



UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
ESCOLA DE MINAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE
CONTROLE E AUTOMAÇÃO



LEONARDO LOURENÇO VIEIRA

DESENVOLVIMENTO DE INTERFACES HOMEM-MÁQUINA DE
ALTA PERFORMANCE

OURO PRETO - MG

2018

LEONARDO LOURENÇO VIEIRA

vieira.lleo@hotmail.com

**DESENVOLVIMENTO DE INTERFACES HOMEM-MÁQUINA DE
ALTA PERFORMANCE**

Monografia apresentada ao Curso de Graduação em Engenharia de Controle e Automação da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito para a obtenção do título de Engenheiro de Controle e Automação.

Professor orientador: Agnaldo José da Rocha Reis,
Doutor

OURO PRETO - MG

2018

V658d Vieira, Leonardo.
Desenvolvimento de Interfaces Homem-Máquina de Alta Performance
[manuscrito] / Leonardo Vieira. - 2018.

62f.: il.: color.

Orientador: Prof. Dr. Agnaldo Reis.

Monografia (Graduação). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Departamento de Engenharia de Controle e Automação e Técnicas Fundamentais.

1. IHM. 2. Interfaces Homem-Máquina. 3. Interfaces de Alta Performance.
I. Reis, Agnaldo. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU: 681.5

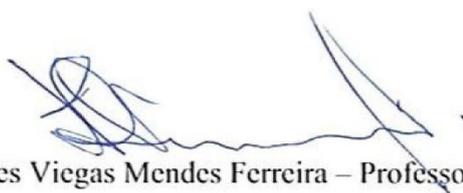
Monografia defendida e aprovada, em 18 de dezembro de 2018, pela comissão avaliadora constituída pelos professores:



Prof. Dr. Agnaldo José da Rocha Reis - Orientador



Prof. Dr. Luiz Fernando Rispoli Alves – Professor Convidado



Prof. Me. Diógenes Viegas Mendes Ferreira – Professor Credenciado Convidado

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente aos meus pais, Regina Ramalho e Arnaldo Vieira, por todo o apoio, ensinamentos e confiança ao longo da minha vida. A minha irmã, pelas palavras de força e carinho. Aos meus professores da Universidade Federal de Ouro Preto, em especial ao professor e meu orientador Agnaldo José da Rocha Reis pela amizade e ajuda ao longo da minha graduação. Aos orientadores do meu estágio e amigos que sempre me apoiaram.

Aos meus pais, Arnaldo e Regina, por esta
etapa vencida.

RESUMO

Nos dias atuais, ainda é muito recorrente acidentes em ambientes industriais ocasionados por interfaces homem-máquina ineficientes, apesar do alto volume de investimento de grandes empresas no desenvolvimento de tecnologias de controle e automação, que visam justamente aumentar os níveis de segurança e confiabilidade de processos industriais. Parte desta ineficiência está atrelado ao fato de desenvolvedores de interfaces utilizadas em processos industriais não considerarem fatores como design, limitações humanas e ergonomia no momento de sua criação. A utilização do conjunto de normas sugeridas pelo comitê da ISA 101 para o desenvolvimento de interfaces homem-máquina pode ser uma forma de melhorar sua eficiência e contribuir na prevenção de falhas e redução de erros operativos. Este Trabalho de Conclusão de Curso visa discutir os conceitos utilizados para o desenvolvimento de interfaces homem-máquina de alta performance usando como exemplo a interface desenvolvida para a operação da planta de aspersão no embarcadouro de minério de ferro de uma mineradora do estado de Minas Gerais. Para a realização desta discussão e criação da interface citada foram utilizados os conhecimentos adquiridos nas disciplinas da graduação em Engenharia de Controle e Automação tais como: Interfaceamento, Informática Industrial e Sistemas de Controle.

Palavras-chave: interfaces homem-máquina, IHM, interfaces de alta performance, aspersão, mineração.

ABSTRACT

At present, accidents in industrial environments caused by inefficient human-machine interfaces are still very frequent, despite the high volume of investment by large companies in the development of control and automation technologies, which aim to increase the levels of safety and reliability of processes industries. Part of this inefficiency is linked to the fact that developers of interfaces used in industrial processes do not consider factors such as design, human limitations and ergonomics at the time of their creation. The use of the set of standards suggested by the ISA 101 committee for the development of human-machine interfaces can be a way to improve its efficiency and contribute to the prevention of failures and reduction of operational errors. This Course Completion Work aims to discuss the concepts used for the development of high-performance human-machine interfaces using as an example the interface developed for the operation of the sprinkler plant at the iron ore dock of a mining company in the state of Minas Gerais. For the accomplishment of this discussion and creation of the mentioned interface, the knowledge acquired in the disciplines of the graduation in Control and Automation Engineering such as: Interface, Industrial Computing and Control Systems were fundamental.

Keywords: human-machine interfaces, HMI, high performance interfaces, sprinkling, mining

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Painel com botoeiras e LEDs utilizado para controle de processos de manufatura....	4
Figura 2: Painel de controle com botoeiras e <i>switches</i> equipados com indicadores luminosos.	6
Figura 3: Exemplo de uma parede de controle	7
Figura 4: Painel de alarmes	7
Figura 5: Exemplo de uma interface gráfica utilizada para controle operacional de um determinado processo industrial	8
Figura 6: Exemplo de interface gráfica com excesso de informação	9
Figura 7: Visão dos estragos causados por explosões e incêndios na Refinaria BP Texas	10
Figura 8: Tela de visualização da planta utilizada pelo operador.....	12
Figura 9: Mudança implementada no indicador de velocidade da aeronave.....	13
Figura 10: Ciclo de vida de IHMs na ISA 101	15
Figura 11: Exemplo de uma tela de nível 1	22
Figura 12: Exemplo de uma tela nível 2 de operações de um reator.....	23
Figura 13: Exemplo de uma tela nível 3.....	23
Figura 14: Sistema automático de aspersão em vagões carregados de minério	25
Figura 15: Interface utilizada para monitoramento e operação da planta de aspersão no embarcadouro de minério	27
Figura 16: Contextualização das variáveis de processo exibidas na interface	31
Figura 17: Tela inicial para acessar a aplicação	33
Figura 18: Tela de Overview da planta de aspersão.....	34
Figura 19: Tela da planta de aspersão 01	35
Figura 20: Tela da Planta de Aspersão 02	36
Figura 21: Legenda de cores utilizada para animação dos equipamentos quanto ao estado de funcionamento	37
Figura 22: Janela de operação de uma válvula identificada como AS2_VS05	40
Figura 23: Tela do consumo e tendências da planta de aspersão	41
Figura 24: Comandos para navegação nos gráficos	42

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Exemplo de paleta de cores de uma IHM de alta performance21

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

CLP – Controlador Lógico Programável

HMI – Human-Machine Interface

IHM – Interface Homem-Máquina

LED – Diodo Emissor de Luz (*Light Emitting Diode*)

OIT – Terminal de Interface do Operador (*Operator Interface Terminal*)

RGB – Abreviatura do um sistema de cores que combina vermelho (*Red*), verde (*Green*) e azul (*Blue*) para a formação de novas cores

SD – Segurança Digital (*Secure Digital*)

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Justificativa.....	1
1.2 Objetivo	2
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
2.1 Interface Homem-Máquina (IHM)	3
2.1.1 Tipos de IHMs	3
2.1.2 Histórico do Design de Interfaces Homem-Máquina.....	5
2.2 Acidentes por falha no design de interfaces	9
2.2.1 Acidente na Refinaria BP Texas.....	10
2.2.2 Acidente do voo 605 da Indian Airlines	12
2.3 ISA 101.....	13
2.3.1 Ciclo de vida de uma IHM	14
2.3.2 Ergonomia	17
2.3.3 Paleta de Cores	19
2.3.4 Hierarquia entre telas.....	21
2.4 Aspersão em Vagões	24
3 DESENVOLVIMENTO.....	26
3.1 Interface Original.....	26
3.2 Materiais	26
3.3 Padrões do Sistema.....	27
3.3.1 Filosofia.....	28
3.3.2 Guia de Estilo e Toolkits	29
3.4 Design.....	30
3.5 Implementação.....	30
3.5.1 Tela de Acesso.....	32
3.5.2 Tela de Overview.....	32
3.5.3 Tela da Planta de Aspersão 01.....	34
3.5.4 Tala da Planta de Aspersão 02.....	35
3.5.5 Tela de Legendas e Cores.....	36
3.5.6 Janelas de Operação.....	39

3.5.7 Tela de Consumo e Tendências	41
3.5.8 Testes, Comissionamento, Qualificação e Treinamento	42
3.6 Operação e Processo Contínuo de Melhoria.....	43
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	45
5 CONCLUSÃO.....	47
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	48

1 INTRODUÇÃO

Uma Interface Homem-Máquina (IHM) é a ponte entre o operador e o chão de fábrica, podendo conter um conjunto de telas, displays gráficos, botões, *switches* ou outros tipos de tecnologias que permita o operador interagir de alguma forma com uma máquina, seja comandando ou apenas monitorando.

O design escolhido para o desenvolvimento destes equipamentos de interfaceamento tem ligação direta com o nível de produção das áreas em que estão sendo usados, pois interferem na capacidade do operador de gerenciar efetivamente a operação. Sendo que telas com o excesso de informação de baixa importância podem prejudicar a detecção de alarmes, assim como cores ou animações de estados de equipamentos utilizadas de forma indiscriminada podem desviar a atenção do operador do que realmente importa ou ainda cansar a vista do mesmo e causar sono durante o turno de trabalho. Esses são algumas das preocupações que devem ser levadas em consideração durante o desenvolvimento de IHMs.

O presente trabalho apresentará a proposta e o desenvolvimento de uma IHM para a supervisão do processo de aspersão no embarcadouro de minério de ferro de uma mineradora, discutindo boas práticas para o desenvolvimento de IHMs de alta performance para processos de sistemas automáticos, destacando conceitos da norma ISA 101.

1.1 Justificativa

A principal motivação do autor para o desenvolvimento deste texto é o fato de que grandes empresas têm investido anualmente bilhões nos processos de controle e automação com a finalidade de melhorar os graus de segurança e confiabilidade de processos industriais de alta complexidade, porém ainda é muito recorrente acidentes em ambientes industriais. Muitos destes acidentes são ocasionados por falhas humanas, não por equipamentos automatizados, e isso não quer dizer que a culpa é única e exclusiva do operador.

Ainda nos dias atuais, muitas das interfaces industriais são desenvolvidas por técnicos e engenheiros da própria indústria que não levam em consideração durante o desenvolvimento do projeto conceitos de design, ergonomia, comportamento humano e ciências cognitivas. Este fato somado a baixos orçamentos e curtos prazos que são exigidos destes profissionais, os impossibilita desenvolver um trabalho pautado em eficácia, eficiência e satisfação do usuário (GOETZ, 2017).

1.2 Objetivo

Este documento tem como principal objetivo suprir a ineficiência citada previamente, pontuando o desenvolvimento de interfaces homem-máquina de alta performance focadas em segurança, usabilidade e questionando a pertinência de animações e cores a serem utilizadas na interface. Isso será feito através do detalhamento da interface desenvolvida para supervisionar o processo de aspersão no embarcadouro de minério de ferro de uma empresa do ramo de mineração no estado de Minas Gerais, em que tais conceitos foram aplicados.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Interface Homem-Máquina (IHM)

Interface Homem-Máquina, do inglês Human-Machine Interface (HMI), é uma interface gráfica que permite o homem interagir com a máquina. Existem vários tipos de IHM no mercado atual, porém neste trabalho concentraremos nas interfaces para controle operacional de processos de manufatura, que necessitam de uma comunicação estabelecida com um Controlador Lógico Programável (CLP). Este é responsável pela coleta e conversão em álgebra booleana dos dados de equipamentos e instrumentos presentes no chão de fábrica. Somente após a conversão feita pelo CLP que a IHM poderá entender os dados e estados reais da planta industrial para então exibi-los de forma visual e possibilitar uma maior eficácia na tomada de decisão do operador.

Os elementos básicos de uma IHM são:

- Entrada de dados: a IHM recebe do operador instruções de como ele quer que determinada máquina funcione. O operador pode fornecer estes dados de entrada de diversas formas, seja por periféricos simples, como teclados e mouses ou até mesmo por meios mais complexos, como redes sem fio ou similares.
- Saída de dados: forma como a IHM repassa para o operador as informações vindas da máquina, como sinais luminosos (LEDs) ou por meio de interfaces gráficas, como animações, janelas de mensagem ou gráficos. Desta forma, o operador pode interagir com os dados disponíveis sobre o equipamento e ter conhecimento das atividades do mesmo.
- Sinais de entrada de emergência: sinalizações de erro ou comandos de emergência que ficam disponíveis para o operador em situações de urgência e exigem um curto tempo de resposta, como alarmes e botões de parada de emergência.

2.1.1 Tipos de IHMs

Com base no artigo escrito por Cristiano Bertulucci Silveira para a página na web da empresa Citisystems, existem três tipos básicos de IHM: a IHM que substitui os conjuntos de botoeiras para comandos, a que faz a coleta e tratativa de dados e a de supervisão. Nos itens a seguir será feito uma breve descrição dos tipos citados.

2.1.1.1 IHM para substituição de botoeiras e LEDs (OIT)

Antes da criação de interfaces gráficas para operação, o controle era feito por meio de várias botoeiras e sinalizações por LEDs instalados em painéis que exibiam diversas informações de vários equipamentos de diferentes partes do processo de produção, Figura 1. A IHM permitiu a concentração de todas as botoeiras e suas respectivas funções em um único local e de forma gráfica, geralmente contendo apenas botões, textos e números, além de gráficos bastante limitados. Dessa forma, temos o modelo mais simples, chamado de IHM substituta das botoeiras ou OIT (Operator Interface Terminal).

Dentre os benefícios deste modelo, podemos citar o baixo custo de implementação, a simplicidade de programação das IHM e uma manutenção de baixo nível de complexibilidade.



Figura 1: Painel com botoeiras e LEDs utilizado para controle de processos de manufatura
Fonte: IHM: Saiba quais os Tipos e como Selecionar - Citisystems

2.1.1.2 IHM para tratativa de dados

Existe também a IHM para a tratativa de dados, comumente utilizadas em aplicações que necessitam monitoramento constante, como por exemplo, feedbacks de desempenho da planta operada. Tais IHMs são equipadas com memórias de grande capacidade, cartões SD e

sistema operacional, normalmente Windows Embedded 7, 8 ou superior. Esta última característica tornou este tipo de IHM popularmente conhecido como IHMs Embedded.

Como este modelo pode ser completamente programável e personalizado, a Embedded possibilita inúmeras configurações de gráficos, assim como recursos touchscreen que podem ser organizados em diversas telas.

2.1.1.3 IHM para supervisão

Aplicações que envolvam um SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition), que é um sistema supervisorio de controle e aquisição de dados, necessitam de IHMs para supervisão. Tal tipo é muito semelhante a IHM do tipo citado anteriormente, a IHM Embedded, pois apresentam características muito parecidas. A diferença está no desenvolvimento da programação da IHM, além do valor de implementação. As IHMs para supervisão têm aplicação baseada em PC, normalmente desenvolvidas separadamente utilizando software com licença própria, enquanto o PC é apenas um hospedeiro que executa a aplicação, possibilitando muito mais recursos que as Embedded.

2.1.2 Histórico do Design de Interfaces Homem-Máquina

Antes do advento de sofisticados sistemas de controle digital, a IHM do operador geralmente consistia em um conceito de parede de controle. O controle dos dispositivos era feito por sistemas de componentes individuais que eram conectados via fio em painéis de controle. A Figura 2 é um exemplo do design da interface utilizada na época. Nela temos um painel de controle simples com botoeiras e *switches* equipados com indicadores luminosos.

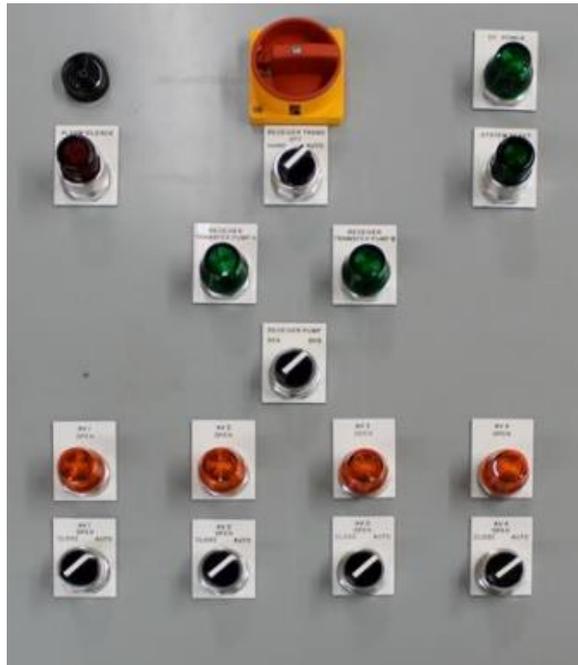


Figura 2: Painel de controle com botoeiras e *switches* equipados com indicadores luminosos
 Fonte: Hollifield, 2012

A chamada parede de controle, Figura 3, tinha a vantagem de fornecer ao operador uma visão geral de toda a operação, com muitas tendências e um número limitado de alarmes bem definidos. Um operador bem treinado tinha a capacidade de ver quase toda a operação de imediato. O reconhecimento espacial e de padrões desempenhou um papel fundamental na capacidade do operador de detectar situações anormais repentinas. (HOLLIFIELD, 2012)

Os alarmes de processo eram registrados por impressoras, sendo que cada alarme era registrado e impresso no momento em que ocorreu a irregularidade para ser analisado posteriormente por um profissional responsável. Uma outra forma de representá-los era por meio de painéis discretos, onde os alarmes eram representados por sinais luminoso, que acendia ou piscava conforme a ocorrência, Figura 4. Os botões deste painel eram utilizados para o operador reconhecer a ocorrência.

Este sistema de controle tinha diversas desvantagens, uma delas estava ligada a manutenção. Sua modificação ou adição de novos recursos era problemática, assim como a possibilidade de extrair e analisar dados, que era quase inexistente. Nos anos 80 e 90, os modernos sistemas de controle eletrônico (SCADA) os substituíram por tais razões. (HOLLIFIELD, 2012)



Figura 3: Exemplo de uma parede de controle
Fonte: Hollifield, 2012



Figura 4: Painel de alarmes
Fonte: Hollifield, 2012

Os sistemas supervisórios implementados possibilitavam a criação de displays gráficos para o controle de operação, como representação do fluxo de produção, animações de estados de funcionamento de equipamentos, alarmes gráficos e gráficos de tendência. Porém, não existia um conceito de boas práticas para o design das telas criadas, o que resultou em telas que imitassem a visão real do processo, com excesso de informação e paleta de cores limitada utilizada de forma inconsistente, Figura 5.

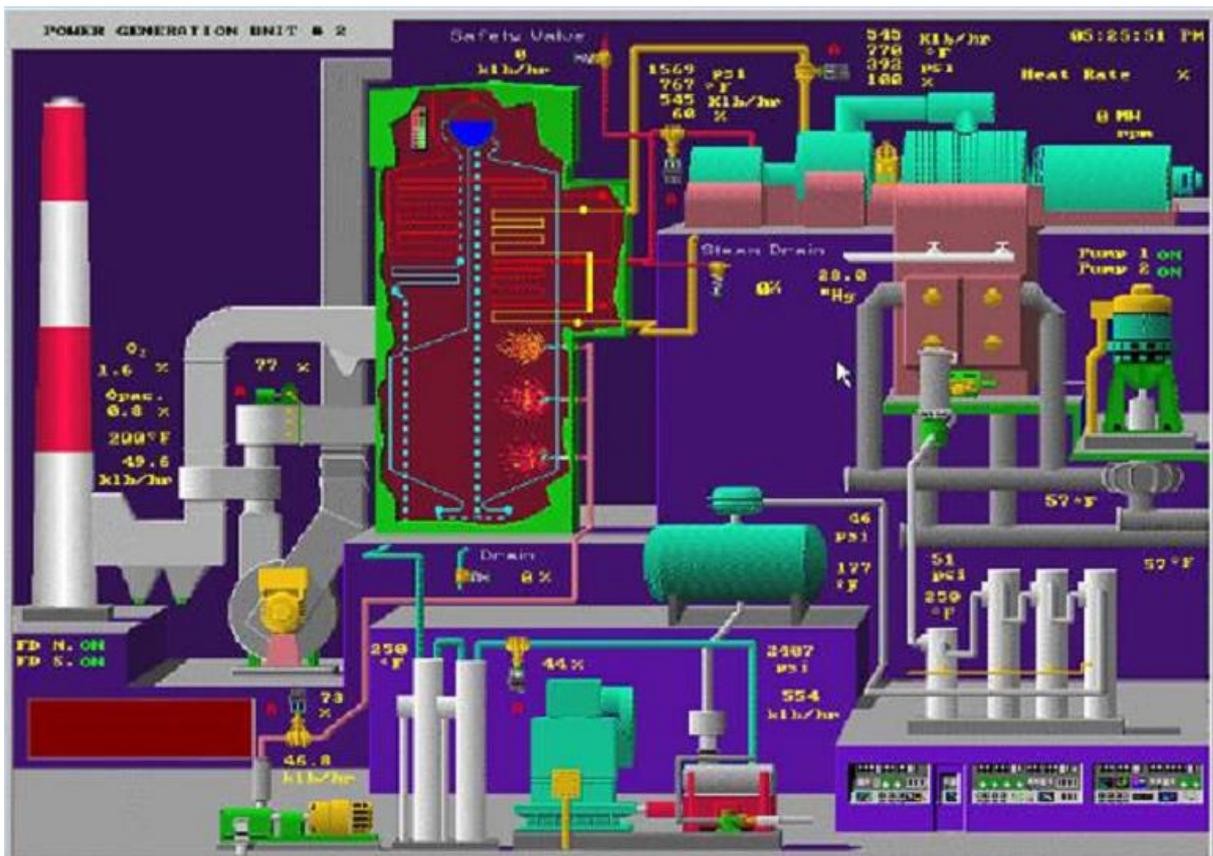


Figura 5: Exemplo de uma interface gráfica utilizada para controle operacional de um determinado processo industrial

Fonte: Hollifield, 2012.

Interfaces gráficas como as Figuras 5 e 6 foram desenvolvidas há mais de 20 anos e continuam sendo comuns em todo o setor. De fato, a inércia, não o custo, é o principal obstáculo para a melhoria das IHMs. Engenheiros e operadores se acostumam com esse estilo gráfico e são resistentes a mudanças. Como resultado, as indústrias que usam modernos sistemas de controle ainda estão executando operações multimilionárias com IHMs primitivas criadas décadas atrás, em um momento em que pouco conhecimento de práticas e princípios adequados estava disponível. (HOLLIFIELD, 2012)

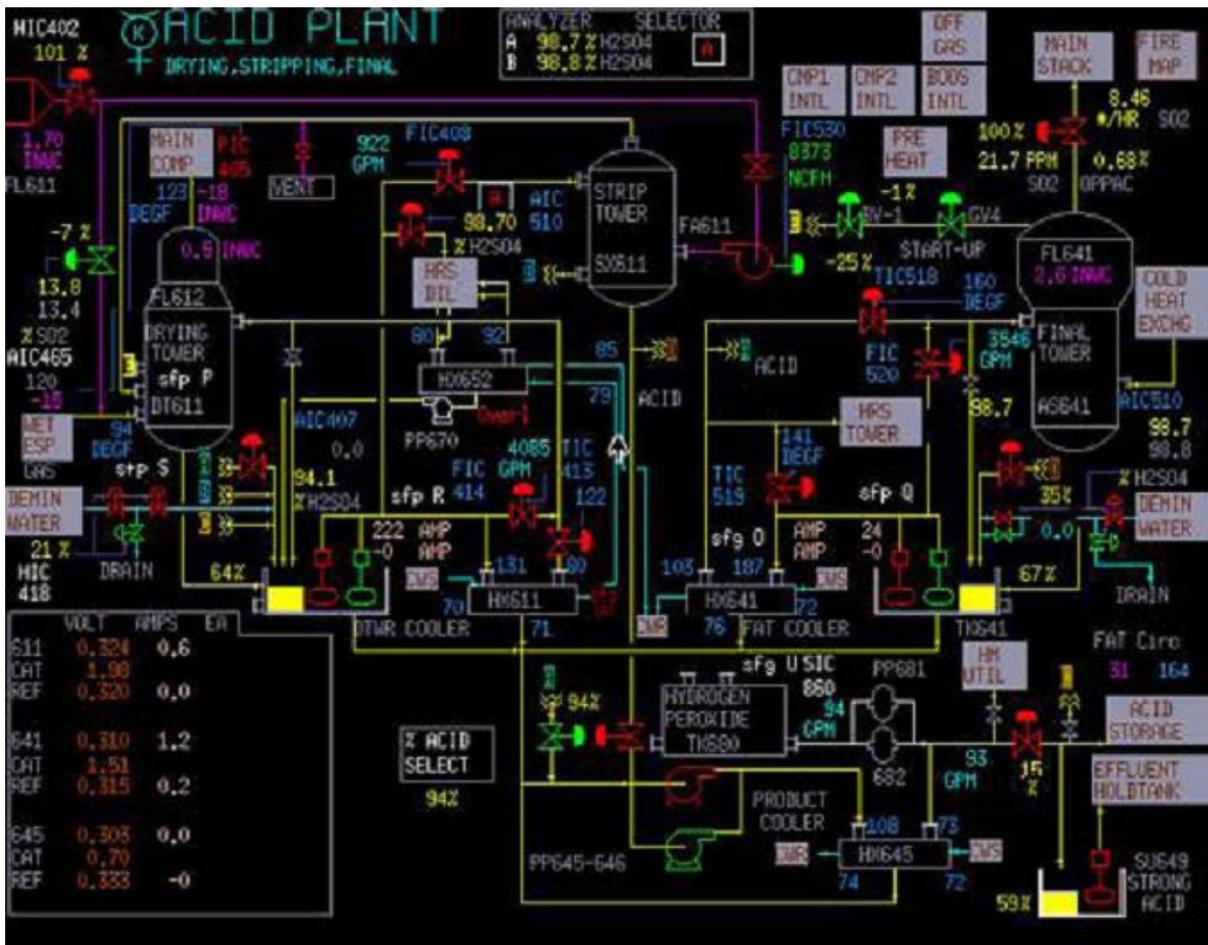


Figura 6: Exemplo de interface gráfica com excesso de informação
 Fonte: Hollifield, 2012

2.2 Acidentes ocasionados por falha no design da interface

Muitos dos acidentes industriais acontecem por falhas humanas, porém interfaces bem desenvolvidas podem auxiliar a prevenção de tragédias. Ao passo que interfaces com falhas de design podem agravar e até mesmo serem o motivo de catástrofes. A seguir serão apresentados os acidentes da Refinaria BP Texas de 2005 nos Estados Unidos e do voo da *Indian Airlines* em 1990 na Índia.

2.2.1 Acidente na Refinaria BP Texas



Figura 7: Visão dos estragos causados por explosões e incêndios na Refinaria BP Texas
Fonte: U.S. Chemical Safety and Hazard Investigation Board, 2017.

No dia 23 de março de 2005, às 13:20 (GMT -5), a Refinaria BP Texas City sofreu um dos maiores desastres industriais na história recente dos Estados Unidos. Explosões e incêndios mataram 15 pessoas e feriram outras 180, alarmaram a comunidade, e resultou em uma perda financeira que passa de 1,5 bilhões de dólares. O acidente aconteceu durante um *startup* de uma unidade de isomerização¹ (ISOM) quando uma torre divisora de refinado² transbordou; dispositivos de alívio de pressão foram abertos, resultando em um gêiser de líquido inflamável de uma pilha de purga que não estava equipada com um *flare*, que seria responsável pela combustão controlada do líquido. A liberação de inflamáveis levou a uma explosão e incêndio. Todas as fatalidades ocorreram em escritórios próximos a pilha de descarga. Uma ordem para se manter em abrigo foi emitida, exigindo que 43 mil pessoas permanecessem dentro de casa.

¹ O processo de isomerização citado consiste no processo de converter os fluxos de pentano normal e hexano normal de cadeia linear para os hidrocarbonetos isopentano e iso-hexano com maiores octanas ramificadas que são utilizados para a mistura de gasolina. (U.S. CHEMICAL SAFETY AND HAZARD INVESTIGATION BOARD, 2017)

² O divisor de refinado é uma torre de destilação que leva o refinado, uma mistura de hidrocarbonetos não aromáticos, principalmente de cadeia linear, e o separa em componentes leves e pesados. (U.S. CHEMICAL SAFETY AND HAZARD INVESTIGATION BOARD, 2017)

Casas foram danificadas a mais de 1200 quilômetros da refinaria. (U.S. CHEMICAL SAFETY AND HAZARD INVESTIGATION BOARD, 2017)

O complexo onde ocorreu o acidente é controlado e monitorado por um sistema de controle computadorizado em uma sala central de controle. O quadro de operação, instalado distante do local onde estava acontecendo o *startup*, aproximadamente 152 metros, dependia do sistema e de uma interface de controle bem desenvolvida para fornecer informações cruciais do processo para o operador trabalhando. Entretanto, no dia do acidente, a interface de controle da unidade de refinaria não fornecia na mesma tela os dados da vazão de entrada e de saída do líquido inflamável, nem o cálculo do balanço do material³, incapacitando que o operador reconhecesse a necessidade de enviar líquido refinado para locais de armazenamento. (U.S. CHEMICAL SAFETY AND HAZARD INVESTIGATION BOARD, 2017)

Para evitar a inundação da torre, o líquido refinado que entra no processo teria que ser equilibrado com os produtos que saem da unidade. A tela do sistema de controle computadorizado que fornecia a leitura da quantidade de líquido refinado que entrava na unidade estava em uma tela diferente da que mostrava a quantidade de produto refinado que estava saindo da unidade, Figura 8. Ter as duas leituras de vazão em tela separadas diminui a visibilidade e a importância de monitorar o líquido refinado que entra versus o que sai, e não conseguiu tornar óbvio ao operador o desequilíbrio entre as duas leituras de fluxo. (U.S. CHEMICAL SAFETY AND HAZARD INVESTIGATION BOARD, 2017)

³ Um cálculo do balanço de material é usado para determinar a quantidade total de líquido em uma unidade em determinado momento; tal cálculo é feito pela comparação da quantidade de material de entrada com a quantidade de produto de saída no processo, e requer conhecimento de quanto líquido o sistema precisa para manter e executar o processo sem problemas. (U.S. CHEMICAL SAFETY AND HAZARD INVESTIGATION BOARD, 2017)

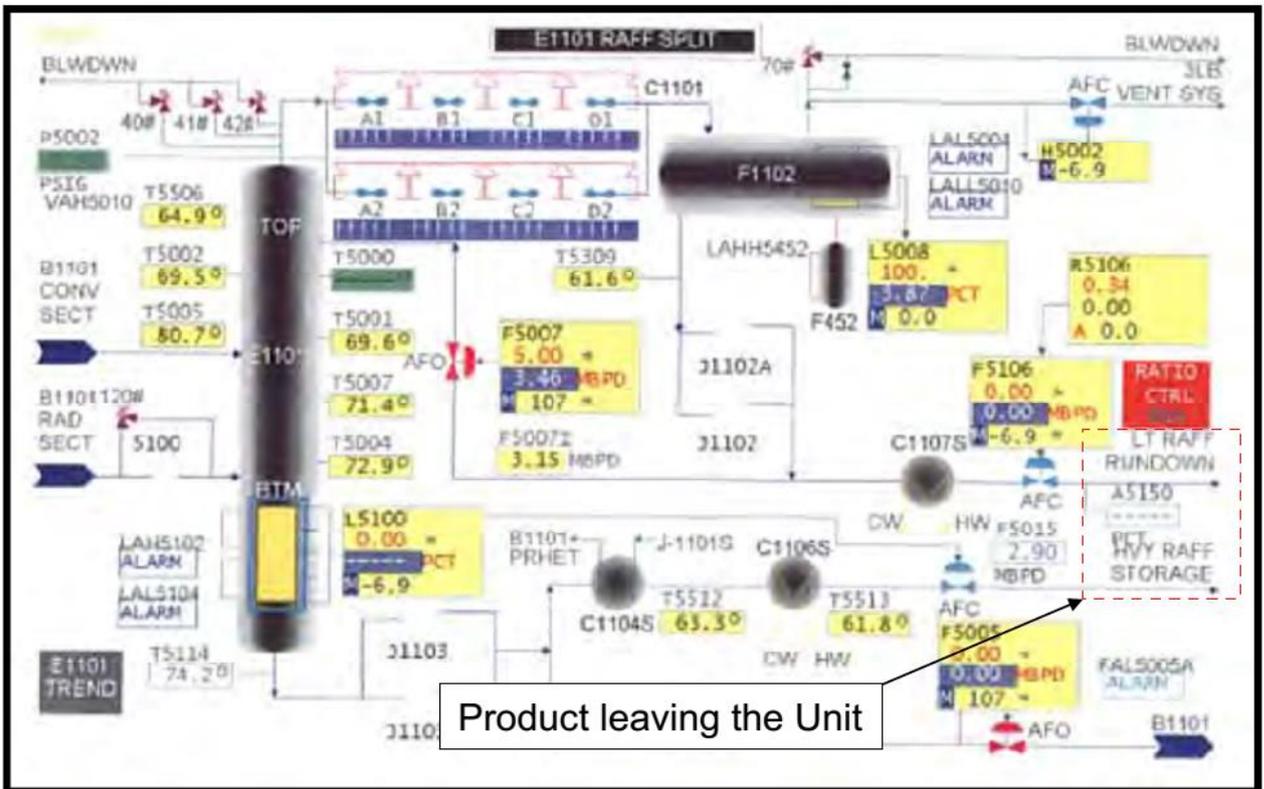


Figura 8: Tela de visualização da planta utilizada pelo operador
 Fonte: U.S. Chemical Safety and Hazard Investigation Board, 2017.

2.2.2 Acidente do voo 605 da *Indian Airlines*

O voo 605 da *Indian Airlines* foi um voo doméstico na Índia que fazia a rota de Mumbai para Bangalore. Em 14 de fevereiro de 1990, um Airbus A320-231, registrado como VT-EPN, caiu em um campo de golfe enquanto tentava pousar em Bangalore, matando 92 de 146 pessoas.

De acordo com o relatório publicado pela equipe de investigação indiana, a causa provável do acidente foi a falha da tripulação em acionar os aceleradores mesmo após as chamadas de rádio de altitude de "Quatrocentos", "Trezentos" e "Duzentos" pés. O relatório afirmava que a tripulação do voo 605 não estava ciente da situação e do perigo que estavam enfrentando na ocasião, provocando uma reação tardia durante a descida.

Após o acidente, o comitê de investigação da Índia emitiu 62 recomendações para a DGCA da Índia (Diretor Geral de Aviação Civil), como a formação de vários comitês de investigação especializados em várias questões operacionais da aviação. Incluído na recomendação estava a adição de uma sirene de choque em Bangalore, avaliação da porta de evacuação, *slides* em *Airbuses*, e mudança de design no indicador de velocidade do avião, Figura 9.

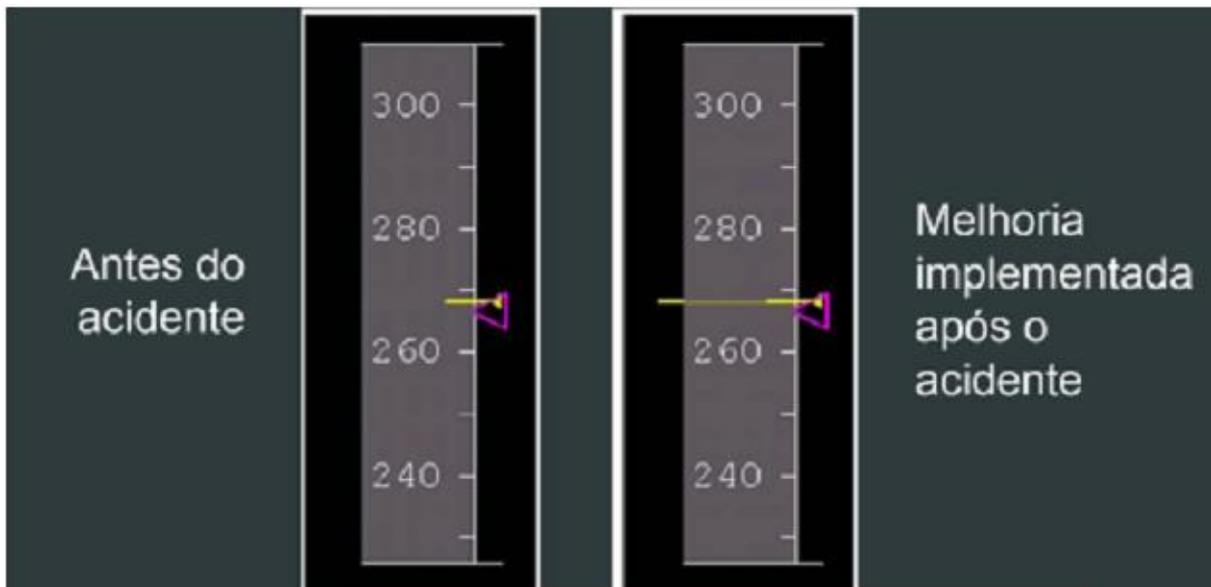


Figura 9: Mudança implementada no indicador de velocidade da aeronave
Fonte: Goetz, 2017.

O acidente provocou críticas entre a *Indian Pilot Association*, que alegou que o *Airbus A320* tinha falhas graves. Eles alegaram que os sistemas da aeronave eram muito confusos e que a tripulação do voo 605 estava lutando para evitar o acidente.

Como podemos observar com os relatos, nos dois acidentes os operários e a tripulação não foram capazes de avaliar a situação real a tempo de tomar as devidas atitudes para prevenir as tragédias. Estes casos, são exemplos de interfaces ineficientes que afetam diretamente na chamada *Situation Awareness*, ou Consciência Situacional dos usuários.

2.3 ISA 101

A ISA (*International Society of Automation*) é uma associação profissional sem fins lucrativos que define o padrão para quem aplica engenharia e tecnologia para melhorar o gerenciamento, a segurança e a segurança cibernética de sistemas modernos de automação e controle usados em toda a indústria e infraestrutura crítica. Fundada em 1945, a ISA desenvolve padrões globais amplamente utilizados; certifica profissionais do setor; fornece educação e treinamento; publica livros e artigos técnicos; hospeda conferências e exposições; e fornece programas de networking e desenvolvimento de carreira para seus 40.000 membros e 400.000 clientes em todo o mundo. (ISA, 2018)

A ISA 101 é uma norma, em fase de revisão, que visa direcionar o design, implementação e manutenção de interfaces homem-máquina para processos de sistemas

automatizados, resultando em IHMs mais seguras, eficazes e que proporcionam um controle mais eficiente de processos, tanto em situações normais quanto anormais. Além de aprimorar a habilidade dos usuários de detectar, diagnosticar e agir de forma apropriada a situações incomuns. (FITZPATRICK, 2012)

As práticas sugeridas nesta norma são aplicáveis a processos contínuos, em lote, discretos ou qualquer processo que use uma IHM como interface de controle de um sistema. Tem como público alvo usuários responsáveis pela operação segura e produtiva de equipamentos e instalações; integradores, designers e engenheiros responsáveis pelo desenvolvimento de aplicações para IHMs; e vendedores, responsáveis pelo desenvolvimento de ferramentas de software necessárias para a concepção de aplicações para IHMs, assim como os desenvolvedores de interfaces e drivers necessários para uma IHM transferir dados e informações de e para múltiplas fontes. (FITZPATRICK, 2012)

2.3.1 Ciclo de vida de uma IHM

A ISA 101 propõe um “ciclo de vida” para as IHMs, Figura 7, de forma a estabelecer diretrizes que buscam padronizar as interfaces ao mesmo tempo em que as tornam mais eficientes, intuitivas e de fácil compreensão.

4.3.1.1 Padrões do Sistema (System Standards)

Segundo o comitê da ISA 101, o ciclo se inicia com a definição dos padrões do sistema, que estabelece a filosofia (*Philosophy*), o estilo (*Style Guide*) e o conjunto de ferramentas para a implementação (*Toolkits*) da interface homem-máquina.

O comitê da ISA 101 sugere que a filosofia de uma IHM consista em um documento que forneça princípios orientadores e fundamentos conceituais para o design de uma interface homem-máquina coerente e otimizada para a operação, incluindo detalhes de como a IHM é projetada, seu funcionamento, aplicabilidade e como é utilizada, enfatizando ergonomia e desempenho. Deve ser um documento estratégico alinhado com os fatores humanos, tarefas e necessidades específicas da atividade operacional em questão, estabelecendo padrões de design e boas práticas para o desenvolvimento e manutenção da interface. Além disso, a filosofia da IHM também deve fornecer uma base de conceitos para que novos desenvolvedores e usuários

possam identificar particularidades do processo, boas práticas operacionais e suas justificativas de forma fácil e intuitiva.

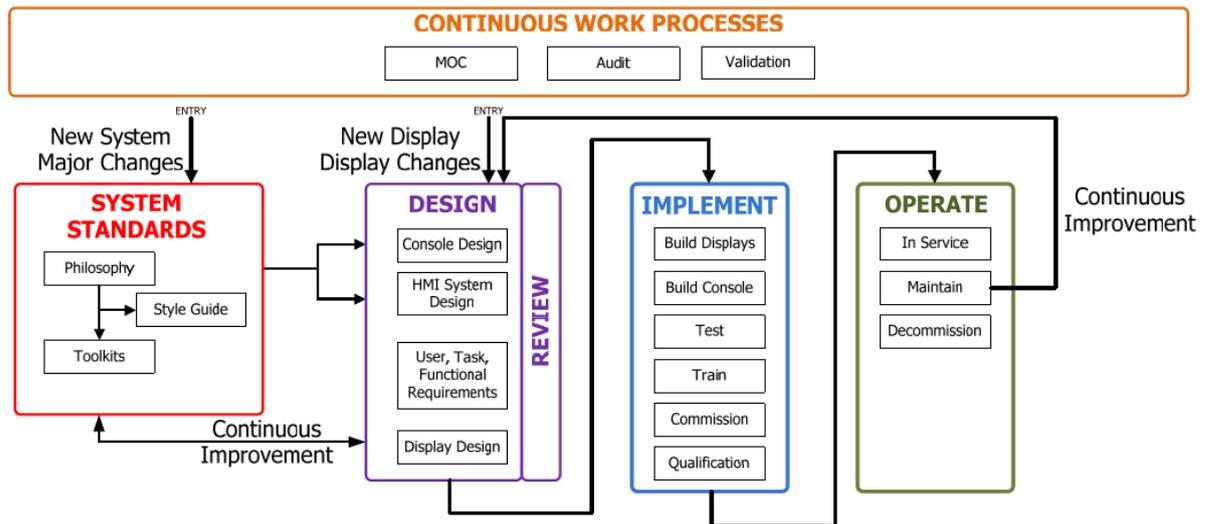


Figura 10: Ciclo de vida de IHMs na ISA 101
Fonte: ISA 101, 2015.

Já o guia de estilo da IHM (Style Guide), segundo o comitê da ISA 101, deve ser um documento que aplica os princípios e conceitos orientadores no documento de filosofia da IHM, para fornecer exemplos e orientações de implementação, estabelecendo diretrizes do design e construção de telas da interface. Enquanto que os Toolkits consistem no conjunto de ferramentas de design ou biblioteca gráfica a serem utilizados no desenvolvimento da IHM, como a simbologia de equipamentos, modelos de telas, janelas pop-up e displays gráficos estáticos e dinâmicos.

2.3.1.2 Design

A próxima etapa do ciclo de vida de uma IHM proposta pelo comitê da ISA 101 é o Design, que compreende no modelo do console utilizado (Console Design), design do sistema da IHM (HMI System Design), necessidades de usuários, atividades e funcionalidade (User, Task and Functional Requirements) e finalmente o design do display (*Display Design*). Esta etapa é influenciada diretamente pela etapa anterior do ciclo de vida da IHM, especialmente na fase de criação da aplicação em termos de design, uma vez que este considera os conceitos e direcionamentos da filosofia, guia de design e *toolkits* para o desenvolvimento das telas da interface, além de consultá-las regularmente para realização contínua de melhorias.

De acordo com o comitê da ISA 101, o design do console se refere as especificações de hardware e software que serão utilizados para a aplicação de interfaceamento entre o homem e a máquina, como por exemplo, o tamanho do display da interface a ser utilizada e software de desenvolvimento da aplicação. Ao passo que o design do sistema da IHM corresponde a definição do sistema operacional, contas de usuários para acesso a interface, *toolkits*, configurações de rede, entre outros. Uma vez definido as funções básicas e necessidades de cada tipo de usuário, o próximo passo é a identificação, revisão e otimização das atividades a serem desempenhadas. E por último, a definição do design do display, que consiste na identificação de um modelo conceitual de telas e hierarquia de navegação na interface.

2.3.1.3 Implementar (*Implement*)

A etapa de Implementação do ciclo de vida de uma IHM proposta pelo comitê da ISA 101, consiste na construção dos displays (*Build Displays*), fase onde será realizada a concepção completa das telas e itens de apoio da IHM; seguida pela construção do console (*Build Console*), que realizará a montagem do hardware e software definido para a interface homem-máquina; a fase de testes (*Test*), onde serão feitas análises entre a aplicação desenvolvida e a IHM, levando em conta as necessidades dos usuários, atividades, funcionalidade e padrões de performance do design instituído; a fase de treinamento (*Train*), onde os usuários serão treinados em como operar o console e seus displays seguindo os documentos de filosofia, guia de estilo e design dos displays definidos previamente; sucedido pela etapa de comissionamento (*Commission*), onde será realizado um teste final da IHM em seu ambiente de operação; e finalmente a realização da qualificação (*Qualification*), que atestará se a IHM está pronta para operar, tomando como base um plano de qualificação idealizado pelos desenvolvedores da aplicação e os documentos de comissionamento da interface.

2.3.1.3 Operar (*Operate*)

A última etapa do ciclo de vida de uma IHM proposto pelo comitê da ISA 101 é o de operar. Esta etapa é dividida em três passos: a IHM funcionando em serviço do operador (*In Service*), manutenção (*Maintain*) e desativação (*Decommission*).

Após o comissionamento e aprovação da qualificação da IHM, o primeiro passo da etapa de operar é implementar a IHM no local onde será utilizada e deixa-la a serviço do operador,

juntamente com um manual para o usuário e disponibilização de suporte técnico. Nesta etapa também se encontra o processo de manutenção da IHM, em que se deve garantir uma interface válida e que esteja refletindo de forma apropriada e atualizada as condições de processo. Dessa forma, o processo de manutenção da interface nos remete a etapa de Design no ciclo de vida da IHM, uma vez necessária a alteração das telas implementadas. As alterações feitas devem ser previamente aprovadas pela gestão de mudanças, visando corrigir erros, acrescentar melhorias ou atualizações que reflitam mudanças no processo. E por último, a desativação da IHM, caso solicitado. Neste passo a IHM é retirada de serviço e armazenada até ter os registros obtidos durante seu período de serviço arquivados. (ISA 101, 2015)

2.3.1.4 Processos Contínuos (*Continuous Work Processes*)

Segundo o comitê da ISA 101, o ciclo de vida de uma IHM necessita de um trabalho contínuo de gestão de mudanças (*Management of Change (MOC)*), para assegurar que todos os possíveis impactos causados pela mudança proposta foram considerados e evitados; auditorias (*Audit*), para verificar que a IHM está sendo gerenciada de forma apropriada, seguindo os documentos de filosofia, guia de estilo e outros relacionados; e validações do sistema (*Validation*), que verifica se o sistema está de acordo com as necessidades dos usuários, atividades e funcionalidades.

2.3.2 Ergonomia

Segundo a *International Ergonomics Association*, ergonomia ou fatores humanos, é a disciplina que estuda a relação das interações entre seres humanos e elementos de um sistema, a fim de contribuir no desenvolvimento e avaliação de tarefas, trabalho, produtos, ambientes e sistemas mais compatíveis com as necessidades, habilidades e limitações das pessoas. (IEA, 2018)

A ISA 101 pontua a ergonomia como fator importante para o desenvolvimento de interfaces homem-máquina de alta performance. Segundo o comitê da ISA 101, a ergonomia abrange o modelo de interação entre operador e processo, assim como os limites sensoriais e cognitivos do usuário. (ISA 101, 2015)

2.3.2.1 Modelo de interação entre operador e processo

Segundo a ISA 101, o desenvolvimento da aplicação de uma IHM deve ser feito de forma que a operação da interface fique intuitiva para o operador, tornando clara para o usuário a relação entre cada tela desenvolvida e sua funcionalidade. A fim de alcançar tal objetivo, o comitê da ISA 101 sugere uma série de normas para o desenvolvimento das telas de uma IHM, como exibir apenas informações ou opções de controle necessárias; apresentar informações em formas e formatos coerentes com o objetivo do usuário; disponibilizar de prontidão para o usuário itens que exijam ações de controle de maior ocorrência, ao passo que itens relacionados a ações não rotineiras possam estar alocados em telas diferentes.

Já por parte do operador, a ISA 101 destaca a importância de considerar a chamada *Situation Awareness*, que representa a relação entre a compreensão do operador das condições da planta industrial e a real condição da planta industrial em determinado momento. O comitê da ISA 101 destaca alguns fatores que prejudicam a consciência da real situação por parte do operador, e que devem ser consideradas no desenvolvimento de IHMs, como:

- *Attention tunneling*⁴;
- Problemas de memória de curto prazo;
- Sobrecarga de trabalho, ansiedade, fadiga e outros fatores estressantes;
- Excesso de informação;
- Excesso de recursos.

2.3.2.2 Limites Sensoriais do Usuário

Segundo o comitê da ISA 101, os limites sensoriais do usuário também devem ser considerados para o desenvolvimento de uma interface homem-máquina de alta performance.

Os sentidos humanos estimulados por uma IHM são, basicamente, visão e audição. Em relação ao primeiro, o comitê da ISA 101 destaca a importância da iluminação do local de operação e luminosidades da tela de uma IHM, chamando a atenção para a fadiga visual causada pelo excesso ou insuficiência de luz no ambiente. Assim como o cansaço e desorientação causados pelo excesso de cores e informações exibidas nas telas de uma IHM.

⁴ Consiste no direcionamento da atenção em um canal específico de informação, hipótese de diagnóstico ou objetivo da tarefa, por um período maior que o ideal, negligenciando eventos de outros canais, deixando de considerar outras hipóteses ou deixando de realizar outras tarefas. (WICKENS; ALEXANDER, 2009)

Quanto a audição, o comitê reforça a necessidade de avaliar a capacidade auditiva dos usuários e o nível de ruídos no local de trabalho, pois em alguns casos a capacidade auditiva de um operador pode ser prejudicada devido ao excesso de ruídos provindos dos processos de produção, reduzindo a eficiência de sinais sonoros emitidos por uma IHM.

2.3.2.3 Limites Cognitivos do Usuário

Os limites cognitivos de um usuário citados pelo comitê da ISA 101 fazem referência ao nível máximo de recursos psicológicos que um usuário é capaz de utilizar ao operar uma IHM, como percepção, memória e capacidade de resolução de problemas.

Uma vez que o operador necessita de suas habilidades cognitivas em pleno estado de funcionamento e o excesso de carga de trabalho, incompatibilidade nas atividades executadas e estresse prejudicam seus limites cognitivos, o comitê da ISA 101 propõem questões que devem ser consideradas ao desenvolver uma IHM. Entre elas, temos:

- As informações exibidas para o operador devem possuir um formato que permita o mesmo fazer uso imediato dos dados, sem a necessidade de cálculos ou análises subsequentes;
- Os desenvolvedores não devem contar com a capacidade do usuário de relembrar códigos ou comandos complexos ao desenvolver uma IHM;
- Utilizar de design simples, focado em funcionalidade e nas exigências das atividades operacionais;
- Para itens que são necessários apenas em situações intermitentes, possibilitar acesso fácil, porém não os incluir na tela principal de operação.

2.3.3 Paleta de Cores

Ao contrário do que muitos pensam, as cores são muito mais do que apenas ferramentas estéticas. Existem inúmeros estudos que apontam que as cores vão além da nossa visão superficial, elas são capazes de influenciar o comportamento e a tomada de decisão dos seres humanos. E com o objetivo de otimizar a utilização de cores em interfaces homem-máquinas, o comitê da ISA 101 elaborou uma série de normas tratando a questão. Entre elas, podemos citar:

- As cores escolhidas para utilização no design de uma IHM devem ser facilmente distinguíveis umas das outras;
- Cores utilizadas para representar alarmes devem ser reservadas apenas para a manifestação da ocorrência de alarmes, a fim de fortalecer seu significado cognitivo e diminuir o tempo de resposta de um usuário perante situações de alarme;
- A intensidade das cores utilizadas nas telas de uma IHM deve refletir a importância das informações apresentadas;
- Como regra geral, cores devem ser utilizadas para enfatizar informações importantes, tais como alarmes ou condições anormais;
- Cores devem ser utilizadas de forma cuidadosa e consistente;
- As cores podem ser utilizadas para enfatizar e esclarecer, porém o significado de uma ocorrência não deve se apoiar somente na cor utilizada;
- Cores gradientes não devem ser utilizadas para representar elementos estáticos ou não dinâmicos, porém podem ser utilizadas para destacar um elemento dinâmico na tela;
- Deficiências na percepção e combinação de cores, como os diferentes tipos de daltonismo, devem ser considerados durante o desenvolvimento de uma IHM.

A Tabela 1, é um exemplo de paleta de cores para serem usadas em uma IHM de alta performance que segue as regras citadas acima.

Color	RGB Values	Sample	Defined Uses
Gray	213, 213, 213		Overall graphic background
White	255, 255, 255		Highlighting of some small items, e.g., PV Quality indications
Light Gray	243, 243, 243		"ON" indication for equipment
Gray	136, 136, 136		"OFF" indication for equipment
Dark Gray	74, 74, 74		Some text, minor process lines
Black	0, 0, 0		Text and labels, major process lines, process vessel outlines. Dark Gray (64, 64, 64) can also be a good choice.
Dark Blue	0, 0, 215		Process values, controller modes and outputs, similar special purposes. Trend line for a single trended value.
Dark Green	0, 128, 0		Controller setpoints and other operator inputs, trend trace of setpoints
Light Green	153, 255, 102		Possible "faint green" for some specific highlighting
Light Blue	187, 224, 227		Desired operating ranges or conditions
Cyan	0, 255, 255		Vessel level strips, trend lines
Brown	204, 102, 0		Trend lines, position feedback indication
Pale Red (Pink)	255, 153, 204		Possible "faint red" for some specific indications
Red	255, 0, 0		Top level, Priority one alarm
Yellow	255, 255, 0		Priority two alarm
Orange	255, 102, 0		Priority three alarm
Magenta	255, 0, 255		Priority four alarm for diagnostics
Dark Magenta	204, 0, 102		Trend lines

Tabela 1: Exemplo de paleta de cores de uma IHM de alta performance
Fonte: Hollifield, 2012

2.3.4 Hierarquia entre telas

O comitê da ISA 101 recomenda, para a maioria dos casos, uma hierarquia de quatro níveis entre as telas de uma IHM, visando preservar o operador de informações desnecessárias para a operação eficiente e eficaz do processo produtivo.

Cada nível hierárquico é definido de acordo com o tipo e conteúdo de informação exibido na tela. A quantidade de detalhe e foco aumenta sobre determinado conteúdo à medida que aumenta o nível hierárquico da tela, ou seja, em uma tela de nível 1 será exibido informações de um escopo mais abrangente, ao passo que telas de nível 4 possuem um escopo mais focado e detalhado. Assim, temos:

- Nível 1 – Overview: Visão geral da operação, Figura 11. O operador tem uma visão completa de toda a extensão de controle da planta em apenas uma tela. Disponibiliza indicadores estratégicos, objetivos e de fácil entendimento que possibilitam o acompanhamento da performance atual da operação.

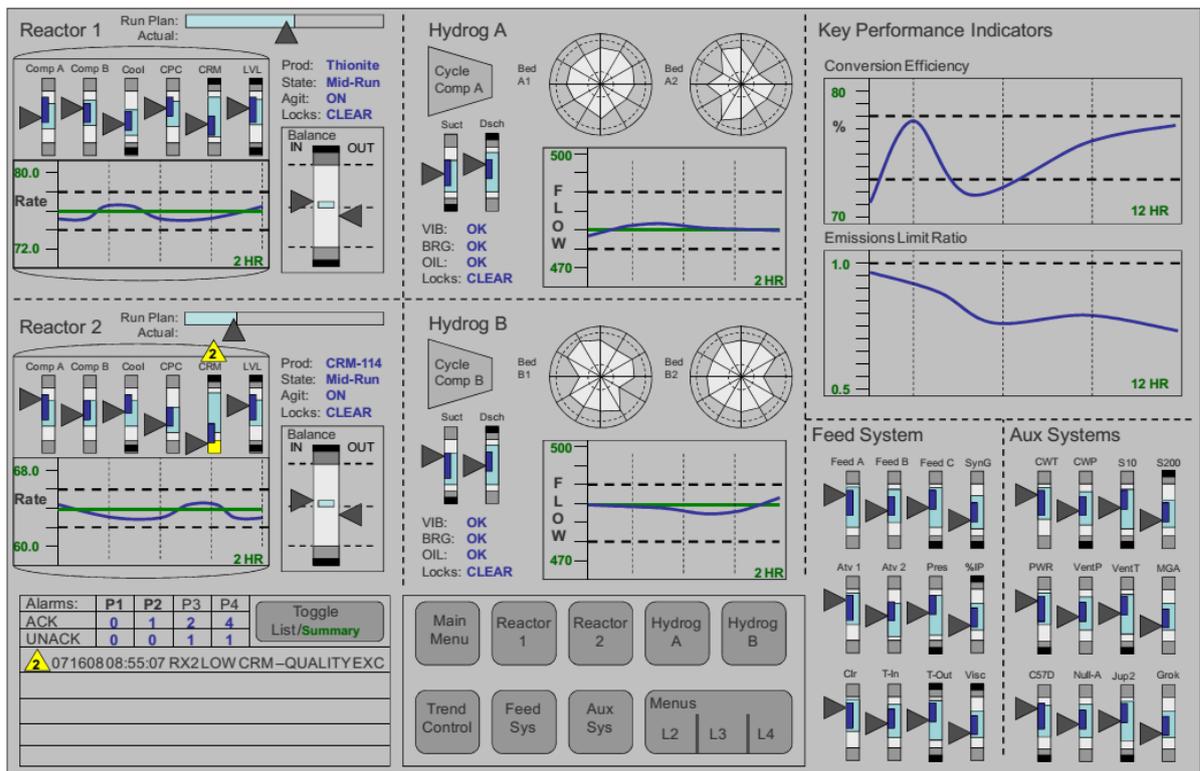


Figura 11: Exemplo de uma tela de nível 1

Fonte: Hollifield, 2012

- Nível 2 – Visão geral de um subprocesso: nesta tela são exibidos mais detalhes do que em telas de nível 1, porém de uma parte menor da operação. É desenvolvida com o objetivo de conter todas as informações e controles necessários para performar a maioria das atividades de operação associadas a uma subseção, Figura 12.

Desta forma, é feito o controle da densidade de informação exibida para o operador sem priva-lo de informações mais detalhadas sobre determinado elemento presente na IHM.

- Nível 3 – Detalhes de uma unidade: Telas de nível 3 contam com detalhes de um único equipamento, exibindo informações sobre os instrumentos, status de intertravamentos e outros detalhes. Estas telas são utilizadas para fornecer um diagnóstico detalhado de problemas com o equipamento em questão.

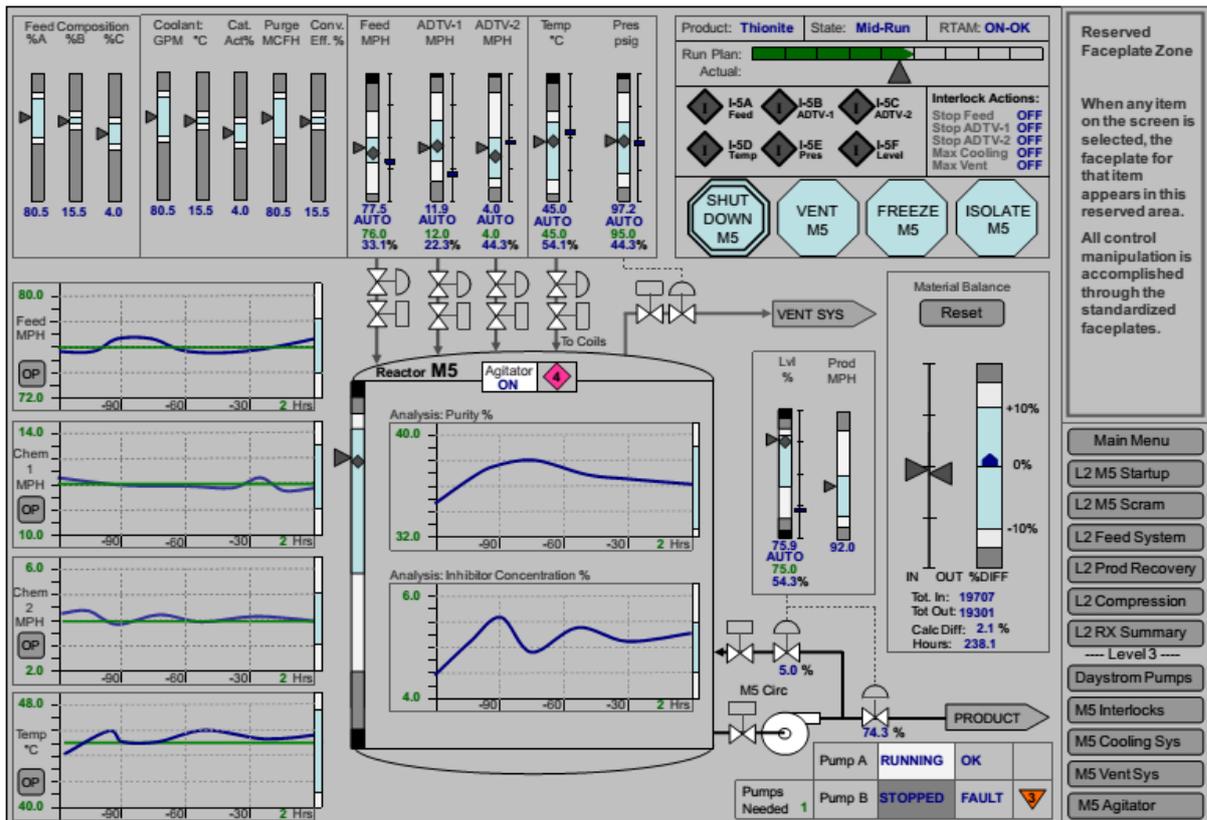


Figura 12: Exemplo de uma tela nível 2 de operações de um reator
 Fonte: Hollifield, 2012

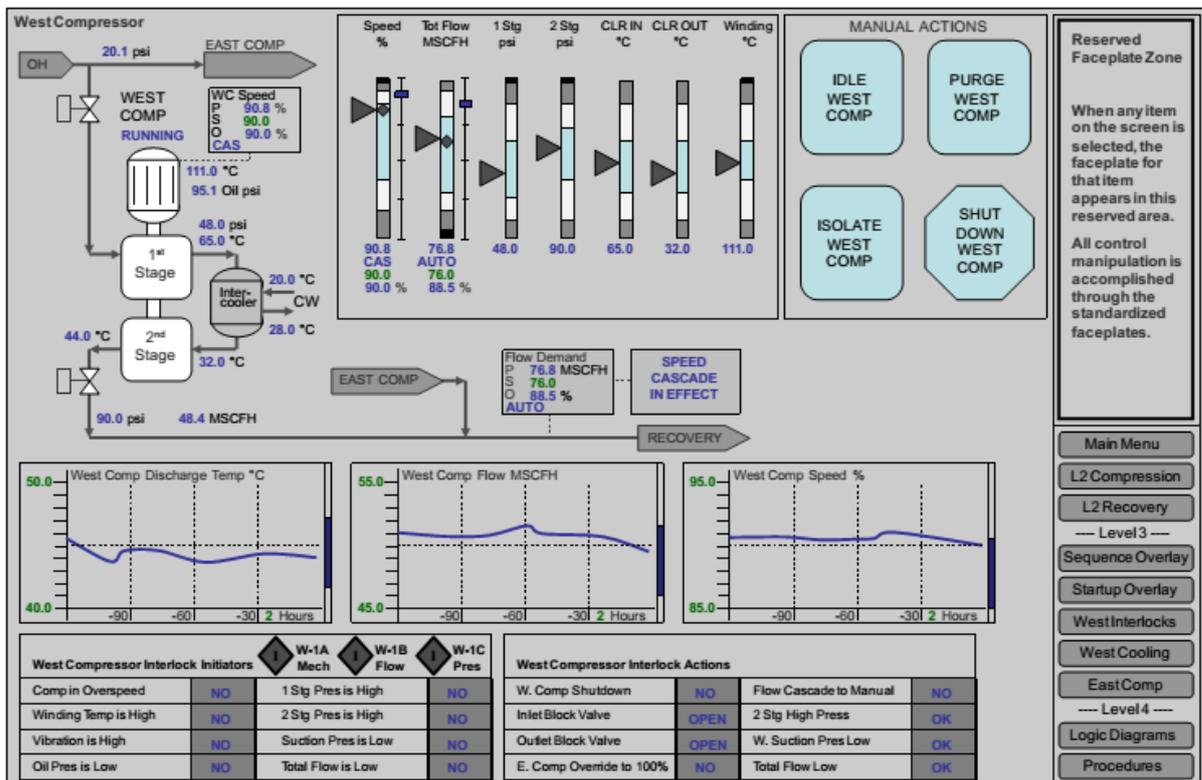


Figura 13: Exemplo de uma tela nível 3
 Fonte: Hollifield, 2012

- Nível 4 – Telas de suporte e diagnóstico: Telas de nível 4 fornecem a maior quantidade de detalhes de um equipamento, subsistema, componente ou sensor. Exibem diagnósticos ou informações diversas com a maior quantidade de detalhes possível. Telas de nível 3 e 4 são difíceis de distinguir em alguns casos.

2.4 Aspersão em Vagões

Diversos processos industriais geram poeira ou pó, pequenas partículas que se desprendem de um material sólido, com estruturas e composições variadas, e são lançadas a atmosfera de forma direta, quando matérias-primas, produtos intermediários ou produto final deve ser transformado em sólidos de pequena granulometria, ou seja, diâmetro reduzido, como pó, grãos e formatos semelhantes; ou indiretamente, pela movimentação desses materiais entre diferentes etapas de produção ou transporte do produto ao consumidor.

O pó gerado deve ser impedido de chegar a atmosfera não somente para evitar a contaminação do ambiente pela poeira, mas também para evitar perdas ao longo do processo de produção e maximizar a eficiência do processo produtivo.

O sistema de aspersão em vagões, Figura 14, consiste no processo de aspergir uma mistura de água e polímero sobre os vagões carregados com o objetivo de diminuir a perda de materiais finos durante o transporte ferroviário, além de reduzir a emissão de materiais particulados ao longo da ferrovia.

O sistema referenciado nesse texto é um sistema automatizado, controlado por sensores que determinam a quantidade de mistura a ser aspergida sobre o minério de ferro carregado pelos vagões, ou seja, controla o tempo de aspersão e o fluxo de mistura aspergida, funcionando para diferentes velocidades de composição (conjunto de locomotiva e vagões), e ainda podendo ser ajustada a concentração de polímero na mistura de acordo com a necessidade.



Figura 14: Sistema automático de aspersão em vagões carregados de minério
Fonte: <http://controlarsistemas.com/aspersao-em-vagoes-de-minerio>

3 DESENVOLVIMENTO

Com base nos estudos científicos realizados nos capítulos anteriores, foi realizado o projeto de uma nova interface homem-máquina para a supervisão e controle do processo de aspersão em vagões carregados de minério de ferro de uma mineradora no estado de Minas Gerais.

3.1 Interface Original

A planta de aspersão no embarcadouro de minério era controlada utilizando uma tela do sistema SCADA adotado pela empresa, como mostra a Figura 15. Como podemos observar, a filosofia adotada para o desenvolvimento desta interface de controle não considerou em seu design conceitos de ergonomia, como limites sensoriais e cognitivos do usuário, julgando inicialmente apenas a representação de equipamentos e a utilização indiscriminada de cores; tão pouco a hierarquia entre os dados exibidos na tela, focando em uma visão geral do processo sem fornecer dados contextualizados para facilitar eventuais diagnósticos; assim como a exibição de dados que da forma apresentada, não são pertinentes para a operação da planta pelo usuário, como a exibição dos totalizadores de consumo de água e polímero sem discriminação do período de medição ou fornecimento do histórico da medição.

3.2 Materiais

O terminal escolhido para receber a interface desenvolvida é uma Allen-Bradley PanelView Plus 1000 da Rockwell Automation. Esta escolha foi feita devido a compatibilidade do dispositivo com os controladores lógicos utilizados na área, também do fabricante Rockwell Automation, além de suas características como interface gráfica colorida de 10,4 polegadas, resolução 640x480, operação via teclado e/ou toque sensível na tela, porta de comunicação RS-232 e Ethernet, além dos módulos opcionais de comunicação e 2 portas USB.

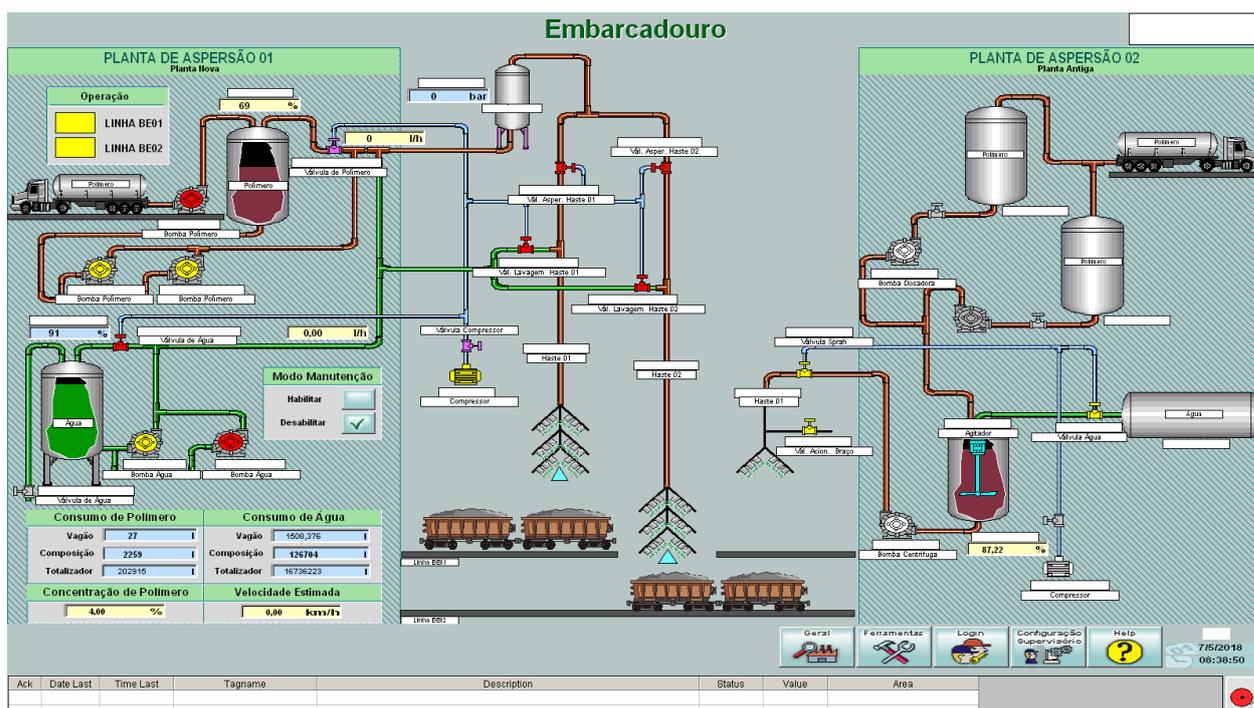


Figura 15: Interface utilizada para monitoramento e operação da planta de aspersão no embarcadoro de minério
Fonte: Mineradora do Estado de Minas Gerais, 2018

Para o desenvolvimento e simulação da interface foi utilizado o *software* FactoryTalk View Studio na versão 7.0 da Rockwell Automation instalado em um computador com sistema operacional Windows 7 Professional Edition. A motivação para a utilização deste software foi o fato de os terminais PanelView Plus já virem pré-instalados com a versão de execução do *software* FactoryTalk View Machine Edition, facilitando a comunicação entre a aplicação e hardware, além de algumas características do *software*, como pesquisa e substituição de código de identificação e texto em várias telas e objetos globais, permitir acesso às informações do terminal em tempo de execução, possibilitar registro de dados para análise de tendências, entre outros.

3.3 Padrões do Sistema

Seguindo o ciclo de vida de uma IHM sugerido pelo comitê da ISA 101, foi feita a definição da Filosofia, Guia de Estilo e *Toolkits* da interface homem-máquina desenvolvida.

3.3.1 Filosofia

A IHM será utilizada para monitoramento e operação contínua da aspersão no embarcadouro de minério, portanto, o design das telas deve levar em consideração a eficiência das cores e simbologia utilizada para representação de animações e equipamentos, devendo optar por cores que prendam a atenção do usuário ao mesmo tempo que poupem a visão do operador devido a exposição contínua a tela, reservando cores fortes e vibrantes para situações que exijam ação imediata do operador.

As variáveis analógicas exibidas pela interface devem ser contextualizadas de alguma forma para o usuário, a fim de possibilitar a identificação de situações anormais ou de risco de forma fácil e rápida mesmo por novos operadores com pouca familiarização com o funcionamento da planta em questão.

Como boas práticas, deve-se manter o mesmo tamanho e localização dos botões para navegação entre as telas na interface, com o objetivo de tornar intuitivo o modo de transição entre telas pelo operador. Deve-se também, manter mínimo o número de ações necessárias por parte do operador para que este tenha acesso a informação desejada, ou seja, manter menor possível o número de transições de tela na aplicação. Outra boa prática que deve ser seguida é buscar manter sempre o mesmo padrão para fonte e cor dos textos exibidos na interface, diferenciando tamanho e tom das cores de acordo com o nível de importância da informação exibida para a operação da planta, mantendo a ideia de que quanto maior o destaque do texto em relação ao fundo, maior o nível de importância dos dados em questão.

As telas desenvolvidas para a interface devem obedecer a uma hierarquia, havendo a necessidade de existir uma tela com uma visão geral do processo, que possibilite a operação por parte do usuário (não somente monitoramento), e outras telas focadas em subpartes do processo, como telas focadas no rendimento, produção e diagnóstico das atividades executadas na planta em questão.

Como medida de segurança, a aplicação deve conter uma lista de usuários, com identificação de usuário e senha, que faça o controle do acesso ao monitoramento, comandos e ajustes da planta, variando o nível de acesso entre os usuários conforme a necessidade. Dessa forma, a aplicação prevê um nível de treinamento, experiência ou autoridade para a tomada de decisão de ações críticas.

Por fim, em situações de manutenção ou alteração da interface gráfica uma vez implementada, o executante da mudança deve seguir as orientações e conceitos previamente

citados e em caso de mudanças significativas no design da interface, o mesmo deve notificar e treinar, ou solicitar o treinamento, dos operadores da interface em questão para as alterações realizadas na aplicação.

3.3.2 Guia de Estilo e *Toolkits*

Aplicando os princípios e conceitos orientadores propostos pela Filosofia da interface no desenvolvimento dos displays, todas as telas devem utilizar o mesmo padrão de cores para cor de fundo e texto, assim como um tamanho padrão definido para os indicadores de variáveis analógicas e buscar manter um alinhamento entre os equipamentos e dados apresentadas nas telas, de forma a proporcionar uma exibição agradável das informações para o usuário da interface.

As janelas de operação dos equipamentos devem seguir uma ordem simples e clara de exibição dos dados do equipamento em questão, buscando manter o mesmo padrão de tamanho para os textos auxiliares, assim como cor e posicionamento, além de estar em harmonia com a organização dos botões de comando, que por sua vez devem ser concentrados em uma mesma região da janela de operação a fim de tornar clara e intuitiva a operação da planta em questão.

Em relação aos *Toolkits*, ou a biblioteca gráfica adotada para o desenvolvimento da IHM, deverão ser utilizados opções de representação gráfica 2D, ou seja, que constituem apenas de largura e comprimento, visando uma representação simplificada dos equipamentos e instrumentos presentes fisicamente na planta a ser operada.

As telas desenvolvidas devem seguir uma estrutura básica, envolvendo a cor de fundo, posicionamento dos botões de transição entre telas e do texto de identificação do display, com o objetivo de tornar fácil, rápida e intuitiva a identificação por parte do usuário das áreas sendo monitoradas e comandadas, diminuindo o risco de operações equivocadas pela a identificação incorreta da área em questão.

Outro padrão gráfico a ser seguido é referente ao tamanho das telas de operação. Tais telas devem ser apresentadas como janelas pop-up, que não ocupem a totalidade do display, permitindo que o usuário ainda possa acompanhar parte do funcionamento da área em questão.

3.4 Design

A planta em questão é controlada e automatizada utilizando equipamentos da fabricante Rockwell Automation. Devido este fato, associado aos benefícios proporcionados pelo modelo como a facilidade na comunicação entre a interface e os equipamentos presentes na planta, a IHM Allen-Bradley PanelView Plus 1000 foi selecionada para abrigar a aplicação responsável pela a operação da aspersão no embarcadouro de minério. Ao passo em que o *software* adotado para o desenvolvimento da aplicação foi o FactoryTalk View Machine Edition, também da fabricante Rockwell Automation, que possibilita uma melhor integração entre o *hardware* e a aplicação desenvolvida, facilitando simulações e testes ao longo do desenvolvimento da interface.

A comunicação entre rede e os dispositivos Rockwell Automation foi feito via Ethernet utilizado o *software* RSLinx Classic, também da marca Rockwell Automation, que representa uma solução abrangente de comunicação entre os controladores programáveis presentes na área e a aplicação desenvolvida.

A aplicação deve contar com uma lista de usuários contendo identificação do usuário e senha personalizados a fim de controlar o acesso a aplicação e possibilitar uma maior eficiência no controle referente ao acesso dos recursos da aplicação. A lista de usuários deve ser dividida em 3 níveis: o nível 1, nível mais baixo, que permite o monitoramento e operação dos equipamentos da planta; nível 2, que permite ajustes específicos, como a alteração na concentração de polímero da mistura aspergida; e o nível 3, nível mais alto da hierarquia de usuários, que permite o acesso a todos os recursos da aplicação e permite a realização de alterações nas configurações de *hardware* e *software* diretamente da IHM PanelView.

3.5 Implementação

Com base nos princípios e conceitos orientados pela Filosofia, Guia de Estilo e *Toolkits*, obedecendo as configurações de *hardware* e *software*, foram construídos seis telas e uma janela *pop-up* para comandos.

Como premissa do Guia de Estilo, foi definida como cor de fundo padrão um tom de azul (RGB: 224,228,237), uma cor fria, que remete a sensação de conforto e tranquilidade, com o objetivo de poupar a visão do usuário que está em uso contínuo da interface. O mesmo padrão foi utilizado para a cor dos botões e comandos presentes na interface, visando minimizar o

destaque de recursos de baixa importância e permitir que informações de maior criticidade tenham maior destaque na tela. (STAMATO, 2013)

Para os textos utilizados nos *displays* da IHM foi adotado como padrão a cor preta (RGB: 0,0,0), proporcionando fácil compreensão do conteúdo e contraste com a cor de fundo das telas. Para textos auxiliares tons de cinza, se aproximando da cor preta quanto maior a importância do dado exibido. A mesma ideia foi adotada quanto ao tamanho dos textos, quanto maior a fonte, maior o grau de importância da informação, logo maior o nível de destaque necessário.

A simbologia utilizada para a representação dos equipamentos da planta operada foi inspirada na norma ISA 5.1 de simbologia e identificação de instrumentos, focando em símbolos simples, bidimensionais e de fácil identificação.

Com o objetivo de contextualizar as medições exibidas nas telas da interface, foi adotado um gráfico de barra com faixa de identificação do comportamento ideal esperado para a variável em questão, Figura 16. Neste gráfico temos a indicação do intervalo ideal esperado, representando a normalidade no funcionamento dos equipamentos no processo; e por lógica, os intervalos que representam funcionamento abaixo e acima do ideal. Além da identificação da variável medida e sua unidade de engenharia. Desta forma, o operador pode identificar possíveis falhas e produzir um diagnóstico mais preciso e detalhado.

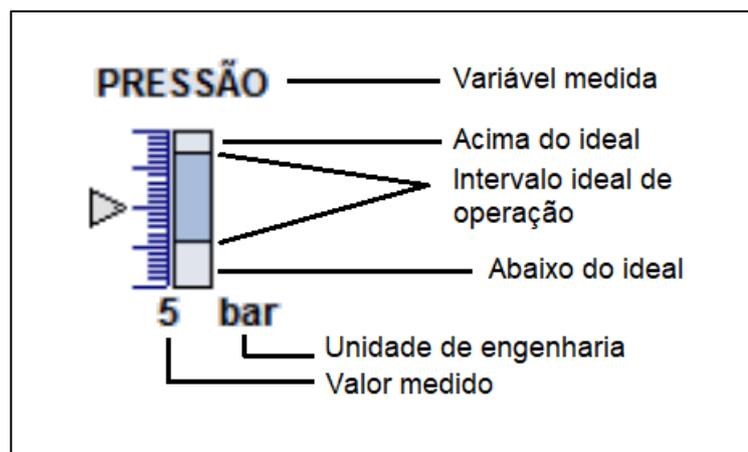


Figura 16: Contextualização das variáveis de processo exibidas na interface
Fonte: Do Autor

A seguir serão apresentadas as telas desenvolvidas e consolidadas para a interface utilizada para a operação da aspersão no embarcadouro de minério, explicando seus objetivos e justificando os recursos gráficos utilizados.

3.5.1 Tela de Acesso

A tela para acesso, Figura 17, é a tela inicial da aplicação responsável pelo controle do acesso a aplicação por parte dos usuários cadastrados. Nesta tela é feita a identificação do usuário e seu nível de prioridade na aplicação, onde é definido os recursos que serão disponibilizados para o usuário operando a planta da aspersão.

Essa tela conta com um campo para identificação do usuário conectado, representado pelo texto “DEFAULT” na Figura 17. Assim como um botão de *login* e outro para *logout*. O primeiro solicita os dados de identificação (usuário e senha) e permite o acesso do usuário devidamente cadastrado; ao passo que o segundo é responsável por encerrar o acesso a aplicação do operador conectado. Após vinte minutos de inutilização da aplicação, é feito o *logout* automático do usuário conectado, como medida de segurança para evitar que outras pessoas utilizem o acesso do usuário em questão em casos de distanciamento do *hardware* que abriga a aplicação ou por esquecimento da efetuação do *logout* após termino da utilização da aplicação.

O design adotado para o desenvolvimento desta tela segue os princípios e conceitos orientadores propostos previamente, utilizando dos padrões de cor e texto definidos, focando em formas simples de representação das informações e possíveis ações.

3.5.2 Tela de *Overview*

A tela de *Overview* é uma tela com o nível 1 de prioridade, o mais alto na hierarquia entre as demais telas, Figura 18. Ela possibilita uma visão clara do estado atual da planta e funcionamento dos equipamentos, assim como a exibição de indicadores chave diretamente ligados a performance do processo e operação.

Com o objetivo de proporcionar uma exibição mais organizada dos dados, as informações da planta de aspersão foram separadas em Planta de Aspersão 01 e Planta de Aspersão 02, como era feito inicialmente, Figura 15. Ambas possuem a indicação dos estados de funcionamento dos equipamentos, representados por quadrados, diferenciados por seus respectivos códigos de identificação (censurados por motivo de preservação de informação sigilosa da empresa) e descrição simplificada do equipamento em questão.

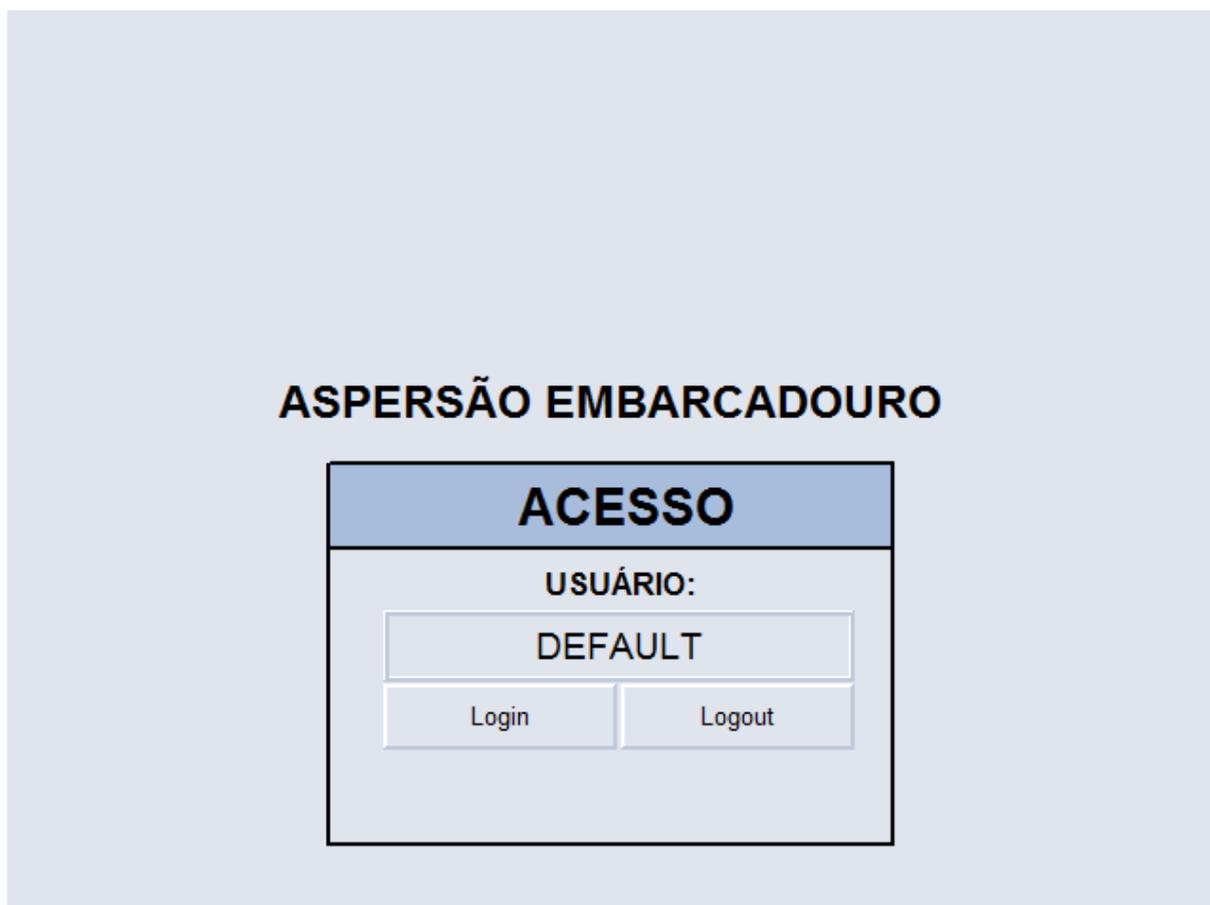


Figura 17: Tela inicial para acessar a aplicação
Fonte: Do Autor

Foi adotada a simbologia de quadrados para representação dos equipamentos da planta com o objetivo de simplificar e tornar mais clara a visão do operador para situações anormais. Tais quadrados possuem animação de cor, onde cada cor tem uma relação quanto ao seu estado de funcionamento (tal relação será melhor descrita na Tela de Legendas), e também são sensíveis ao toque. Quando acionados, é exibida a janela de operação do equipamento em questão, possibilitando identificação mais detalhada e execução de comandos para o mesmo.

As medições exibidas na tela de *Overview* foram selecionadas mediante a entrevista com operadores e supervisores responsáveis pela área, que identificaram tais variáveis como indicadores chave diretamente relacionados com a performance da planta de aspersão. Portanto, os dados exibidos na tela de *overview* são apenas informações imprescindíveis para uma operação eficiente da planta de aspersão e que devem ser monitoradas continuamente.

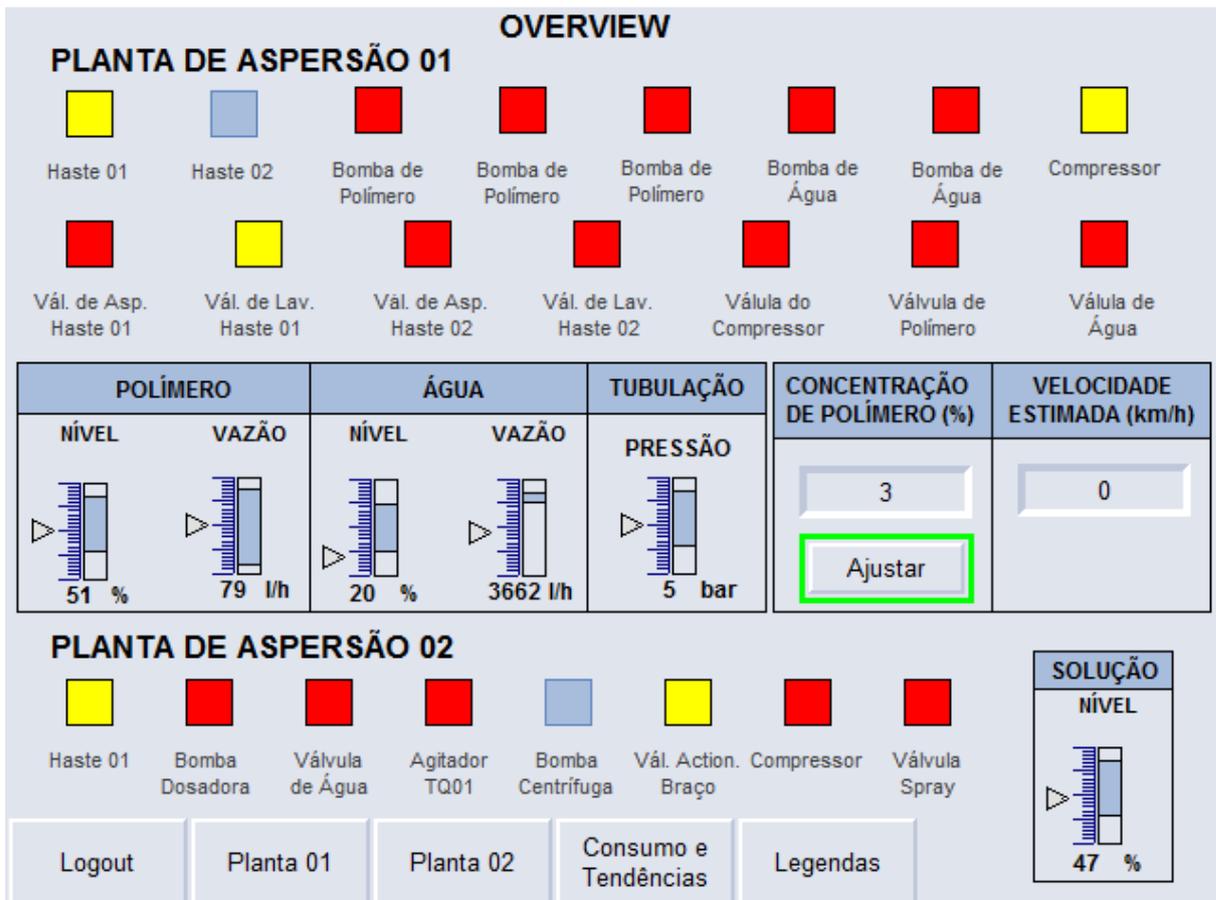


Figura 18: Tela de *Overview* da planta de aspersão
Fonte: Do Autor

3.5.3 Tela da Planta de Aspersão 01

Seguindo as orientações do conjunto de normas da ISA 101, foi desenvolvido uma tela que representasse de uma forma geral a Planta de Aspersão 01, uma parte do processo de aspersão, fornecendo maiores detalhes e informações sobre este subprocesso, Figura 19. Desta forma, a tela em questão configura uma tela de nível hierárquico 2, contendo todas as informações e controles necessários para operar as atividades relacionadas a essa seção. (HOLLIFIELD, 2012)

A Planta de Aspersão 01 visa passar uma visão geral do fluxo de operação desta parte da planta, compreendendo desde a obtenção dos matérias necessários para a realização da mistura a ser aspergida, água e polímero, acompanhando os níveis de matéria coletado e armazenado; seguindo para o processo de mistura destes materiais, onde é feito o controle da quantidade de cada material adicionado, regulando a concentração da mistura e acompanhando os níveis de pressão da tubulação; até o processo de aspersão realizado por esta parte da planta.

Seguindo os princípios e conceitos orientados pela Filosofia, Guia de Estilo e *Toolkits* da IHM da aspersão no embarcadouro de minério, a simbologia utilizada para representação de equipamentos é baseada nas normas da ISA 5.1 que visou estabelecer padrões para representação e identificação de instrumentos. Foram utilizados símbolos em 2D, evitando representações com uso excessivo de recursos gráficos, a fim de proporcionar um design mais limpo e claro para o usuário da interface. Dessa forma, tubulações foram representadas por traços; bombas e válvulas por desenhos simples de fácil identificação e comumente utilizados para representar tais instrumentos em interfaces industriais; e eventuais particularidades são representadas seguindo a mesma ideia.

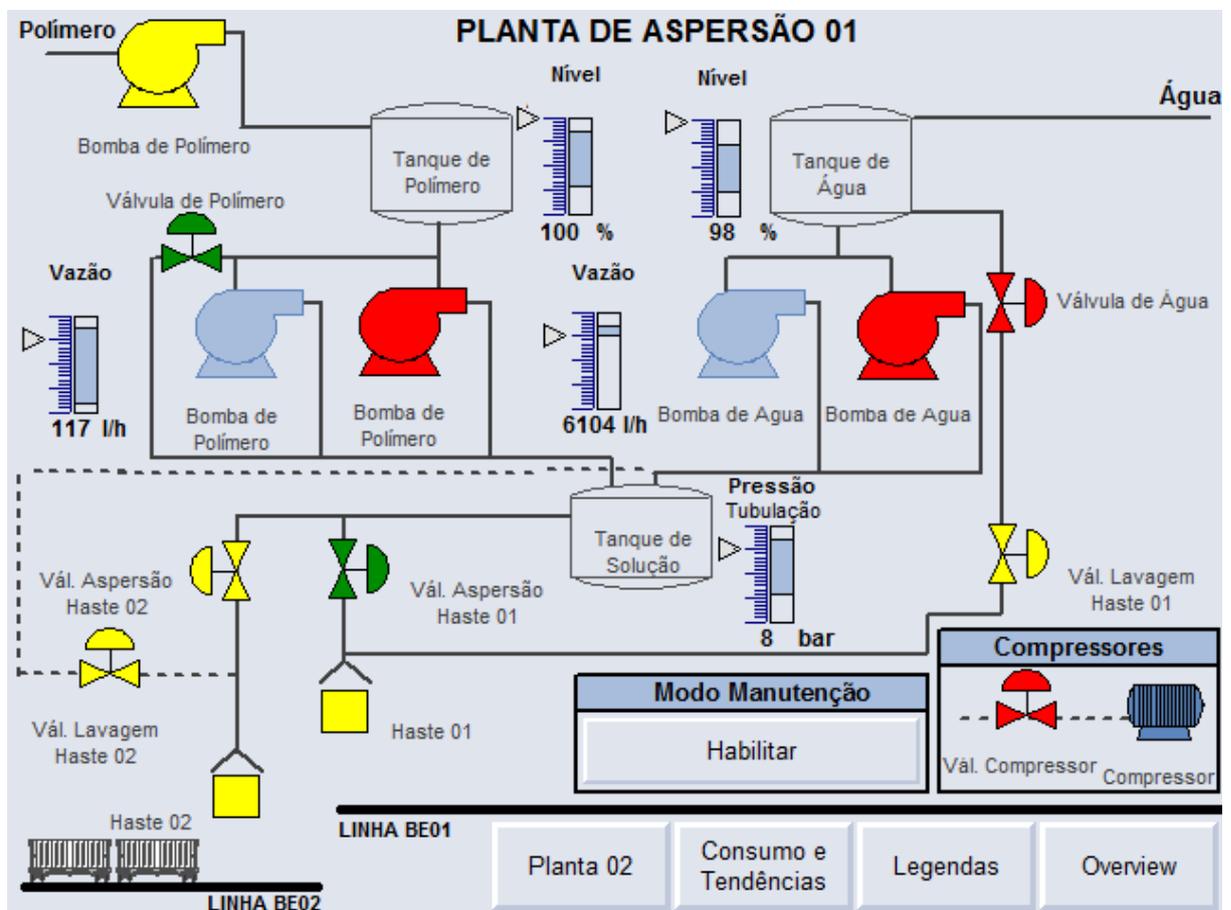


Figura 19: Tela da planta de aspersão 01
Fonte: Do Autor

3.5.4 Tala da Planta de Aspersão 02

A Planta de Aspersão 02, Figura 20, segue a mesma ideia e padrões de design que a Planta de Aspersão 01. É uma tela de nível 2 na hierarquia entre as telas da interface, focada

em um subprocesso da aspersão, porém compreende uma quantidade menor de equipamentos e diferenças no processo de realização da mistura quando comparada a Planta de Aspersão 01. Por exemplo, na Planta 02, a adição de água à mistura é feita por meio da gravidade, não existem bombas para levar a quantidade de água necessária até o tanque onde é feita a mistura. Mas por outro lado, a mistura da água e polímero é auxiliada por um agitador, que compensa a baixa vazão de entrada dos materiais a viabiliza uma mistura adequada para ser aspergida sobre os vagões carregados de minério de ferro.

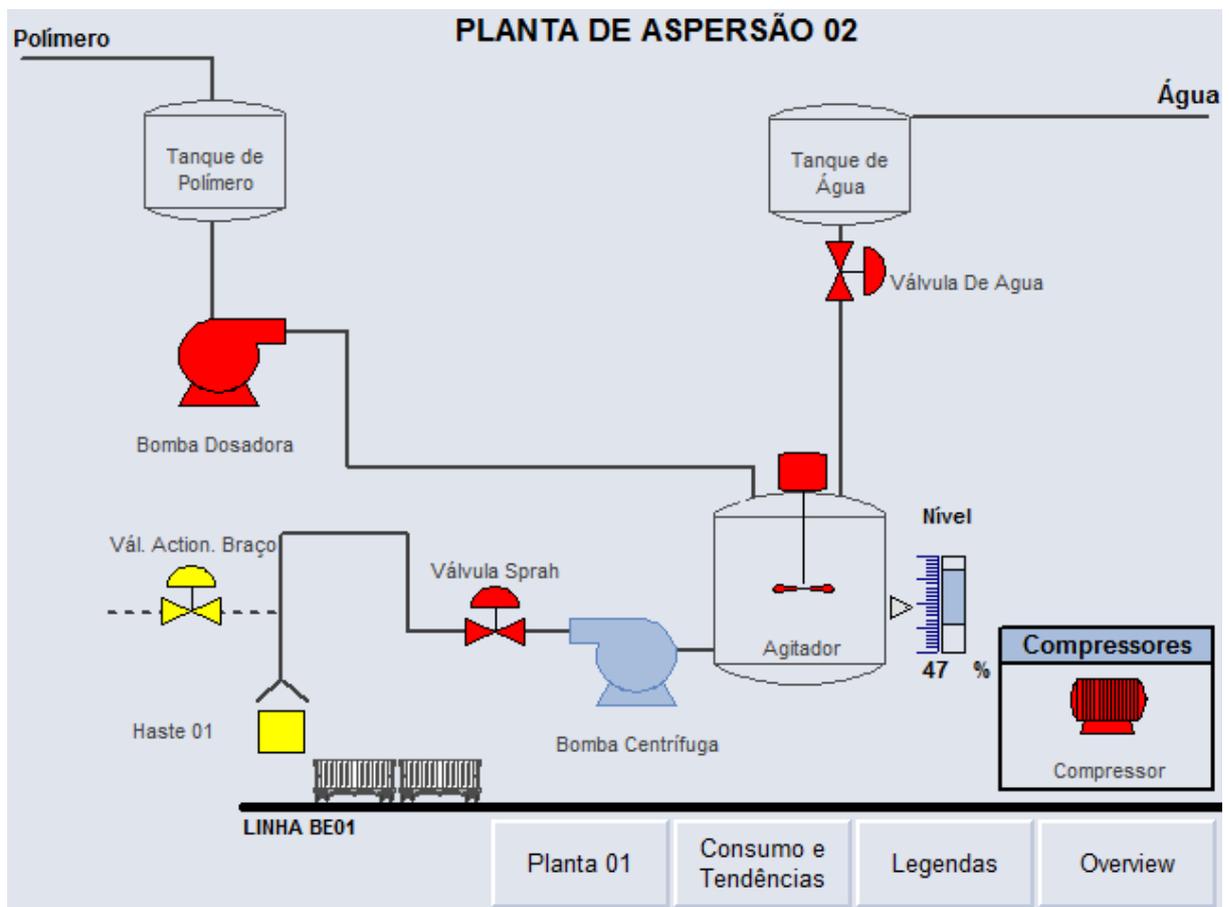


Figura 20: Tela da Planta de Aspersão 02
Fonte: Do Autor

3.5.5 Tela de Legendas e Cores

As legendas referentes as animações de estados dos equipamentos também ganharam uma tela dedicada, Figura 21. Esta tela pode ser acessada pelo botão “Legendas” presente em todas as telas que utilizam dessa animação por cores, sendo a tela de *Overview*, Planta de Aspersão 01 e Planta de Aspersão 02.

Em algumas situações, a mesma cor pode representar diferentes estados de funcionamento dos equipamentos, como as cores vermelha, azul e amarelo. A justificativa se dá como segue:

LEGENDAS						
EQUIPAMENTOS						
FALTA PERMISSÃO			DEFEITO			
						
FUNCIONANDO			PARADO			
REMOTO		LOCAL	REMOTO		LOCAL	
AUTOMÁTICO	MANUAL		AUTOMÁTICO	MANUAL		
						
VÁLVULAS						
FALTA PERMISSÃO	ABERTO			FECHADO		
	REMOTO		LOCAL	REMOTO		LOCAL
	AUTOMÁTICO	MANUAL		AUTOMÁTICO	MANUAL	
DEFEITO						
						
					Voltar	

Figura 21: Legenda de cores utilizada para animação dos equipamentos quanto ao estado de funcionamento
Fonte: Do Autor

- Vermelho (RGB: 255,0,0): é uma cor quente e vibrante, que se destaca da cor de fundo utilizada, salta aos olhos do usuário e provoca agitação (HELLER, 2012). Nesta interface, a cor vermelha representa os estados de defeito e “falta permissão”, que significa que o equipamento está intertravado por falta de alguma condição que não foi atendida e é necessária para o funcionamento do equipamento em questão. Foi utilizada a mesma cor para representação de ambos os estados, pois os dois representam o não funcionamento adequado do equipamento e necessitam maior investigação para contornar esta situação. Ou seja, o operador em ambas as situações deverá recorrer a janela de operação do determinado equipamento para identificar o defeito ou intertravamento que está impedindo o funcionamento do mesmo. Desta forma, é reduzida o número de cores para

representação de estados dos equipamentos e direciona o treinamento e boas práticas dos usuários da interface para não se apoiarem apenas em suas habilidades cognitivas para identificação e solução de problemas.

- Azul Escuro (RGB: 168, 189, 220): é uma cor fria, que passa a ideia de tranquilidade (HELLER, 2012), tom mais escuro que o tom de azul escolhido para o plano de fundo, produzindo menor contraste, mas ainda assim sendo identificado de forma fácil na tela. Esta cor representa os estados de funcionando automático ou manual em modo remoto, assim como parado automático em modo remoto. O modo remoto de operação é quando o equipamento está sendo acionado via IHM, ou seja, está sendo operado remotamente. Ao passo que no modo local, o equipamento está sendo acionado fisicamente no local onde está instalado. Dessa forma, os estados de funcionamento automático não demandam ação do operador. O equipamento está operando de acordo com a lógica de programação e automatismo dos controladores lógicos programáveis, portanto o equipamento não deve chamar tanta atenção do usuário. O mesmo segue para equipamentos que estão sendo acionados manualmente no modo remoto, ou seja, demandam comando do usuário para funcionar, então se estão funcionando é porquê o mesmo solicitou. Portanto, o operador só precisa voltar sua atenção para aquele equipamento caso o estado do mesmo esteja diferente do solicitado. Em resumo, são estados que demandam baixo nível de atenção do operador, logo foram representados por uma cor menos contrastante a fim de diminuir o número de elementos contrastantes na tela e permitir que situações de maior criticidade possam ser identificadas mais facilmente pelo operador.
- Amarelo (RGB: 255, 255, 0): é uma cor forte, que provoca grande contraste com o plano de fundo da interface desenvolvida, além de ser mundialmente reconhecida e enraizada no nosso dia-a-dia como sinal de advertência, presente desde placas de trânsito a cartões em partidas de futebol (HELLER, 2012). Por esses motivos foi escolhida a cor amarela para representar os estados de parado local e parado manual no modo remoto. Usualmente, quando um equipamento está sendo operado de forma local, ou seja, fisicamente na área onde está instalado, isso significa que o equipamento está passando por manutenção ou estão realizando testes em áreas próximas a ele. Esse tipo de informação é de extrema importância que esteja sinalizada e clara para o operador da área, sendo assim necessária uma representação intuitiva e de rápida percepção por parte do usuário da

IHM. Paralelamente a isso, a cor amarela também é utilizada para representar o estado parado de equipamentos acionados manualmente de forma remota. Isso porquê como o controle do equipamento está sendo feita por parte do usuário da IHM, o mesmo precisa identificar imediatamente a mudança do estado do equipamento. A utilização da mesma cor para os dois estados é justificada pelo fato de que assim como o equipamento parado por acionamento local, um equipamento parado via comando remoto muitas das vezes é feito para a execução de testes ou manobras operacionais, que também necessitam sinalização de destaque devido importância para o controle da planta.

- Verde Escuro (RGB: 0, 140, 0): a cor verde apresenta neutralidade entre os extremos e atua de forma que acalma e transmite segurança (HELLER, 2012). Inspirado nesta teoria, foi escolhido um tom de verde escuro, evitando grandes contrastes com o plano de fundo, para representar o estado de funcionamento de equipamentos por acionamento local na interface desenvolvida. Isso porquê, novamente, equipamentos em operação local são sinônimos de equipamentos passando por manutenção ou testes, ou ainda equipamentos que não permitem controle remoto. Sendo assim, se estes estão em estado “funcionando” é porque devem ser mantidos assim até novas ordem. Dessa forma, a cor escolhida tenta repassar para o operador que tal equipamento está funcionando de forma segura, com aprovação vinda do local onde o mesmo está instalado; e ao mesmo tempo facilitar a identificação do equipamento caso seja solicitada ao usuário da interface alguma ação sobre o equipamento.

Vale destacar que os estados de “funcionando” e “parado” são traduzidos para “aberto” e “fechado” respectivamente, quando representando válvulas. Porém, os mesmos conceitos foram utilizados para a definição da paleta de cores utilizada para as animações dos equipamentos.

3.5.6 Janelas de Operação

As Janelas de Operação, Figura 22, não são telas propriamente ditas, pois não ocupam a totalidade do *display* da IHM. Elas se comportam como janelas *pop-up* que abrem quando um equipamento é selecionado pelo usuário. Possuem os mesmos conceitos de telas nível 3, fornecendo detalhes de um único equipamento. São utilizadas para fornecer um diagnóstico detalhado de problemas com o equipamento em questão.

Cada equipamento possui uma janela de operação personalizada, contendo seu código de identificação, estado atual de funcionamento, em alguns casos estados auxiliares, listas dos possíveis defeitos e intertravamentos, assim como todos os comandos suportados pelo equipamento em questão.

As janelas de operação, independente do equipamento, seguem o mesmo padrão de posicionamento dos botões de comando, ordem de estados, defeitos e intertravamentos, assim como tamanhos, modelo de fonte e cor dos textos de sinalização dos estados, defeitos e intertravamentos do equipamento. Isto é, todos os possíveis defeitos, intertravamentos e, quando existentes, estados auxiliares são exibidos na janela de operação do equipamento, porém quando não atuados são representados pela cor azul escura (RGB: 168, 189, 220), novamente por ser uma cor que passa a ideia de tranquilidade e por não provoca grande destaque com a cor de fundo, poupando a atenção do operador para informações mais críticas; ao passo que, quando atuados são representados pela cor vermelha (RGB: 255,0,0), com o objetivo de chamar a atenção do usuário e mostrar que existe algo de errado com o equipamento, demandando ação do operador.

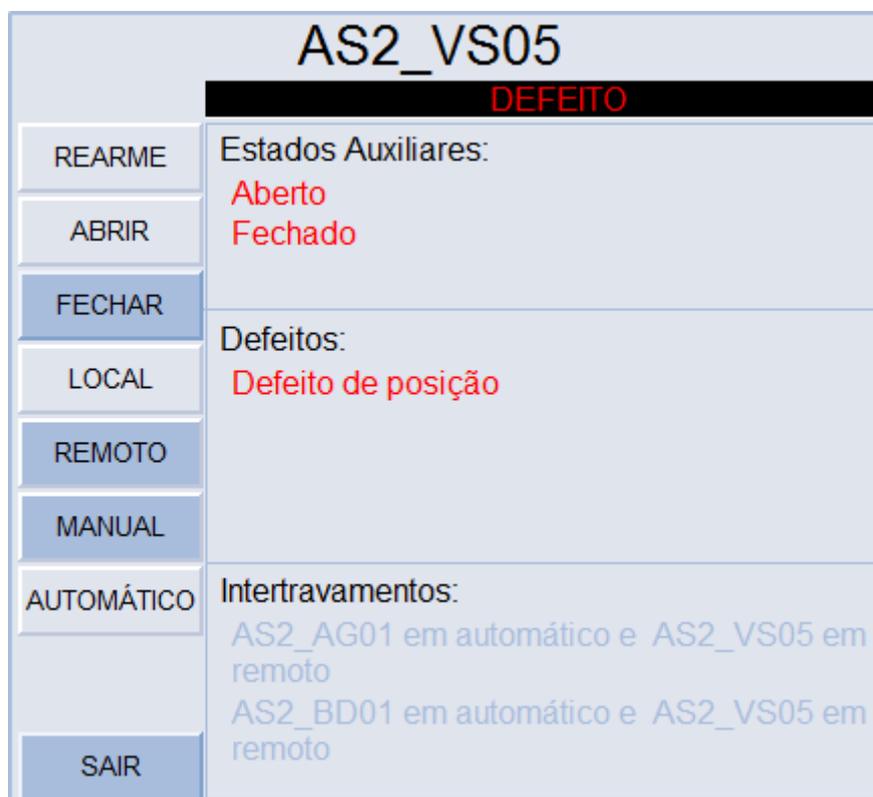


Figura 22: Janela de operação de uma válvula identificada como AS2_VS05

Fonte: Do Autor

3.5.7 Tela de Consumo e Tendências

Finalmente, a tela de Consumo e Tendências, Figura 23, é uma tela de suporte para a operação, configurando nível 4 na hierarquia entre os *displays*. Seu objetivo é permitir que o operador tenha acesso ao histórico de água e polímero consumidos na planta, podendo acompanhar e realizar diagnósticos referentes ao desempenho da planta de aspersão no embarcadouro. Esta tela também facilita previsões e tendências no consumo dos insumos utilizados para a mistura com base na análise do consumo pelo decorrer do tempo.

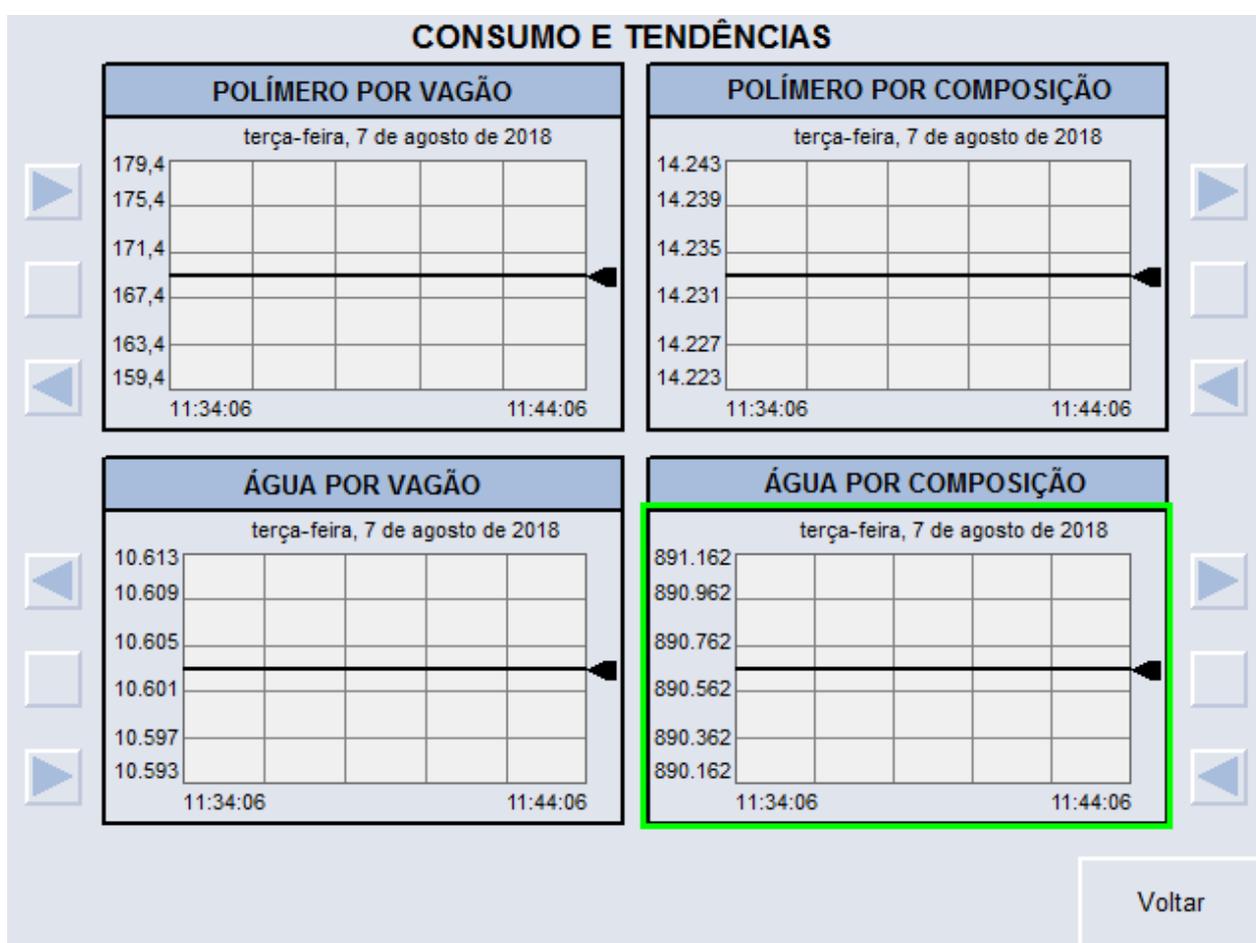


Figura 23: Tela do consumo e tendências da planta de aspersão

Fonte: Do Autor

Para alcançar tal objetivo, são exibidos gráficos que acompanham as medições em tempo real do consumo de água e polímero, gastos por vagão e por composição (conjunto de 84 vagões). O usuário pode percorrer por todas as medições utilizando os botões alocados ao

lado de cada gráfico, Figura 24, assim como pausar o acompanhamento em tempo real e ter a última medição no momento em que o botão de pausa foi acionado.

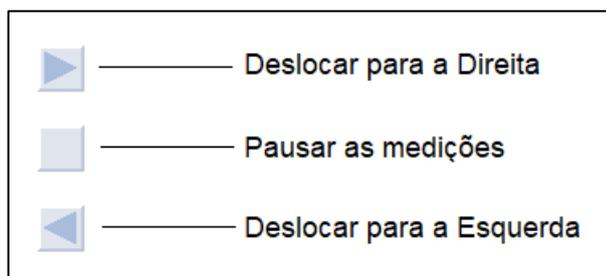


Figura 24: Comandos para navegação nos gráficos
Fonte: Do Autor

A criação das telas de Consumo e Tendências, junto as telas de *Overview*, Planta de Aspersão 01, Planta de Aspersão 02, Legendas e Cores e as Janelas de Operação concluem a fase de desenvolvimento e consolidação dos *displays* da interface.

3.5.8 Testes, Comissionamento, Qualificação e Treinamento

A interface foi testada paralelamente ao seu desenvolvimento com o auxílio da ferramenta de simulação disponibilizada pelo *software* de desenvolvimento utilizado, o FactoryTalk View Machine Edition. Este recurso permitiu a realização de testes da aplicação em bancada local, simulando as condições reais encontradas na planta onde a IHM será instalada.

Após finalização da criação das telas e realização de testes de funcionamento dos recursos disponibilizados pela interface proposta, foi feita a concretização do console, juntando *software* e *hardware*, ou seja, a aplicação desenvolvida foi inserida na Allen-Bradley PanelView Plus 1000 e testada. Uma vez montada a rede necessária para a comunicação entre a IHM consolidada e os equipamentos presentes na planta de aspersão do embarcadouro de minério, a IHM foi instalada no ambiente de operação e realizado o comissionamento de suas atividades. Esta etapa consiste do teste final e detalhado, onde cada recurso disponibilizado pela interface é testado, analisando seu funcionamento, possíveis falhas, verificando sua pertinência e adequação com a área de operação, realizando modificações conforme necessidade, e removendo da aplicação caso necessário. Esta etapa gerou um relatório final detalhando os recursos da aplicação e alterações realizadas.

Concluído o comissionamento, a próxima etapa é a qualificação da IHM desenvolvida e instalada. Nesta etapa, o responsável pela área onde a interface foi instalada, no caso o supervisor da planta onde é feito embarque de minério de ferro e aspersão nos vagões, atesta se a IHM está pronta para operar, avaliando o documento gerado pelo comissionamento e as necessidades operacionais da planta.

A interface apresentada neste trabalho foi qualificada e atestada por todas as áreas envolvidas como apta para operar as atividades da planta de aspersão no embarcadouro de minério de ferro da mineradora solicitante. Assim sendo, a próxima etapa é a realização do treinamento dos usuários que utilizarão desta interface para a operação da planta. Este treinamento será realizado pela equipe técnica da empresa solicitante que esteve presente ao longo do desenvolvimento da interface proposta. Na data em que este trabalho foi escrito, esta é a fase em que a IHM desenvolvida se encontra no ciclo de vida de uma IHM proposto pelo comitê da ISA 101.

3.6 Operação e Processo Contínuo de Melhoria

Até a data em que este trabalho foi escrito, a interface desenvolvida estava sendo implementada e encontrava-se na fase de treinamento dos usuários. As próximas etapas, segundo o ciclo de vida de uma IHM proposto pelo comitê da ISA 101, seriam operação e o processo contínuo de melhorias da interface. A primeira compreendendo na utilização da IHM pelos usuários treinados para realizarem a operação da planta de aspersão; a manutenção da interface, realizando alterações quando necessário, lembrando que as modificações feitas devem ser previamente aprovadas pela gestão de mudanças, visando corrigir erros, acrescentar melhorias ou atualizações que reflitam mudanças no processo; e por último, a desativação da IHM caso solicitado, retirando a interface da área de operação e realizando o levantamento dos registros obtidos em seu período de funcionamento, visando manter arquivos capazes de relatar os índices de produção da planta atrelando-os a interface adotada. Enquanto a segunda, acontecendo paralelamente as outras etapas do ciclo de vida da IHM, conta com um trabalho contínuo de gestão de mudanças e auditorias, assegurando que todas as alterações feitas na interface estão de acordo com as diretrizes propostas nos guia de estilo, toolkits e filosofia da IHM. Além de assegurar que os possíveis impactos causados por estas mudanças foram considerados e ações foram tomadas para serem evitados. Assim como a verificação contínua da pertinência da aplicação com as necessidades dos usuários, atividades e funcionalidades

propostas para a IHM. Desta forma, se torna completo o ciclo de vida da IHM utilizada para a operação da planta de aspersão no embarcadouro de minério.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A interface desenvolvida ainda se encontra em estágio de implementação, desta forma, resultados mais detalhados e precisos quanto aos impactos positivos e negativos na área onde a mesma está sendo implementada só serão possíveis após início da etapa de operação, onde a IHM consolidada será utilizada para a operação da planta de aspersão no embarcadouro de minério. Entretanto, o desenvolvimento da interface foi concluído, o que nos permite analisar os resultados desta metodologia para criação de interfaces homem-máquina.

A metodologia utilizada, proposta pelo comitê da ISA 101, possibilita a obtenção de resultados que vão além da parte estética. O desenvolvimento de uma interface tendo em vista todas as etapas do seu ciclo de vida possibilita um processo de criação mais organizado. A criação dos documentos de Filosofia, Guia de Estilo e *Toolkits* para a IHM desenvolvida facilita a compreensão dos objetivos e finalidade da interface por parte do desenvolvedor, tornando clara a necessidade de cada recurso que deve ser disponibilizado na IHM a fim de melhor atender o usuário final.

Com o processo de criação pautado na utilização de cores mais discretas, apenas objetos extremamente necessários exibindo cores chamativas, a utilização de recursos gráficos considerando os limites sensoriais e cognitivos dos usuários, a combinação de objetos como os gráficos de barras com gráficos de linhas e uma organização hierárquica entre as telas fazem com que a interface passe a atuar na prevenção de falhas e redução de erros operacionais, por meio do aumento da sua eficiência. Além de proporcionar maior conforto ao usuário, facilitando o aprendizado e memorização das práticas operacionais, permitindo a visualização de informações efetivas e contextualizadas, não apenas dados brutos exibidos na tela da IHM.

Os operadores e supervisor da planta de aspersão consultados ao logo do processo de desenvolvimento da interface avaliaram de forma muito positiva a IHM de forma geral, porém com destaque para a tela de *Overview* e a tela de Consumo e Tendências. A primeira com a justificativa de que uma visão mais geral do processo permite uma maior consciência da real situação da planta, facilitando a tomada de decisões de forma precisa. Ao passo que a tela de Consumo e Tendências foi elogiada pela forma como os dados foram exibidos. Na interface utilizada inicialmente, os mesmos dados eram fornecidos, porém de forma que o operador não podia acompanhar o comportamento destas variáveis ao longo do tempo, e com a interface proposta, o usuário pode acompanhar em tempo real o comportamento das medições podendo

identificar tendências, consultar medições passadas e pausar as medições em tempo real para realizar discussões com outros operadores ou supervisor.

O sistema utilizado para supervisão do processo de aspersão no embarcadouro de minério não passava por uma reestruturação significativa por mais de dez anos. Os responsáveis pelo processo operacional da área estão de modo geral satisfeitos e ansiosos pelas as mudanças promovidas pela instalação da novo IHM desenvolvida.

5 CONCLUSÃO

Com base nos estudos realizados acerca do desenvolvimento de interfaces homem-máquina de alta eficiência, pode-se concluir que este é um assunto de certa complexidade, sendo necessários estudos focados em conceitos de design, ergonomia, comportamento humano e ciências cognitivas. Estes estudos foram fundamentais para o sucesso deste trabalho.

Com os conceitos obtidos a partir do estudo do conjunto de normas proposto pelo comitê da ISA 101, testes em bancada e consulta com os responsáveis pela planta de aspersão no embarcadouro de minério da mineradora de minério de ferro do estado de Minas Gerais, é possível afirmar que o resultado foi satisfatório e coerente com o objetivo inicial. Foram sugeridos e exemplificados métodos para a criação de interfaces capazes de suprir a ineficiência de IHMs utilizadas em ambientes industriais, que em muitos casos acabam dificultam o trabalho dos operadores, aumentando os riscos de acidente e diminuindo a produtividade da área. Da interface desenvolvida, cada tela teve a capacidade de realizar a função para a qual foi projetada e o método utilizado, seguindo o ciclo de vida de uma IHM proposto pela ISA 101, também se mostrou eficiente. Desta forma, podemos considerar como alcançado o objetivo inicial almejado.

Algumas possíveis etapas futuras para a evolução deste trabalho poderiam ser citadas, como:

- Utilização de métodos mais modernos para o desenvolvimento da IHM.
- Implementação de janelas operacionais dedicadas para defeitos, intertravamentos e estados auxiliares de cada equipamento, promovendo maiores detalhes do modo de funcionamento do mesmo.
- Implementação de novas telas para outros subprocessos da planta, como por exemplo uma tela dedicada a realização da mistura.
- Desenvolvimento de diferentes formas de representação dos estados dos equipamentos da planta, como a utilizando de símbolos ou invés de cores.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANSI/ISA-101.01-2015, **Human-Machine Interfaces for Process Automation Systems.**

CONTROLAR, Sistemas de Controle de Poeira e Lavadores. **Aspersão em vagões de minério.**
Belo Horizonte, 2015. Disponível em: < <https://goo.gl/aJV3e9> >. Acessado em 16 de Novembro de 2018.

FITZPATRICK, B. A. **ISA 101 and HMI Workshop.** Encontro Internacional MESA Knows, 2012. Disponível em: < <https://goo.gl/Wwk9QN> >. Acessado em 09 de Outubro de 2018.

GOETZ, H. F. **Metodologia para Desenvolvimento de IHMs de Alta Performance Visual.**
Eclipse Knowledgebase, 2017. Disponível em: < <https://goo.gl/phQr7r> >. Acessado em: 20 de Setembro de 2018.

GOVERNMENT OF INDIA, MINISTRY OF CIVIL AVIATION, **Report on The Accident to Indian Airlines Airbus A320 Aircraft VT-EPN on 14th February, 1990 at Bangalore.** p435-450. 1990.

HELLER, E. **A psicologia das cores: como as cores afetam a emoção e a razão.** 1. Ed – São Paulo: Gustavo Gili. p46 – 200. 2013.

HOLLIFIELD, B.; HABIBI, E.; OLIVER, D.; NIMMO. I; **The High Performance HMI Handbook: A Comprehensive Guide to Designing, Implementing and Maintaining Effective HMIs for Industrial Plant Operations.** Plant Automation Services, Inc., 2008.

ISA, **About ISA.** Disponível em: <<https://www.isa.org/about-isa/>>. Acessado em: 02 de Outubro de 2018.

NASBY, G. **Using ISA-101 & High-Performance HMIs for More Effective Operations.** Ontario, Canada: WEAO Intelligent Wastewater Systems Seminar. 2017. Disponível em: <<https://goo.gl/XPNqc8>>. Acessado em: 09 de Outubro de 2018.

SILVEIRA, C. B. **IHM: Saiba quais os Tipos e como Selecionar.** Citisystems, 2018. Disponível em: <<https://www.citisystems.com.br/ihm/>>. Acessado em: 27 de Setembro de 2018.

STAMATO, A. B. T. **A Influência das Cores na Construção Audiovisual.** UNESP: XVIII Congresso de Ciências da Comunicação na Região Sudeste. 2013.

U.S. CHEMICAL SAFETY AND HAZARD INVESTIGATION BOARD, **Investigation Report BP Texas City, TX Refinery Explosion and Fire.** Reporte No. 2005-04-I-Tx p31-102. 2007. Disponível em: <<https://www.csb.gov/bp-america-refinery-explosion/>> Acessado em: 28 de Setembro de 2018.

WICKENS, C. D.; ALEXANDER, A. L. **Attentional Tunneling and Task Management in Synthetic Vision Displays,** The International Journal of Aviation Psychology, 19: 2, 182 — 199. 2009.

Certifico que o aluno LEONARDO LOURENÇO VIEIRA, autor do trabalho de conclusão de curso intitulado “DESENVOLVIMENTO DE INTERFACES HOMEM-MÁQUINA DE ALTA PERFORMANCE”, efetuou as correções sugeridas pela banca examinadora e que estou de acordo com a versão final do trabalho.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'A. J. da R. Reis', with a stylized flourish at the end.

Prof. Dr. Agnaldo José da Rocha Reis

Ouro Preto, 20 de dezembro de 2018