumentation Diagram*), ou Diagrama de Tubos e Instrumentação, é um fluxograma amplamente utilizado em projetos para documentar informações a respeito do processo, tubulação e instrumentação. Definido pelas normas ISA 5.1 (*Instrumentation Symbols and Identification*, 1984) e ISA 5.3 (*Graphic Symbols for Distributed Control/Shared Display Instrumentation, Logic and Computer Systems*, 1983) descrevem um padrão de simbologia para a representação de instrumentos em diagramas deste tipo.

O diagrama de P&ID é apresentado na Figura 3 (a seguir) onde pode ser observado o paralelismo entre as bombas numeradas 1, 2 e 3 que formam o grupo de adição e as ações distintas das bombas numeradas 4 e 5 que formam o grupo de remoção.

Figura 3: Diagrama de P&ID do subsistema da ETE.



Fonte: Autoria própria.

O subsistema do tanque de lodo ativado é controlado por um painel eletromecânico. A botoeira deste painel permite o controle manual da partida e parada das bombas de modo individual. O painel conta ainda com uma chave seletora para impossibilitar o funcionamento simultâneo das bombas do grupo de remoção.

A instrução dada aos operadores é de realizar a partida sequencial das bombas de adição, esperando a confirmação do sucesso do fim da partida da bomba correspondente através de uma indicação luminosa, evitando assim a sobrecarga da rede de alimentação pela partida simultânea dos motores das bombas.

Além de depender diretamente da ação humana para funcionar, e correta ação para funcionar de maneira segura, o sistema não conta com sensoriamento ou sinalizador de alarme. Sendo assim, considerando a lenta dinâmica de funcionamento e o pouco agradável ambiente onde se encontra a lagoa controlada, o sistema apresentava frequente vulnerabilidade a falha por falta de intervenção humana. Em relatos feitos pelos operadores, foi mencionado que o sistema passava horas sem demandar ação, mas aparentemente, sempre que a equipe de operadores alocada se encontrava ocupada ao máximo, o sistema demandava ação de controle.

2.5.REQUISITOS E COMPORTAMENTO DESEJADO

Os requisitos do sistema automático foram levantados pela equipe de Obras da fábrica:

- Monitorar o nível de líquido na lagoa,
- Coordenar o funcionamento das bombas, tanto do grupo de bombas de adição quanto do grupo de bombas de remoção de fluidos da lagoa,
- Garantir que não ocorra partida simultânea de bombas,
- Garantir que bombas do grupo de remoção não operem em simultaneidade,
- Garantir que bombas do grupo de remoção não operem com nível muito baixo de fluido na lagoa,
- Garantir que bombas do grupo de adição não operem com nível muito alto de fluido na lagoa,
- Aproveitar a estrutura operacional do sistema já implementado (Painel e cabeamento),
- Permitir alternância entre controle manual e automático das bombas individualmente,
- Acionar alarme para indicar orientação de ação humana apenas enquanto em falha,

E por fim, tratado de forma especial, o requisito de:

- Manter o sistema operando em seu último estado quando o sistema perder a orientação para o controle (quando perder o sinal do sensor).

A implementação do último requisito pode ser justificada pela característica dinâmica do sistema, considerada muito lenta, com ciclo de esvaziamento na ordem de várias horas, o que permite aos operadores amplo tempo de resposta para lidar com o alarme que indica a falha do sensor, buscando reparo ou ação corretiva manual. Apesar disso, considerações de segurança são feitas a respeito, no capítulo 5.

Apresentado o contexto do projeto, a importância do bom funcionamento deste subsistema para o eficaz tratamento do efluente e os seus requisitos, partimos às análises e estudos realizados a fim de atingir os objetivos específicos.

3. ANÁLISE ECONÔMICA FINANCEIRA E OUTROS GANHOS

Para que o projeto possa participar do programa de melhoria contínua da empresa, é necessário fazer uma análise financeira que contemple no mínimo o cenário atual e o cenário projetado. Com a explanação sobre *payback* simples e sua elaboração, esta documentação pode servir de base para a participação neste programa. A inclusão de considerações sociais como ganhos qualitativos se faz opcional para esse objetivo, mas é considerada relevante para os resultados do projeto como um todo.

A descrição da metodologia utilizada permite ainda a correção, por parte do responsável pela sua inclusão ao programa de melhoria contínua, de qualquer erro ou modificação das propostas de cenários aqui explorados.

3.1.METODOLOGIA

As análises de viabilidade econômica tem por objetivo medir o retorno ao investimento empreendido em grandezas convertidas a valores financeiros. São feitas pela comparação de ao menos dois cenários alternativos. Tipicamente contemplam um cenário atual e um cenário futuro criado a partir de expectativas geradas com base na descrição do projeto. Cada uma das alternativas deve apresentar: investimento, custo de manutenção/operação e retorno final quando aplicável.

O investimento faz menção ao custo inicial de implementação feito no cenário. Podendo, por exemplo, ser o valor da compra de um equipamento, ou ainda, o gasto feito pelo pagamento de uma parcela de entrada de um serviço solicitado.

O custo de manutenção/operação trata dos custos recorrentes criados pelo cenário. E o retorno final trata de valores relacionados à conclusão do investimento, por exemplo, uma aplicação em ações, que ao fim do período estipulado, além dos dividendos gerados, é vendida.

Expandindo os cenários das duas alternativas ao longo do tempo, tipicamente observa-se que uma se apresenta mais rentável a longo prazo, apesar de demandar maior investimento.

Quando um cenário é mais rentável a longo prazo, mas demanda investimento, podemos nos referir ao tempo em que o custo do investimento é pago com a economia gerada pelo novo cenário como tempo de *payback*, ou retorno de investimento. Podemos calcular esse tempo com a equação:

$$\text{Investimento} + \text{Custo Manutenção}_1 \cdot \text{tempo} = \text{Custo Manutenção}_2 \cdot \text{tempo} \quad (1)$$

No contexto desta equação, “tempo” refere-se ao tempo de retorno de investimento, também chamado de *payback*.

Quando se menciona *payback* simples fazemos a distinção de que nem todos os custos de manutenção estão sendo considerados, apenas os mais relevantes para os valores calculados, por exemplo, uma análise de *payback* simples leva em consideração o custo de hora-homem dos operadores diretamente relacionados ao sistema, enquanto uma análise de *payback* completa considera o aumento da complexidade do sistema e conseqüentemente o aumento dos custos de manutenção preventiva, além das mudanças relacionadas a frequência de falhas e custo de manutenção corretiva.

Além do ganho financeiro, é importante também, ao fim dessa análise, fazer observações sobre os ganhos que não podem ser convertidos facilmente em valores econômicos, como por exemplo, saúde dos envolvidos, bem estar e ganhos para o meio ambiente. São feitas ainda considerações sobre a possibilidade de expansão do projeto, para a automação completa da ETE.

3.2.DESENVOLVIMENTO

Nesta análise de viabilidade econômica financeira os dois cenários explorados foram o da não realização do projeto e o da sua realização.

3.2.1. Cenário 1 - Conservação do modo de operação.

O cenário inicial é caracterizado pelo controle manual, realizado por um grupo de operadores responsáveis. Por se tratar da manutenção de um sistema que já está

funcionando, não há previsão de investimento para modificá-lo. A operação desse sistema se dá em conjunto com a operação da fábrica, ou seja, em 3 turnos diários.

Para calcular o custo de mão de obra associado à função é necessário estimar a fração da jornada de trabalho de todos os operadores empenhada em monitorar e controlar o sistema. Ou seja, a somatória de quantas horas por dia cada operador dedica à operação e monitoramento da lagoa em questão, dividido pelo total de horas de todos os operadores deste sistema.

Com a estimativa do valor da fração da jornada de trabalho empenhada, o valor médio do salário pago pela empresa ao operador e o número de turnos de trabalho, podemos calcular um valor mensal de manutenção deste cenário, como apresentado na equação a seguir:

$$\text{Custo de Manutenção} = \text{Turnos} \cdot \frac{\Sigma(\text{horas na função})}{8 (\text{horas de trabalho por turno})} \cdot \text{Salário Médio Pago (2)}$$

Considerando que, nesse cenário, o sistema opera constantemente em modo manual, é importante, para fins de segurança, que a todo momento, ao menos um operador esteja desempenhando o monitoramento. Dessa forma podemos simplificar a fração da jornada de trabalho empenhada nessa função como unitária.

Considerando um salário médio de R\$2.200,00 pagos pela empresa por operador, chegamos a um custo de manutenção de R\$6.600,00 por mês.

3.2.2. Cenário 2 - Automação do controle do nível da lagoa de lodo

O cenário proposto pelo projeto realiza a automação da função de controle, porém a função de monitoramento do sistema ainda é importante para o funcionamento seguro, mesmo que intermitente. Considerando isso, a fração de horas de trabalho por jornada estimada é de metade, ou seja, consideramos que, para o novo cenário, a equipe de operadores passará a monitorar e agir sobre o sistema por apenas 4 horas por turno de trabalho. Assim o novo custo de manutenção, relacionado à hora-homem, é de R\$3.300,00 por mês.

Os custos relacionados a esse novo cenário devem incluir também os custos de investimento para a modificação do sistema, ou seja, o preço dos equipamentos e materiais usados e o custo de mão de obra para fazer a modificação.

Para fazer o projeto de controle do sistema é utilizado um CLP Neon DC HIO115 fabricado pela HI Tecnologia, já disponível à equipe de Automação e portanto sem custo de aquisição. O sensor utilizado no projeto é um sensor a laser O1D100 (O1DLF3KG) fabricado pela IFM Electronic, também disponível à equipe de Automação, inclusive com carapaça metálica de proteção, e portanto sem custo de aquisição.

As análises de segurança descritas nos próximos itens deste capítulo recomendam também a aquisição de uma torre de sinalização com duas lâmpadas sinalizadoras e um alarme que opere com sinais de tensão entre 0 e 24VDC. O custo estimado para a aquisição deste componente é de R\$700,00.

O serviço de adaptação do painel de controle é tipicamente realizado pela equipe de Montagem do setor de Manutenção. Na estimativa do custo deste serviço estão incluídos, além do custo da hora de trabalho, o custo de fios, conectores, chaves seletoras, isolantes, organizadores e chapas metálicas usadas para a montagem do novo painel. Estima-se um custo total de R\$15.000,00.

3.3.RESULTADOS

Sendo assim, o investimento total para a execução do projeto é de R\$15.700,00. Os custos recorrentes no cenário 1 (sem a automação) são estimados em R\$6.600,00 por mês. E os custos recorrentes no cenário 2 (com o projeto) são estimados em R\$3.300,00.

Ao isolar a variável tempo, na equação (1), derivamos a equação:

$$tempo = \frac{Investimento}{Custo\ de\ manutenção_2 - Custo\ de\ manutenção_1} \quad (3)$$

Aplicando os valores estimados à equação (3), chegamos a um tempo de retorno de investimento inferior a 5 meses.

Para a equipe de Melhorias, responsáveis pelo programa de melhorias contínuas da empresa, projetos com *payback* de até dois anos são sempre considerados e projetos com *payback* inferiores a 1 ano recebem prioridade em sua execução, mesmo que venham a sofrer mudanças posteriormente.

Outros ganhos não mensuráveis, mas que devem ser considerados são referentes à qualidade do trabalho dos operadores. Pelo fato de que ETEs industriais costumam ter odores desagradáveis muito fortes relacionados à atividade microbiológica de seus processos, a permanência em ambientes próximos se torna pouco desejada. Com a automatização do sistema e o uso de torre de sinalização, os operadores podem acompanhar os processos relacionados ao sistema a uma distância agradável, se aproximando apenas para realizar ações corretivas.

Por apenas aliviar a carga de trabalho e não substituir completamente o operador humano, podemos inferir que a mudança será bem recebida pelos operadores a longo prazo, ainda que sofra alguma resistência inicial de adaptação. Essa valorização do trabalho não é considerada para os cálculos relacionados ao *payback*.

Um cenário que prevê a automação completa da ETE necessitaria do uso de vários outros componentes, inclusive CLPs de mais alta capacidade de controle. O custo destes equipamentos é proporcional a sua capacidade, assim, o aumento da complexidade tornaria o valor inicial de investimento muito mais alto, além de requerer um tempo de desenvolvimento maior. Um cenário de completa automação também aliena do trabalho os operadores associados ao sistema, passando a empregar apenas uma pequena parcela da mão de obra com o monitoramento do sistema, e por isso, certamente seria recebida com muito mais resistência. Por esses motivos, esse cenário não foi considerado para o projeto.

3.4. CONCLUSÃO

A análise de retorno de investimento é uma das mais simples e mais bem difundidas formas de se avaliar um investimento. A sua aplicação na indústria faz-se fundamental quando consideramos a combinação de diversos projetos distintos formando vários cenários de investimentos. Com os resultados expostos e as considerações feitas, este projeto pode passar a compor o cartel de opções de investimento contemplada pela empresa, mesmo que com correções e modificações. Com a metodologia descrita neste capítulo e tendo como exemplo este próprio desenvolvimento, pode servir de base para análise de outros projetos similares.

4. ESTUDO DE INSTRUMENTAÇÃO

A escolha dos equipamentos deriva tanto da lista de requisitos e comportamento desejado do sistema quanto da análise de viabilidade econômica. Assim, qualquer mudança realizada em uma dessas etapas implica na necessidade de novo estudo de instrumentação.

Para que o projeto possa ser executado é preciso garantir que os equipamentos escolhidos são compatíveis não apenas entre si, mas com as suas aplicações. Descreve-se as características pertinentes e considerações sobre os equipamentos a fim de orientar sua instalação, manutenção, operação e melhorias futuras.

4.1.METODOLOGIA

A validação da conformidade dos equipamentos selecionados com os requisitos mínimos do sistema se dá através da comparação destes com as especificações e características levantadas pelo estudo de seus manuais e fichas de dados (*datasheet*). Isto inclui, mas não se limita a, limites de tolerâncias, faixa de medição, taxa de atualização e comunicação. São considerados ainda, para fins de expansão futura ou manutenção corretiva, características desejáveis.

4.2.DESENVOLVIMENTO

Pelo estudo dos requisitos e comportamento desejado e pela análise do diagrama P&ID (apresentado na Figura 3), podemos listar a necessidade de:

- 2 entradas digitais para botões do painel (emergência e *reset*),
- 5 entradas digitais para chaves seletoras de funcionamento manual/automático (uma para cada bomba)
- 5 entradas digitais para retorno de confirmação de partida (uma para cada bomba)
- 5 saídas digitais para comando de partida (uma para cada bomba)
- 1 saída digital para sinalização sonora de sirene de alarme

- 1 entrada analógica para sensor de nível

Com isso observamos que o número mínimo de portas do controlador é de 12 entradas digitais, uma entrada analógica e 6 saídas digitais.

4.2.1. CLP

O CLP determinado deve ser capaz de atender as necessidades levantadas pela lista de portas e, é desejável que, com folga. Por falta de ambiente de controle mais adequado, deve ser instalado dentro do painel.

Disponível à equipe de Automação, o CLP Neon DC HIO115 (Figura 4) conta dois módulos de I/O iguais, cada um com 8 portas de entrada digital, 4 portas de saída digital e 3 portas de entrada analógica. Algumas dessas portas tem funcionalidades extras, como função de encoder, gerador de frequência e contador de alta frequência, mas podemos ignorá-las durante o desenvolvimento deste projeto pois não são necessárias.

As portas de entrada digital detectam nível baixo de 0 a 5 VDC e nível alto de 10 a 30 VDC. As portas de saída digital operam com os patamar de tensão da alimentação, de 10 a 30 VDC para nível alto e 0 para nível baixo, com corrente máxima de 500mA. As entradas analógicas operam com correntes de 4 a 20 mA, com resolução de 12 *bits*, o equipamento registra a leitura “-1” para corrente inferior a 4 mA. A taxa de atualização depende diretamente do tamanho do programa carregado, mas em testes realizados em bancada não se desvia em grandeza, sempre aproximado de 25 ms entre ciclos.

O equipamento conta com uma porta Serial RS232-C e uma porta Ethernet, além de um espaço para cartão de memória tipo SD. Todos esses acessos podem ser usados para configuração e carregamento da lógica, ainda que a interface Ethernet seja a mais prática. Apesar de o projeto não prever a implementação de um IHM para esse sistema, essas portas podem ser de interesse para um desenvolvimento futuro relacionado. Assim como a possível inclusão do controlador à rede de automação industrial, para permitir a depuração e avaliação de falha de forma remota pela equipe de Automação

A programação e carregamento da lógica são feitos através do ambiente integrado de desenvolvimento SPDSW, próprio do fabricante para diversos de seus modelos. Trata-se de um ambiente para programação em Ladder. Esse ambiente tem grande limitações, em comparação por exemplo com ambientes da Siemens e Rockwell, uma vez que os blocos de lógica disponibilizados são apenas os fundamentais. Esse ambiente de programação não suporta blocos-função que permitiriam o encapsulamento de lógicas, como por exemplo, a do cálculo de média.

Figura 4: CLP e Sensor (dentro da proteção)



Fonte: Autoria própria.

Na Figura 4, chama-se a atenção para as portas de controle e comunicação do CLP e para os adesivos de aviso de feixe de laser no corpo da proteção do sensor.

4.2.2. Sensor

O sensor alocado para esta função deve ser capaz de medir toda a faixa de altura de nível de fluido da lagoa, que pode variar de 0 à 7 metros, onde 0 representa o fundo da lagoa. É desejável que o sensor alocado não entre em contato com o líquido, impedindo assim a formação de biofilmes e então dispensando a necessidade de limpeza frequente. Necessariamente instalado em campo.

Disponível à equipe de Automação, o sensor O1D100 (O1DLF3KG) (na Figura 4, dentro da proteção), de forma compatível com o controlador, opera na faixa de 18 a 30 VDC e gera um sinal de corrente de 4 a 20 mA. Conta com um feixe de laser vermelho que mede com confiabilidade a distância entre o emissor e uma superfície reflexiva na faixa de distância de 0,2 a 10 metros, com frequência de atualização de até 50 Hz. O sensor conta com 4 fios para configuração, dos quais 3 são usados durante a operação. O uso de transdutor a laser faz com que não exista contato direto entre o instrumento de medida e o líquido e portanto não exista acúmulo de sujeira.

É importante mencionar que a formação de sobrenadante espumoso em excesso pode influenciar negativamente a detecção do nível da lagoa, podendo levar a desligamento precoce do grupo das bombas de adição (o que não oferece risco) e o desligamento tardio do grupo de bombas de remoção (o que pode causar dano). A seleção de um nível para desligamento do grupo de remoção superior ao nível crítico, no qual aconteceria o dano, em suficiência para comportar cenários de formação de espuma é importante.

O adequado monitoramento e controle das etapas anteriores do processo de tratamento também se faz importante nesse caso, visto que a formação de espuma em quantidade significativa só acontece devido a falhas em etapas anteriores, seja pelo excesso de aeração ou falta de.

Recomenda-se a montagem em posição vertical sobre o centro da lagoa, porém caso essa montagem seja impraticável, é possível, devido a folga de faixa de medição, fazer a montagem com inclinação orientada ao centro, de modo que o feixe de leitura não ultrapasse 10 m até o fundo da lagoa.

A configuração do sensor pode ser feita com a ajuda de um computador e adaptador seguindo as instruções do fabricante. Por padrão de fábrica, a leitura de

distância baixa gera um sinal de baixa corrente correspondente. Em sua configuração é possível mudar essa relação, fazendo uma leitura de baixa distância gerar um sinal de alta corrente.

A inversão dessa configuração é a que melhor representa o uso do sensor, uma vez que a montagem do sistema coloca o sensor sobre a lagoa, com o feixe apontado para o líquido e assim uma leitura de distância pequena gera um sinal de corrente alta para indicar um nível alto na lagoa. Entretanto recomenda-se a manutenção do padrão de fábrica no sensor, deixando que esta inversão ocorra apenas no programa carregado no CLP. Esta ação, apesar de requisitar mais operações ao ciclo do controlador, é bem vinda, pois o controlador não realiza grande esforço de cálculo. De forma mais importante, surtos elétricos que podem causar o *reset* do equipamento ou mesmo a substituição do sensor por outro similar também com a configuração de fábrica poderiam levar a perda da orientação do controle no sistema.

A taxa de atualização do sensor, por padrão, é de 50 Hz, muito próxima a taxa de atualização do ciclo do CLP, o que é muito superior à frequência necessária para a dinâmica do sistema. Observamos então um fenômeno de ruído branco nas leituras realizadas em teste de bancada advindo de pequenas vibrações do suporte do equipamento, de ondulações na superfície do líquido e mudanças de densidade na coluna de ar entre o sensor e o menisco. Para mitigar o efeito desse ruído foi desenvolvido um filtro pelo uso de média móvel para o valor das leituras, conforme a equação:

$$V_i = \frac{(V_{i-1} \cdot n + E0)}{n+1} \quad (3)$$

Onde V_i é o valor filtrado corrente, usado para o cálculo do valor do nível da lagoa. V_{i-1} é o valor filtrado anterior, salvo em memória e inicializado em zero. O valor n é o elemento que determina a memória do filtro, podendo ser ajustado para regular a atenuação. Em testes de bancada observou-se que valores de n aproximados de 4000 amostras geram um comportamento satisfatório em relação à mitigação de ruído. Considerando um tempo de ciclo do CLP de 25 milissegundos, isso equivale a uma janela de atenuação de 100 segundos. E por fim $E0$ é o valor corrente lido pelo sensor e interpretado pelo CLP na faixa de 0 a 4096 (12 *bits*). Este valor é então subtraído de

4096 e multiplicado por uma constante de conversão para chegar ao valor em centímetros da altura do fluido.

No caso de falha de sensor, de acordo com os requisitos, não há atualização do valor corrente, mantendo o último valor filtrado.

4.2.3. Sirene de Alarme e Indicadores Luminosos em Torre

Os requisitos mínimos descrevem a necessidade de, apenas, uma sirene de alarme, mas a análise de segurança que segue recomenda o uso de uma torre de sinalização, que inclui uma sirene, além de, ao menos, duas lâmpadas de sinalização, utilizando então 3 saídas digitais distintas para essa finalidade. Para a escolha da sirene deve ser levado em consideração o timbre, de modo que seja suficientemente distinto dos demais alarmes sonoros do setor. A torre deve operar na mesma faixa de tensão que os demais componentes e o padrão da fábrica de 24 VDC.

Este equipamento deve ser orçado junto ao almoxarifado da fábrica. E pode ser instalado junto ao painel.

4.2.4. Bombas

Para que as bombas já em uso sejam incluídas e controladas pelo sistema é necessário a certificação de que os sinais enviados pelo controlador seja usado apenas para comando, ou seja, que os motores elétricos associados às bombas devem ter alimentação própria. E que o sinal de retorno de sucesso de partida seja, também, um sinal de tensão de 10 a 30 VDC que ocorre apenas depois do período transiente de partida do motor, quando a carga de corrente está próxima do nominal de operação.

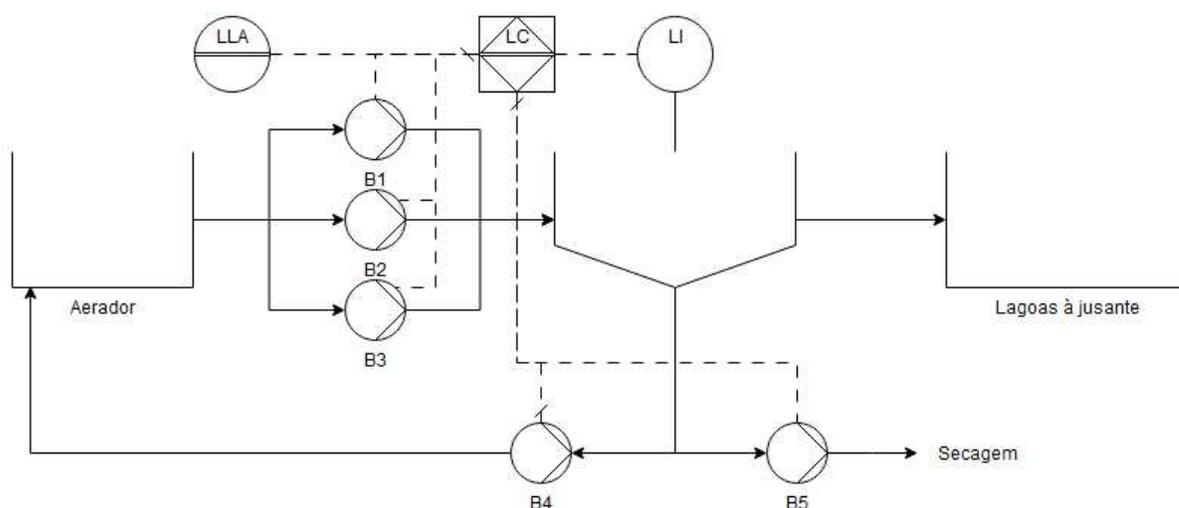
É importante observar que esse é o principal ponto de vulnerabilidade à distorções eletromagnéticas, visto o comprimento dos condutores elétricos e o uso de sinais de tensão.

Estas bombas são já utilizadas para o processo manual, mudando apenas o circuito para seu acionamento dentro do painel.

4.3.RESULTADOS

Podemos então constatar que todos os equipamentos escolhidos satisfazem as necessidades do sistema. A ocupação das portas de controle do CLP se dá com 12 de 16 portas de entrada digital, 6 de 8 portas de saída digital e 1 de 6 porta de entrada analógica. E mesmo as soluções de segurança propostas no próximo capítulo (5) podem ser atendidas por este excedente. No diagrama P&ID iniciar, podemos complementar com as ligações lógicas e elétricas pertinentes ao projeto para chegar à Figura 5:

Figura 5: P&ID que inclui malha de controle de nível.



Fonte: Autoria própria.

Destaca-se da Figura 5, os motores elétricos das bombas numerados de 1 a 3 para as bombas do grupo de adição e 4 a 5 para as do grupo de remoção, onde a bomba 4 carrega o fluido para outra etapa do tratamento e 5 faz a remoção do lodo ativado para o processo de secagem. A torre de sinalização de alarmes (LLA), composta por sinalização luminosa e sonora, é indicada com montagem junto ao painel e assim como os motores associados às bombas tem ligações elétricas discretas. O sensor (LI) tem sua montagem indicada em campo e ligação elétrica contínua. Todos os

equipamentos pertencem à mesma malha única e portanto não discriminados nesta característica.

4.4.CONCLUSÃO

Com os estudos realizados pelas buscas dos manuais e ficha de dados dos equipamentos foi possível descrever o diagrama de ligação elétrica do CLP, para compor o manual de manutenção.

A taxa de ocupação das portas de comando do controlador, para o projeto, são suficientes para justificar o seu uso, ao invés de indicar o uso de um equipamento menor. A disponibilidade restante de portas de comando do controlador permite a adição de funções não previstas durante o levantamento de requisitos ou ainda a substituição de portas que apresentem defeito. Considerando que, não apenas esse sistema, mas a fábrica como um todo está sujeita à processo de melhorias contínuas, pode-se considerar muito positivo esse resultado.

5. ANÁLISE DE SEGURANÇA E RISCO

As análises aqui descritas e desenvolvidas tem por objetivo explorar cenários hipotéticos de eventos de falha relacionados com a proposta do projeto. Destes cenários, seguindo a metodologia, podemos criar salvaguardas e desvios seguros de modo a evitar as consequências das falhas de maior risco. Finalmente, estes artifícios gerados podem ser agregados ao sistema, tornando-o mais seguro.

No contexto de análise de segurança, o termo “risco” advém da relação entre severidade e ocorrência, sendo proporcional à ambos. Severidade é uma medida estimada do impacto negativo da consequência da falha, podendo incluir acidentes envolvendo pessoas, danos ao maquinário, ao meio-ambiente e até à imagem da empresa.

E ocorrência é uma medida da frequência desses eventos. Pode ser tanto quantitativa, quando há valores historiados sobre frequência de falhas, quanto qualitativas, quando existe apenas uma estimativa da frequência feita com base em experiências.

Dessa forma, a multiplicação dos valores, estimados ou calculados, de severidade e ocorrência da falha associada gera o valor atribuído ao risco desta falha.

5.1.METODOLOGIA

O foco do desenvolvimento deste projeto é centrado em um sistema de *hardware*, o CLP com seus atuadores, sensor e dispositivos de sinalização. A técnica *Failure Modes and Effects Analysis* (FMEA), ou seja, Análise de Modos de Falha e Efeitos, é compatível com o sistema estudado. O resultado desta análise é então complementado pela elaboração de uma estrutura de *Fault Tree Analysis* (FTA), ou seja, Análise de Falhas em Árvore, para explicitar os pontos críticos para ação e melhoria.

5.1.1. Análise de Modos de Falha e Efeitos (FMEA)

A técnica consiste em, dado o objeto/projeto a ser analisado, a execução exaustiva da sequência, de modo a gerar uma tabela:

1. A seleção de um sistema, particionando o escopo de análise em múltiplas estruturas de complexidade individual diminuída quando necessário.
2. A divisão deste sistema em uma lista de componentes integrantes e suas respectivas funções.
3. A aplicação de uma lista de modos de falhas a cada um dos componentes, verificando as falhas possíveis.
4. Verifica os efeitos no sistema, ambiente e no componente em si.
5. Verifica os modos de detecção de falha, se ele ocorre ou ocorreu.
6. Estabelece o risco e medidas de controle de emergência.

Ao fim da aplicação, o resultado deve ser uma tabela com, no mínimo, os campos de: Componente, Falha, Efeito, Detecção e Controle.

Em adição, foram incluídas as colunas de:

- Cenário, para facilitar a compreensão da sua ocorrência,
- Severidade, para orientar prioridade em buscas de ações de controle,
- Frequência, para qualificar probabilidade de ocorrência,
- Observações, permitindo anotações pertinentes a respeito das ações a serem tomadas, e
- Final, para indicar à análise seguinte, a qual ramo esse cenário pertence.

Para classificação de Severidade, usamos a relação de significância de acordo com a Tabela 1:

Tabela 1: Grau de Severidade atribuído à efeitos de falhas

Grau de Severidade	Significado
0	Sem dano direto, condição habilitadora
1	Interrupção da continuidade operacional
2	Danos leves ao sistema, desgaste
3	Danos aos equipamentos ou impacto ambiental
4	Dano severo, fatalidade
5	Catastrofico

Fonte: Adaptado de PETROBRÁS. Matriz de Tolerabilidade de riscos

5.1.2. Análise de Árvore de Falhas (FTA)

Eventos podem ser classificados como Condições Habilitadoras quando são necessárias para que outros eventos aconteçam. Esses eventos podem ser falhas ou apenas ações independentes do sistema. Podemos expressar que existem falhas e cenários de grave consequência que só podem surgir a partir de outros eventos, inclusive outras falhas. Desse entendimento surge a noção de estrutura de falha.

A técnica de análise por árvore de falha, ou *Fault Tree Analysis* (FTA), consiste em, usando dos cenários levantados por outras análises, criar estruturas gráficas com consequências finais e causas que levam à elas. Assim, pela combinação lógica de eventos, que podem ser falhas ou condições habilitadoras, chega-se a uma estrutura em forma de árvore, onde vários eventos distintos e independentes podem levar a um mesmo efeito final.

Com essa análise é possível observar pontos importantes para realização de ações de controle de emergência e, quando existem valores mensurados de ocorrência de falhas em hierarquias mais baixas, calcular a ocorrência provável de eventos de topo.

5.2.DESENVOLVIMENTO

As orientações gerais a respeito do desenvolvimento destas análises sugerem a participação de uma equipe multidisciplinar nas etapas de criação de cenários para análises de risco. Entretanto as metodologias foram aplicadas de modo individual.

Na tentativa de contornar os vícios associados ao desenvolvimento solitário, na execução do FMEA, fez-se uso de uma tabela de palavras guia (Anexo A), para complementar os desvios de função que os componentes podem apresentar de maneira exaustiva. Esse artifício é previsto na aplicação da técnica HAZOP com a mesma finalidade.

5.2.1. Aplicação de FMEA

Seguindo o fluxo descrito na metodologia, partindo do diagrama da Figura 5, identificamos que o sistema todo pode ser analisado em um única malha, ou seja, um único nó para análise. A listagem dos componentes se dá em equivalência à listagem da análise de instrumentação, acrescida apenas dos cabos com comunicação e, para cada componente, uma breve descrição de funcionamento.

Para determinar os possíveis modos de falha, além da simples negação de cada uma das funções descritas, aplica-se também a lista de palavras guias. Estas palavras guia (Anexo A) servem para ajudar a explorar todas as possibilidades de falhas, aplicando a cada componente individualmente a pergunta: “É possível que esse componente falhe em ...?”. Uma vez levantado o questionamento, buscou-se descrever o cenário deste evento falha, para que quando possível a ocorrência deste evento, os efeitos e detecção fossem mais facilmente descritos.

Foi observado com as descrições de efeitos que existem eventos que, de forma isolada, não levam à parada do sistema, apenas a um estado de menor eficiência, por exemplo a falha de partida de uma das bombas do grupo de adição, que para suprir o volume correto ao sistema devem funcionar em paralelo. Existem ainda, situações que podem se desdobrar em outras falhas mais graves.

Dos efeitos descritos para cada cenário levantado foi estimada a severidade das consequências de acordo com a Tabela 1.

Para a descrição dos modos de detecção foi descrito como, operadores e responsáveis pelo sistema, podem observar se o sistema está, ou esteve, em falha.

Todos os alarmes do sistema, de acordo com os requisitos, são não retentivos, ou seja, caso a ação anômala volte à normalidade, o alarme cessa, assim a maioria das falhas só é informada durante sua ocorrência.

Alguns cenários, porém, não tem forma de detecção em tempo de execução, é o caso do cenário descrito por “acúmulo de desgaste nas bombas do grupo de remoção” que só pode ser detectado em ações de manutenção preventiva.

Para a descrição das ações de controle foram listadas algumas ações e recomendações de implementações, discutidas na seção de resultados deste capítulo. Estas recomendações podem servir para guiar as ações e melhorias no sistema implementado.

Como “ação humana” foi considerada uma forma de controle é fundamental que os operadores sejam instruídos e que seja documentada uma lista de procedimentos de reação específica a cada um dos alarmes programados.

Com parte do resultado da Análise de Modos de Falhas e Efeitos pôde-se notar que o sistema evolui para uma de 3 situações, transbordamento, esvaziamento ou ociosidade. Transbordamento é considerado um cenário de severidade 3 na escala usada pois devido a natureza do sistema de tratamento e disposição das lagoas, o efluente se espalharia, primeiro pelo gramado, contaminando o solo e depois para as lagoas em níveis inferiores, prejudicando o processo de tratamento, e no fim, depois de muito tempo, contaminando a bacia hidrográfica.

Esvaziamento também é um cenário de estimada severidade 3 pois ao operar em nível inferior ao mínimo, as bombas do grupo de remoção podem acumular danos advindos do efeito de cavitação ou da operação em velocidade superiores à esperada devido a baixa carga, o reparo a destas bombas se dá apenas com a para do processo o que representa uma grande perda à fábrica.

Dos cenários finais encontrados, o menos custoso é o de ociosidade, pouco desejado por ser uma interrupção da continuidade do processo, ele pode ser mais facilmente resolvido do que os demais, sendo então preferível.

Estes cenários levantados são usados de base para o desenvolvimento da análise de árvore de falha (FTA), que segue.

5.2.2. Aplicação de FTA

Para ajudar a observar os cenários de condições habilitadoras, suas causas e servir de guia para trabalhos futuros que busquem inferir com precisão a respeito de frequência e risco com base em dados estatísticos de falhas de equipamentos na fábrica, foi criada uma estrutura em árvore de falhas.

Os cenários finais levantados pela análise de modos de falhas foram: “Ócio” quando o sistema de controle acaba por interromper o processo; “Transbordamento” quando falha em controlar o nível máximo; e “Esvaziamento” quando falha em controlar o nível mínimo. Destes 3 cenários pouco desejáveis, apenas um não causa efeitos danosos, ou seja, de baixa severidade. Uma vez construída a árvore de falhas é interessante carregar à ela as considerações e soluções propostas, modificando o seu comportamento para que os cenários finais sejam evitados. Quando não é possível desviar-se da falha completamente é interessante mitigar os danos, assim, neste projeto, considera-se a possibilidade de fazer um desvio para uma parada segura, levando o sistema ao ramo de “Ócio”.

É importante destacar que, apesar de não oferecer risco significativo pela nula severidade de sua ocorrência, a ociosidade do sistema não é desejável pois caso ocorra com frequência, pode motivar os operadores a não usar os sistema automático com todas as suas implementações de segurança, comandando o sistema a vereda em modo manual.

5.3.RESULTADOS

Com a execução das análises de segurança alcançou-se um conjunto de 18 cenários distintos de falha (ver Anexo B). Organizados em estrutura de árvore no Anexo C, estes cenários foram estudados. Destes estudos derivaram-se soluções que apontam mecanismos de salvaguarda a serem implementados, ou ainda, sugestões de modificações aos requisitos que levariam o sistema a evitar as falhas que deram origem ao cenário considerado. Lista-se com complementação:

1. Torre de Sinalização

Para ajudar a identificar falha de comunicação por mal contato entre o controlador e o sistema da sirene, fazendo com que, em operação correta, ao menos um dos dispositivos da torre de sinalização esteja sempre ativo (luz verde)

2. Implementação de “Estado de Teste” para a torre de sinalização.

Para facilitar a verificação do correto funcionamento da torre de sinalização, sugere-se a implementação de um estado de teste, seguinte ao estado inicial e de parada de emergência, no qual todos os dispositivos da torre de sinalização são ativados por um curto e observável período de tempo (pouco segundos) antes de seguir ao funcionamento normal do sistema.

3. Distinção dos alarmes por combinação de luzes e sons

Para que seja possível a correta ação de controle por parte dos operadores é necessário a implementação de modos de alarmes, estados que representam a combinação dos possíveis eventos e levam o sistema a falha.

4. Manual de procedimento de reação específico a cada alarme codificado.

Como uma das ações de controle do sistema é “Ação humana”, é justificável que todo operador seja devidamente instruído a respeito de cada alarme possível, sugerindo-se ainda a fixação de tabela de equivalência de alarmes no próprio painel.

5. Mudança do requisito que “Permite alternância entre controle manual e automático das bombas individualmente” para “Permitir alternância entre controle manual e automático das bombas”.

Esta solução faz uso de apenas uma chave seletora de modo, ou o sistema opera em manual, ou em automático, evitando assim, que o operador consiga iniciar a partida de uma bomba no modo manual enquanto o sistema tenta iniciar a partida em modo automático. Esta mudança no painel implica na remoção de 4 chaves seletoras, vagando também 4 portas do controlador. Essa modificação permite uma reestruturação ainda maior do painel, visto que com a nova disponibilidade de portas de entrada digital, é possível implementar o controlador como intermediário entre a botoeira de acionamento manual e o comando das bombas, garantindo assim total controle sobre o sequenciamento de partidas.

6. Implementação de mecanismo de *Timeout* para o Alarme do Sensor

O requisito de “Manter o sistema operando em seu último estado quando o sistema perder orientação para controle (quando perder o sinal do sensor)”, apesar de ter sido justificado, ainda é o gerador de falha de maior risco associado, por tanto, sugere-se a implementação de um time-out proporcional ao tempo restante estimado para o evento de falha correspondente. Transbordamento se apenas as bombas do grupo de adição estiverem ativas, Esvaziamento se apenas o grupo de remoção estiver ativo e o menor dos dois tempos estimados se ambos estiverem ativos. Dessa maneira, mesmo que o alarme de “Falha do Sensor” seja ignorado, com o tempo, antes do efeito da falha se materializar, o sistema passa automaticamente para Ócio.

7. Implementar Detecção de Falha ao desligar

O uso de modo automático em concomitância com manual pode levar a um cenário onde uma bomba em manual opera em momento inapropriado. Pelo retorno de confirmação de partida é possível fazer a detecção das bombas em operação, e portanto o acionamento do alarme apropriado. Dessa detecção deriva também a possibilidade de fazer o desligamento imediato da bomba do grupo de remoção caso sua concorrente inicie a partida.

8. Implementar Alarme de “Modo Automático partindo, enquanto há bomba em modo manual”

Um modo de alarme que sinaliza ao operador que uma bomba está partindo e, portanto, não deve iniciar a partida em modo manual.

9. Implementação de Timer em modo de *Cooldown* para partida de bomba 4 após funcionamento de bomba 5

Partindo do entendimento que a bomba 5 do grupo de remoção, ao desempenhar o papel de remoção do lodo sedimentado, suspende temporariamente grande quantidade de sólidos na coluna de fluido. E que estes sólidos, com alta carga de DBO e DQO, ou seja, alta carga de poluentes, se lançados no processo a jusante causariam prejuízo ao tratamento. Sugere-se então que monitorando o retorno de confirmação de partida das bombas do grupo de remoção, a bomba 4 seja impedida de partir até o esgotar de um timer relacionado ao último funcionamento da bomba 5.

5.4.CONCLUSÃO

Apesar dos cenários de falhas estarem aparentemente esgotados e a quantidade de soluções e melhorias de segurança ser satisfatória, se faz importante recomendar a constante revisão e atualização desta análise, levando em conta a evolução do processo e os modos de uso emergentes dessa mudança. Apenas a continuidade do desenvolvimento dessas análises pode garantir que os riscos sejam minimizados, não apenas no âmbito desse projeto, mas no ambiente de trabalho como um todo.

6. ESPECIFICAÇÃO DA LÓGICA DO CONTROLE

Para guiar o desenvolvimento da lógica Ladder a ser carregada no CLP faz-se o desenvolvimento de um diagrama em Grafcet do comportamento desejado do sistema.

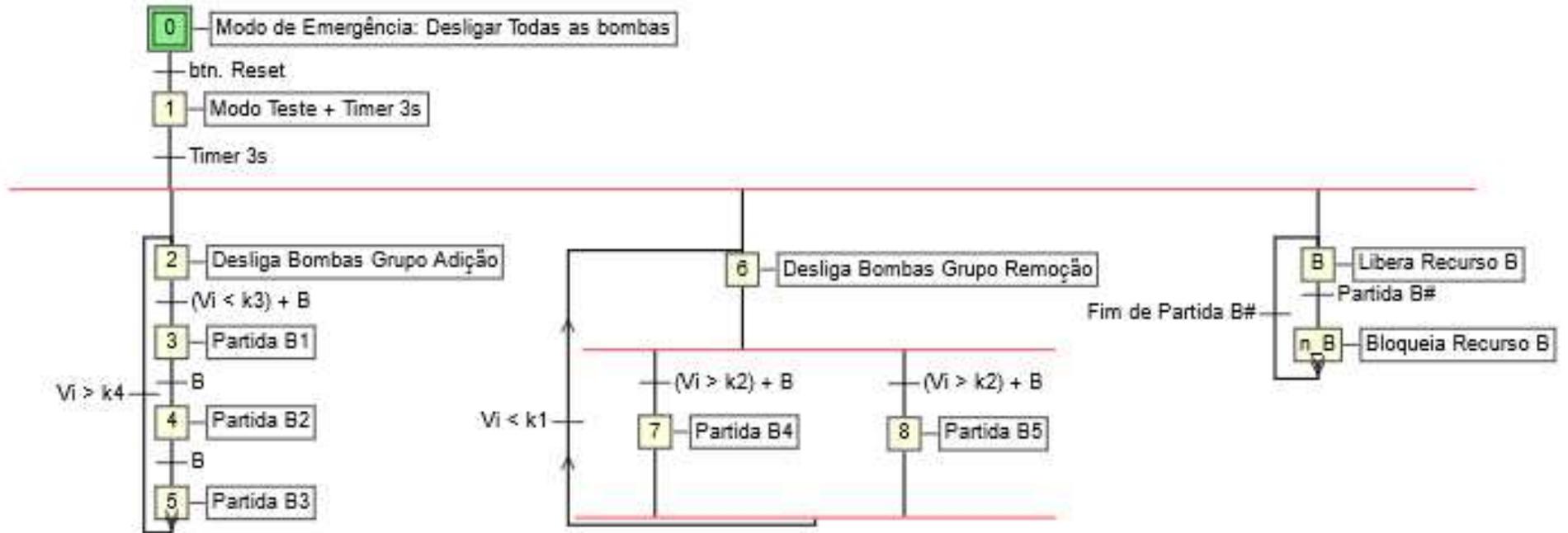
6.1.METODOLOGIA

Descrito pela IEC 60848, o Grafcet é uma metodologia de especificação de lógica de controle de processos sequenciais. Trata-se de uma representação gráfica que traduz sem ambiguidades a evolução de estados dentro de um sistema de automação discreta.

6.2.DESENVOLVIMENTO

Para o desenvolvimento do diagrama faz-se a representação do comportamento desejado através dos estados e transições do método. Conforme Figura 6:

Figura 6: Grafset do comportamento desejado.



Fonte: Autoria própria.

Observa-se que depois do fim do bloco de Modo de Teste é iniciado um paralelismo para o funcionamento independente dos diferentes grupos de bombas, iniciando com o estado de desligamento dos respectivos grupos.

As condições para início dos blocos de partidas das bombas depender sempre da comparação entre o valor do nível da lagoa (V_i) e uma constante k -numerada, que representam o valor do nível mínimo (k_1) que restringe o funcionamento das bombas do grupo de Remoção, o nível superior ao mínimo (k_2) no qual as bombas do grupo de Remoção podem voltar a funcionar, o valor do nível máximo (k_4) que limitam o funcionamento das bombas do grupo de Adição e o valor inferior ao máximo (k_3), o qual volta a permitir o funcionamento das bombas do grupo de Adição.

Para a implementação, o solicitante sugeriu o uso de alocação de espaço temporal de 30 segundos para a ordenação das partidas das bombas do grupo de adição. Porém, pelo uso do sinal de confirmação do sucesso do fim da partida de cada uma das bombas, pode-se realizar uma solução melhor. Este sinal indica o bem sucedido fim de transiente de partida, assim, pode ser utilizado para ordenar a partida da próxima bomba da sequência com a sua ocorrência. Esta sugestão é usada, porém, para indicar o período máximo esperado para a partida bem sucedida das bombas, levando o sistema a interpretar intervalos maiores que 30 segundos entre comando de partida e retorno como falha, acionando o respectivo alarme e seguindo o funcionamento do programa.

É iniciado também, pelo paralelismo, um estado que representa a disponibilidade de um recurso virtual (B) que indica a disponibilidade de partida para todas as bombas. Isso implica em um intertravamento das duas sequências de funções independentes.

Cada bloco de função de partida deve ter as ações ordenadas em:

1. Checagem de estado da bomba, realizando um pulo completo da partida da bomba em questão caso ela já esteja em operação (retorno de sucesso de partida), ou esteja em modo manual (e portanto não será ligada), ou ainda, se a bomba em questão está em Falha (causada por estouro de timer em execução anterior)
2. Reserva do Recurso B , bloqueando outras bombas de partir enquanto estiver realizando estes procedimentos,

3. Comando de partida da bomba em questão junto do início do temporizador de 30 segundos para identificar falha de partida, o que leva a um de dois estados:
 - a. Sucesso de partida identificado pelo respectivo retorno, ou
 - b. Falha de partida, pelo estouro do temporizador iniciado.
4. A liberação do recurso B

6.3.RESULTADOS

Com os diagramas desenvolvidos é possível desenvolver-se o programa em Ladder. O artifício de recurso virtual representado por um par de estados demarcado como B e $\neg B$, apesar de desnecessário do ponto de vista lógico, fez-se desejável pela baixa capacidade de combinações de expressões lógicas do tipo AND na IDE do controlador.

6.4.CONCLUSÃO

O poder de expressão do método Grafcet torna a tradução da lógica gerada, para Ladder, trivial. O foco, então, do esforço de programação, torna-se a correta implementação da lógica de emergência, com os diversos modos de alarmes e seus exaustivos testes.

Antes da montagem do sistema, faz-se necessário que testes com os equipamentos e a lógica programada sejam realizados em bancada.

7. CONCLUSÃO

Através deste trabalho foi possível documentar todas as etapas necessárias para a automação do sistema de controle de nível da lagoa de lodo da ETE da UIA em Matelândia.

Através dos resultados da análise de viabilidade econômica demonstrou-se que o projeto é, não apenas uma boa opção de investimento, como também uma opção desejável considerando os ganhos relacionados à qualidade do trabalho. Pode-se realizar a inclusão deste projeto no programa de melhorias contínuas da empresa.

O cenário relacionado à automação mais completa da ETE, apesar de ignorado no escopo deste trabalho, é uma alternativa que merece um estudo dedicado. Com a inclusão de várias outras grandezas a serem controladas permite-se maior segurança e eficiência na operação de tratamento, assim como, com a inclusão de outros componentes justifica-se a realização de uma nova análise de segurança.

Do estudo de instrumentação, a disponibilidade de portas ociosas na montagem do controlador permite-se, por exemplo, implementações sugeridas pelas análises de segurança. As características do sensor, através destes estudos, demonstram-se adequadas para a aplicação, em especial devido a ausência de contato direto com a coluna de fluido.

Com a realização e documentação da análise de segurança estabelece-se um ponto de partida para outros desenvolvimentos relacionados. O estabelecimento de conceitos e referências abre caminho para a continuidade da aplicação destas metodologias.

Sugere-se ainda, para a continuidade do desenvolvimento das análises de segurança, a replicação desta análise incluindo os dados relacionados à ocorrência das falhas.

Além das recomendações de soluções expostas na seção 3 do capítulo 5 (Resultado das Análises de Segurança e Risco), sugere-se a modificação do modo de controle de discreto para Proporcional-Integral, ao menos em uma das bombas de cada agrupamento, objetivando a menor variação dos parâmetros relacionados ao processo biológico de autodepuração. A conexão do CPL à rede de Automação da fábrica e a

adição de uma tela como IHM ao painel também são sugestões interessantes de trabalhos futuros.

REFERÊNCIAS

CARDELLA, B. **Safety at work and emergency control: A holistic approach**. [S. l.]: CRC Press, 2018.

COSTA, R. P. *et al.* **Engenharia economica E finançãs**. 1. ed. [S. l.]: Elsevier Brasil, 2009.

HOBBSAWM, E. J. **The machine breakers**. 1. ed. [S. l.]: Oxford University Press, 1952.

CONAMA. **Resolução Nº 430/2011**. Publicação DOU nº 92, 2011. Disponível em: http://conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=627

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. IEC 60848. **GRAF CET specification language for sequential function charts**, [s. l.], v. 3.0, n. 1, 2013.

HI Tecnologia Automação Industrial. **HIO115 - Especificação Técnica**, 2023. Disponível em: <https://materiais.hitecnologia.com.br/downloads/pmu11111500.pdf>

IFM. **Info Card - O1D100**, 2022. Disponível em: https://media.ifm.com/CIP/mediadelivery/asset/e79686a9efe0db4b9a25178bd511b9b6/11449184_EN.pdf?contentdisposition=inline

INSTRUMENT SOCIETY OF AMERICA. **ANSI/ISA-5.1 Instrumentation Symbols and Identification**, ISA International Society for Measurement and Control, 2009.

INSTRUMENT SOCIETY OF AMERICA. **Graphic Symbols** for Distributed Control/Shared Display Instrumentation, Logic and Computer Systems. ISA International Society for Measurement and Control, 1983.

PETROBRÁS. **DR-ENGP-I-1.3 – R.3: Diretrizes de Engenharia de Produção E&P**. [S. l.: s. n.], 2013.

PRESSMAN, R. S. **Engenharia de software**. [S. l.]: Makron Books, 2002.

SPERLING, M. V. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. [S. l.]: Editora UFMG, 1996.

SUSIN, J. V. **Caracterização de diferentes efluentes gerados em uma planta de abate de aves**. 2021. [s. l.], 2021. Disponível em: https://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/74790/JOAO%20VITOR%20SUSIN_BIOLOGIA_2021_1.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

GOOGLE, INC. **Google Maps**. 2023. Disponível em: <https://goo.gl/maps/LkPQKzjC4oJZk4Fv7>

ANEXO A – Tabela de palavras-guia

	A	B
1	Guia	Palavra usada
2	Negação completa	Nenhum
3	Decrescimo Quantitativo	Menor/Baixo/Menos
4	Acrescimo Quantitativo	Maior/Alto/Mais
5	Oposição	Reverso
6	Substituição completa	Outro que/Se não/Ao invés de
7	Qualidades:	
8	Temporal	Antes/Depois
9	Frequencia	Ruído
10	Material	Contaminado

ANEXO B - Tabela resultado FMEA

Componentes	Falha	Cenário	Efeito	Deteção	Grau de Severidade (0 a 5)	Controle	Frequencia	Observação	Final
Bombas de Adição	Falha ao partir	Comando de ligar é dado, mas bomba não liga em tempo (timer determinado)	Queda do nível do tanque	Alarme de falha de bomba	0	Bombas de adição estão em paralelo, de forma redundante	2	Alarme Falha bombas grupo Adição	Ocio
	Falha ao desligar	Comando para desligamento é dado, mas bomba continua funcionando, seja porque bomba está em modo manual ou curto elétrico	Aumento do nível do tanque, possível transbordamento	Alarme de Bomba operando em momento improprio	3	Intervenção humana é necessária	3	Implementar Deteção	Transbordamento
	Falha em operação	Bomba falha durante operação, desligando antes do previsto, seja por falta de alimentação ou outro	Queda do nível do tanque	Alarme de falha de bomba	0		2	Alarme Falha bombas grupo Adição	Ocio
	Partida Simultanea	Operador parte em Manual enquanto Sistema Automatico parte	Pico de corrente para alimentação das bombas e potencial desgaste do sistema elétrico	Durante manutenção preventiva	2	Alarme enquanto sistema parte automatico e existe bomba em manual	3	Risco associado à desgaste aumentado. R4 e R10	Ocio
Bombas de Remoção de Lodo/Circulação	Falha ao partir	Comando de ligar é dado, mas bomba não liga em tempo (timer determinado)	Aumento do nível do tanque	Alarme de falha de bomba	1		2	alarme deve ser mais "grave" que falha de bombas de adição, menos grave que falha de sensor ou outros alarmes	Ocio
	Falha ao desligar	Comando para desligamento é dado, mas bomba continua funcionando, seja porque bomba está em modo manual ou curto elétrico	Queda do nível do tanque, possível cavitação e dano às bombas	Alarme de Bomba operando em momento improprio	3	Intervenção humana é necessária	3	Implementar Deteção	Esvaziamento
	Falha em operação	Bomba falha durante operação, desligando antes do previsto, seja por falta de alimentação ou outro	Aumento do nível do tanque	Alarme de falha de bomba	1		2		Ocio
	Operação Simultanea	Bombas em Modos distintos, Operador da partida manual com outra bomba já em operação	Prejuizo ao processo de tratamento	Retorno das bombas em operação simultanea	1	Desligamento imediato da bomba em automatico	3	implementar deteção e controle	Ocio
	Operação Simultanea	Bombas de remoção funcionando com intervalo de tempo muito baixo	Prejuizo ao processo de tratamento	Retorno das bombas e Timer	1	Bloquear funcionamento automatico imediato, atrazar partida	3	R#9: Bombas4 não pode funcionar logo depois de Bomba5 pois remoção de lodo levanta materia sedimentada, prejudicando processo de tratamento	
	CLP e fios de Comando	Falha de comando de partida	Porta do CLP queimada, ou Fio de comando de partida rompido	Bomba correspondente não parte, identico ao caso de falha de partida correspondente	Alarme correspondente	0,1		2	Severidade depende da quantidade de fios/portas em falha
	Falha de retorno de partida	Porta do CLP queimada, ou Fio de retorno rompido	não há confirmação de partida da bomba correspondente, timeout, bomba correspondente em falha	Alarme correspondente	0,1		2	Severidade depende da quantidade de fios/portas em falha	Ocio
CLP	Falha Alimentação	Circuito de alimentação do CLP é desligado	Desligamento imediato do sistema, sem possibilidade de alarme	Alarme/Buzzer (beep uma vez a cada 30 segundos) para indicar funcionamento do sistema, ou adicionar torre de sinalização luminosa	1		1	Solução R6	Ocio
	Inversão da logica	Durante manutenção fios de conexão são trocados	Inversão da ação de controle	-	3	-	1	Não detectavel	Esvaziamento/ Transbordamento
Alarme	Falha do Alarme	Silencio	Operadores ignoram todos os alarmes	Alarme/Buzzer (beep uma vez a cada 30 segundos) para indicar funcionamento do sistema	0		1	Solução R6	Esvaziamento/ Transbordamento
	Qualidade ruim	Alarmes e beeps muito frequentes ou pouco volume sonoro	Operadores ignoram alarmes	Timeout de espera de ação humana	0	Desligamento seguro caso alarme seja de prioridade	1	Solução R6 e R7	Esvaziamento/ Transbordamento
Sensor	Falha de comunicação	Sem leitura de nível	Perda de orientação para controle	Alarme de falha de Sensor	0		2	Mais grave Alarme, Solução R8	Esvaziamento/ Transbordamento
	Falha de Alimentação	Sem leitura de nível	Perda de orientação para controle	Alarme de falha de Sensor	0		1	Mais grave Alarme, Solução R8	Esvaziamento/ Transbordamento
	Qualidade ruim, outro	Interferencia eletromagnetica, vibração da superficie do liquido	Perda de orientação para controle, mudança frequente dos estados	Alarmes disparando em falso	0	Pre tratamento de valor lido	1	Filtro	

