



UTILIZAÇÃO DE TÉCNICAS DE MEDIÇÃO DE CONSCIÊNCIA SITUACIONAL  
PARA AVALIAR INTERFACE ECOLÓGICA DE ALARMES

Eduardo Navarra Satuf

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Doutor em Engenharia Elétrica.

Orientadores: Eugenius Kaszkurewicz  
Roberto Schirru

Rio de Janeiro

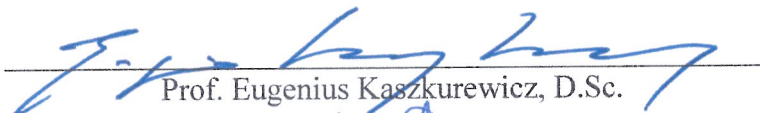
Março de 2016

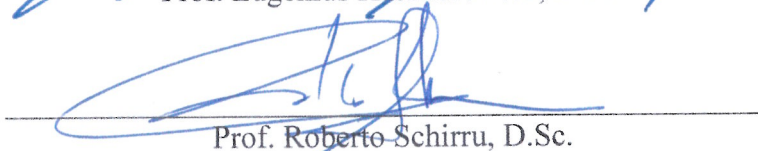
UTILIZAÇÃO DE TÉCNICAS DE MEDIÇÃO DE CONSCIÊNCIA SITUACIONAL  
PARA AVALIAR INTERFACE ECOLÓGICA DE ALARMES


Eduardo Navarra Satuf

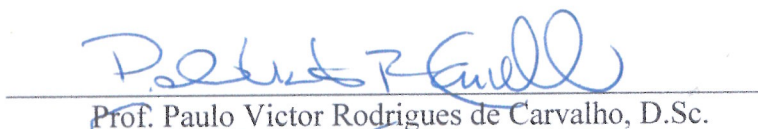
TESE SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO INSTITUTO ALBERTO LUIZ  
COIMBRA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA DE ENGENHARIA (COPPE) DA  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS  
REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE DOUTOR EM  
CIÊNCIAS EM ENGENHARIA ELÉTRICA.

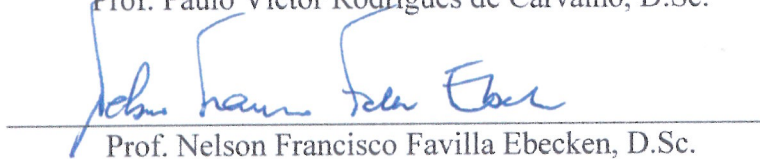
Examinada por:


  
Prof. Eugenius Kaszkurewicz, D.Sc.

  
Prof. Roberto Schirru, D.Sc.

  
Prof. Mario Cesar Mello Massa de Campos, Dr.

  
Prof. Paulo Victor Rodrigues de Carvalho, D.Sc.

  
Prof. Nelson Francisco Favilla Ebecken, D.Sc.

  
Prof. Amit Bhaya, Ph.D.

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

MARÇO DE 2016

Satuf, Eduardo Navarra

Utilização de Técnicas de Medição de Consciência Situacional para Avaliar Interface Ecológica de Alarmes/  
Eduardo Navarra Satuf. – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2016.

XIV, 163 p.: il.; 29,7 cm.

Orientadores: Eugenius Kaszkurewicz

Roberto Schirru

Tese (doutorado) – UFRJ/ COPPE/ Programa de Engenharia Elétrica, 2016.

Referências Bibliográficas: p. 122-135.

1. Interface de alarmes. 2. Consciência situacional. 3. Interface ecológica. I. Kaszkurewicz, Eugenius, *et al.* II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Programa de Engenharia Elétrica. III. Título.

*A Paula Tamires, a meus pais e a Cristiane.*

*:-)*

## **Agradecimentos**

O autor é o responsável pelo trabalho, mas este trabalho somente existe devido à ajuda de muitos. Tantos que é impossível lembrar de todos. Pensei em fazer como Saramago, falar de “Todos os nomes”<sup>\*</sup> citando apenas um – ou nenhum. Porém, não sou Saramago, então...

Agradeço a meus orientadores, que foram além da orientação acadêmica: ao prof. Eugenius Kaszkurewicz, que abriu as portas do doutorado para mim, aceitando-me como seu orientando; ao prof. Roberto Schirru, que, momentos antes que eu próprio pedisse, se prontificou a me ajudar nessa caminhada. Os ensinamentos de cada um, estão, tanto quanto pude aprender, neste trabalho. Muito obrigado.

Agradeço a meu “terceiro orientador”, colega, amigo e mentor prof. Mario Campos, com quem aprendo, sempre que posso, no dia-a-dia do trabalho no CENPES.

Agradeço aos componentes da banca, prof. Paulo Victor de Carvalho, prof. Nelson Ebecken e prof. Amit Bhaya, por terem aceitado o convite e por suas sugestões. Os questionamentos da banca me deram a oportunidade de pensar sobre o trabalho, e suas referências e comentários trouxeram melhorias significativas ao texto.

Quero agradecer aos professores das disciplinas cursadas: prof. Sergio Exel, prof. Francisco Duarte, prof. João Carlos Basílio e prof. Afonso Del Nero. Pavimentaram o caminho do doutorado para mim. Aproveito para agradecer à instituição UFRJ, onde pude cursar a graduação, o mestrado e, agora, o doutorado.

Esta pesquisa conta com o Sistema Avançado de Alarmes Inteligente – o SAAI. Agradeço à equipe do Laboratório de Monitoração de Processos, onde o SAAI é desenvolvido: Cesar Comerlato, José Luiz, Manoel Villas Bôas Jr., Vinícius, Norberto, Sérgio e demais. Agradeço por seu tempo, sua atenção e suas explicações sobre detalhes do SAAI.

---

<sup>\*</sup> SARAMAGO, J. Todos os nomes. Editora Companhia das Letras. São Paulo, 1997.

Não há estrutura sem infraestrutura. Agradeço à Daniele e à Mara, à Sandra e ao Maurício e à Simone. Sem vocês, nem a inscrição nas disciplinas eu conseguiria fazer.

Agradeço ao colega Ari José, e aos colegas alunos do curso de Operação de Produção, ministrado no SENAI, especialmente aos operadores de produção, cuja participação significou um valor especial para este trabalho. Igualmente, agradeço às pessoas do SENAI de Benfica, Rio de Janeiro: aos instrutores do curso, José Luiz Loureiro, que me ajudou na preparação do cenário, Daniel, Sérgio, e André, que me receberam em sala de aula e ajudaram nos experimentos, à Márcia, à Zélia e à Gláucia e à equipe que cuida do Ambiente de Treinamento (AmbTrei), construído em convênio com a Petrobrás. Sem o simulador dinâmico do AmbTrei no SENAI, onde o protótipo do SAAI foi instalado, este trabalho não teria alcançado seus objetivos.

Agradeço aos colegas Sérgio, pelo apoio de sempre; e Genézio, pela ajuda na primeira configuração do SAAI; e ao colega Ronaldo Luiz, guru de Alpha/OpenVMS, sempre disposto a pôr as máquinas para funcionar – mesmo quando parece impossível. Agradeço aos colegas e amigos Reider, pelo apoio e troca de idéias, e ao Enio – me convenceram que seria possível e que valeria a pena. Valeu.

Agradeço à Petrobrás, nas pessoas dos gerentes Alexandre Müller e Edson Vogel, que proveu o suporte à pesquisa e me permitiu dedicar o tempo necessário a este trabalho.

Registro ainda meu agradecimento ao prof. Sérgio Palma Medeiros, da pós-graduação (*lato sensu*) em Engenharia de Software. E agradeço às outras pessoas que, de alguma forma ajudaram-me neste trabalho.

E, claro, agradeço a minha família e a meus amigos. Mesmo quando pareciam atrapalhar, estavam ajudando. Sempre.

Resumo da Tese apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Doutor em Ciências (D.Sc.)

## UTILIZAÇÃO DE TÉCNICAS DE MEDIÇÃO DE CONSCIÊNCIA SITUACIONAL PARA AVALIAR INTERFACE ECOLÓGICA DE ALARMES

Eduardo Navarra Satuf

Março/2016

Orientadores: Eugenius Kaszkurewicz

Roberto Schirru

Programa: Engenharia Elétrica

Por décadas, as interfaces de sumário de alarmes, listas de alarmes ordenados cronologicamente, vem sendo usadas em sistemas de supervisão e controle de produção. Uma grande quantidade de alarmes ativados em um pequeno intervalo de tempo, isto é, uma avalanche de alarmes, prejudica a consciência situacional (CS) do operador. Um sumário de alarmes mostra pouca informação sobre a importância relativa dos alarmes, e não aponta quais dados são relevantes para compreender a situação e prever a evolução do processo no futuro próximo. Novos sistemas e interfaces de alarme são necessários para ajudar a manter a CS do operador. Medir a CS, entretanto, não é trivial, pois a CS é uma propriedade cognitiva. A abordagem de Projeto Ecológico de Interfaces pode levar a projetos de interface melhores, especialmente em eventos não previstos. Neste trabalho, a consciência situacional de operadores de processo profissionais é medida enquanto executam uma tarefa simulada. As técnicas usadas para medir a CS incluem abordagens de avaliação objetivas e subjetivas, e uma técnica proposta. Uma nova interface ecológica de alarmes, chamada Sistema Avançado de Alarmes Inteligente (SAAI), e o mais tradicional sumário de alarmes foram manipulados pelos operadores. Embora a nova interface implicasse olhar para um monitor extra, os resultados mostram que a consciência situacional, na média, melhorou e haveria de ser menos prejudicada em avalanche de alarmes, melhorando a segurança.

Abstract of Thesis presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Science (D.Sc.)

USING SITUATIONAL AWARENESS MEASUREMENT TECHNIQUES FOR  
EVALUATING ALARM ECOLOGICAL INTERFACE

Eduardo Navarra Satuf

March/2016

Advisors: Eugenius Kaszkurewicz  
Roberto Schirru

Department: Electrical Engineering

For decades, alarm summary interfaces, lists of chronologically sorted alarms, have been used in production supervision and control systems. A great number of alarms activated in a small interval of time, an alarm flood, impairs operators situation awareness (SA). An alarm summary shows little or no information on the relative importance of alarms, neither on which data are relevant to comprehend the situation and to foresee the process evolution in the near future. New alarm systems and interfaces are necessary to help keeping operator's SA. Measuring the SA, though, is not trivial, since SA is a cognitive property. The Ecological Interface Design (EID) approach can lead to better interface designs, especially under unanticipated events. In this work, professional process operators' situational awareness is measured while performing a simulated task. Techniques used to measure SA include objective and subjective rating approaches, and a proposed technique. A new ecological alarm interface, called Intelligent Advanced System of Alarms (SAAI, the Portuguese acronym), and the more traditional alarm summary interface were managed by the operators. Although the new interface implied looking at an extra monitor, results show that situation awareness improved on average and might be less impaired under alarm floods, improving safety.



## SUMÁRIO

1. Introdução	1
1.1. Objetivo	1
1.2. Motivação	2
1.3. Estrutura deste Texto	4
1.4. Síntese do Capítulo	5
2. Supervisão do Processo e Alarmes	6
2.1. Processamento do Petróleo	6
2.2. Operação e Supervisão do Processo	9
2.3. Sistema de Supervisão e Controle	11
2.4. Alarmes	15
2.5. Interface de Sumário de Alarmes	20
2.6. Sumário de Alarmes e Avalanche de Alarmes	22
2.7. Síntese do Capítulo	24
3. Percepção do Processo, Compreensão e Projeção – Consciência Situacional	26
3.1. Complexidade	26
3.2. Apoio à Decisão	30
3.3. Consciência Situacional	32
3.3.1. Níveis da Consciência Situacional.	35
3.3.2. Tempo, Consciência Situacional e Atenção.	38
3.3.3. Memória e Modelos Mentais	39
3.3.4. Fatores que Afetam a Consciência da Situação	42
3.4. Automação e Consciência da Situação	46
3.5. Síntese do Capítulo	49
4. Abordagem Ecológica de Interface	50
4.1. Eventos Previstos x Imprevistos; Familiares x Não familiares	50
4.2. Formulação do Problema de Projeto de Interface Operacional	52
4.3. Abstração Hierarquizada (AH)	53
4.4. Níveis de Processamento Cognitivo	56
4.5. Projeto de Interface Ecológica	60
4.6. Origem do Nome	62
4.7. Interface Ecológica e Consciência Situacional	63

4.8. Síntese do Capítulo _____	66
5. Nova Interface de Alarmes _____	68
5.1. Nova Aplicação de Alarmes _____	68
5.2. Priorização Básica de Alarmes _____	70
5.3. Priorização dos Alarmes em Tempo-Real _____	73
5.4. Funcionalidades da Interface SAAI _____	76
5.5. A Interface SAAI, a Taxonomia SRK e a Consciência Situacional _____	79
5.6. Síntese do Capítulo _____	82
6. Métricas para Consciência Situacional _____	83
6.1. Situational Awareness Global Assessment Technique (SAGAT) _____	83
6.2. Situational Awareness Rating Technique (SART) _____	85
6.3. Cognitive Compatibility Situation Awareness Rating Technique (CC-SART) _____	86
6.4. Consciência situacional – três níveis (cs3) _____	88
6.5. Síntese do Capítulo _____	89
7. Experimento – Avaliação, Resultados e Discussão _____	90
7.1. Objetivo _____	90
7.2. Medição de Consciência Situacional _____	91
7.3. Ambiente do Experimento _____	92
7.4. Participantes do Experimento _____	95
7.5. Projeto do Experimento _____	95
7.6. Procedimento do Experimento _____	97
7.7. Resultados _____	99
7.7.1. Resultados para o questionário SAGAT aplicado _____	99
7.7.2. Resultados para o questionário SART aplicado _____	101
7.7.3. Resultados para o questionário CC-SART aplicado _____	103
7.7.4. Resultados para o questionário cs3 aplicado _____	104
7.8. Comparação com Valores da Literatura _____	106
7.8.1. Questionário SAGAT _____	106
7.8.2. Questionário SART _____	107
7.8.3. Questionário CC-SART _____	109
7.9. Discussão _____	109
7.10. Síntese do Capítulo _____	114
8. Conclusão e Sugestões de Trabalhos _____	116
Referências _____	122
Apêndice I – Questionários Aplicados _____	136

Apêndice II – Outras Técnicas para Avaliar a Consciência Situacional _____	145
II.1. Situational Awareness-Linked Instances Adapted to Novel Tasks (SALIENT) _____	145
II.2. China Lake Situational Awareness (CLSA) _____	145
II.3. Crew Awareness Rating Scale (CARS) _____	146
II.4. Situational Awareness Supervisory Rating Form _____	147
II.5. Quantitative Analysis of Situational Awareness (QUASA) _____	147
II.6. Process Indices _____	147
Anexo – Artigo Publicado _____	149

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2-1 – Esquemático de uma planta de processamento _____	8
Figura 2-2 - Esquema hierárquico do Sistema de Supervisão e Controle _____	12
Figura 2-3 – Estados da planta de processo. Baseado em (EEMUA, 2007) _____	16
Figura 2-4 – Tela de monitoramento para a operação (editado) _____	17
Figura 2-5 – Desvio de variável _____	18
Figura 2-6 – Ilustração de interface de sumário de alarmes _____	21
Figura 3.1. Modelo da consciência situacional no processo de tomada dinâmica de decisão (ENDSLEY, 1995) _____	34
Figura 3-2 – Os 3 níveis da consciência situacional pela definição de Endsley (STANTON, et al., 2001) _____	36
Figura 4-1 – Sinal, ícone ou símbolo na leitura de um medidor (para exemplo no texto) _____	57
Figura 5-1 – Diagrama de blocos para o SAAI _____	69
Figura 5-2 – Exemplo de curva de Prioridade em Tempo-Real x Tempo de Resposta Disponível ____	74
Figura 5-3 - Ilustração da interface SAAI _____	78
Figura 5-4 – Exemplo de associação entre alarme e variáveis (ver texto) _____	81
Figura 7-1 – Ilustração da interface do SAAI (reprodução da Fig. 5-3, anotada) _____	91
Figura 7-2 – Esquema do ambiente de treinamento (AmbTrei) _____	92
Figura 7-3 – Aparato usado nos experimentos _____	93
Figure 7-4 – Interface de monitoramento para os trens de produção _____	94
Figura 7-5 – Processo de produção de óleo _____	96
Figura 7-6 – Diagrama dos passos de cada experimento _____	98
Figura 7-7 – Resultados para SAGAT por nível de CS e global _____	100
Figure 7-8 – SAGAT – Quantidade de pontuações acima e abaixo do valor de corte de 50% de CS_	100
Figure 7-9 – Resultados para SART por componente e para CS _____	102
Figura 7-10 – SART – Quantidade de questionários com ao menos 50% de CS _____	102
Figura 7-11 – Pontuação por componente e para CC-SART _____	103
Figura 7-12 – Quantidade de resultados com ao menos 50% de CC _____	104
Figura 7-13 – Resultados do cs3 por nível de CS e geral _____	105
Figura 7-14 – Quantidade de questionários acima e abaixo do valor de corte de 50% uCS _____	105
Figura 7-15 – Sumário dos resultados: (a) médias CS; e (b) quantidade de resultados $\geq$ 50% CS ____	110

## LISTA DE TABELAS

Tabela 4-1 – Eventos em sistemas complexos, baseado em (VICENTE, e RASMUSSEN, 1992) ____	51
Tabela 4-2 – Abstração hierárquica, exemplo em 5 níveis (JAMIESON, 1998) _____	54
Tabela 4-3 – Paralelo entre taxonomia SRK e os níveis da CS, baseado em (BURNS et al., 2008) ____	64
Tabela 5-1 – Tempo de Resposta em função do TRD (PETROBRAS, 2011) _____	71
Tabela 5-2 – Priorização conforme danos a pessoas pela N-2900 (PETROBRAS, 2011) _____	71
Tabela 5-3 – Priorização conforme danos ao meio-ambiente pela N-2900 (PETROBRAS, 2011) ____	72
Tabela 5-4 – Priorização conforme danos a ativos (e a produção) pela N-2900 (PETROBRAS, 2011) 72	72
Tabela 5-5 – Faixas de prioridade de tempo-real _____	73
Tabela 5-6 – Alarmes para o exemplo do texto. almR será o de maior prioridade, almQ o de menor _	75
Tabela 5-7 – Modelo de abstração hierárquica (AH) para a interface de alarmes do SAAI _____	76
Tabela 5-8 – Níveis de Consciência Situacional x Taxonomia SRK x Interface SAAI _____	80
Tabela 6-1 – As três dimensões da CC-SART e o modelo SRK. _____	87
Tabela 7-1 – Dados dos participantes do experimento (dp: desvio-padrão) _____	95
Tabela 7-2 – Resultados do questionário SAGAT. (DP: Desvio-Padrão.) _____	100
Tabela 7-3 – Resultados do questionário SART _____	102
Tabela 7-4 – Resultados do questionário CC-SART _____	103
Tabela 7-5 – Resultados para cs3 _____	106
Tabela 7-6 – Comparação para SAGAT. (BURNS et al., 2008) avaliou níveis 2 e 3 conjuntamente	107
Tabela 7-7 – Comparações da técnica SART _____	108
Tabela 7-8 – Pontuação para cada medição da consciência situacional _____	111
Tabela II.1 – Escala CLSA (GAWRON, 2008) _____	145
Tabela II.2 – CARS (GAWRON, 2008) – editado _____	146

## ACRÔNIMOS

<b>AmbTrei</b>	Ambiente de Treinamento de Operadores de Processo
<b>CC-SART</b>	<i>Cognitive Compatibility SART</i> (SART para Compatibilidade Cognitiva)
<b>CLP</b>	Controlador Lógico-Programável (o mesmo que PLC)
<b>CS</b>	Consciência Situacional (o mesmo que SA)
<b>cs3</b>	Questionário de Consciência Situacional – modelo de três níveis
<b>EID</b>	<i>Ecological Interface Design</i> – Projeto de Interface Ecológica
<b>FPSO</b>	<i>Floating Production, Storage and Offloading</i> – navio-plataforma para produção, armazenamento e exportação de petróleo
<b>PAH</b>	<i>Pressure Alarm High</i> – Alarme de Pressão Alta
<b>PLC</b>	<i>Programmable-Logic Controller</i> – Controlador Lógico-Programável
<b>SA</b>	<i>Situation Awareness</i> – Consciência Situacional
<b>SA L1</b>	<i>SA Level 1</i> – CS Nível 1 (Percepção)
<b>SA L2</b>	<i>SA Level 2</i> – CS Nível 2 (Compreensão)
<b>SA L3</b>	<i>SA Level 3</i> – CS Nível 3 (Projeção)
<b>SAAI</b>	Sistema Avançado de Alarmes Inteligentes
<b>SAGAT</b>	<i>Situation Awareness Global Assessment Technique</i> – Técnica de Avaliação Global da Consciência Situacional
<b>SAh</b>	<i>Situation Awareness helpfulness</i> (utilidade para a CS, medido pelo <b>cs3</b> )
<b>SART</b>	<i>Situation Awareness Rating Technique</i> – Técnica de Avaliação de Consciência Situacional
<b>SG</b>	Separador de gás
<b>TO</b>	Tratador de óleo
<b>VP</b>	Variável de processo

## 1. INTRODUÇÃO

Processos como os de produção ou refino de petróleo, de geração de energia elétrica, nuclear ou convencional, ou de controle de um avião, dispõem de avançados sistemas de automação e controle. Embora a participação do ser humano na operação diminua em consequência dessa automação, a contribuição do operador humano ainda pode ser crucial (BAINBRIDGE, 1983).

Sem os sistemas de automação, a operação desses processos seria inviável. Às vezes, no entanto, esses sistemas não são suficientes para lidar com alguma anomalia, e recorrem ao operador por meio de um alarme pedindo sua intervenção. O operador (ou a operadora<sup>1</sup>) do processo, nesse momento, é uma importante linha de defesa: ele tem que compreender e avaliar a situação do processo e decidir que ação tomar. E, em seguida, atuar para normalizar o processo.

O operador atua pela interface operacional, que inclui a interface de alarmes. A interface deve ajudar nesse processo de decisão. Porém, muitas vezes, não é o que acontece: por exemplo, um excesso de informação na interface pode prejudicar a compreensão da situação do processo.

### 1.1. Objetivo

O objetivo desta pesquisa é a avaliação do uso de interfaces ecológicas como solução para o problema da perda de consciência situacional pelo operador de processo ante uma avalanche de alarmes. A abordagem de projeto de interface ecológica (*Ecological Interface Design* – EID) pode resultar em interfaces com melhor desempenho em eventos não previstos no projeto de plantas de processo. No evento de uma avalanche, não é possível prever a combinação de alarmes. A avalanche, alarmes sendo ativados mais rapidamente do que a capacidade dos operadores de responder, prejudica a detecção de alarmes, a compreensão da situação e a capacidade do operador

---

<sup>1</sup> A palavra “operador” e o gênero masculino são utilizados neste texto no sentido gramatical de generalização, isto é, o gênero masculino referindo-se a pessoa (ou pessoas) de gênero não especificado.

de prever a evolução do processo, ou seja, a avalanche de alarmes prejudica a consciência situacional do operador.

A consciência situacional (CS) é requisito para uma melhor tomada de decisão. Para avaliar a interface quanto a CS, será necessário medir a CS. Medir a CS, uma propriedade cognitiva, não é trivial, existem diferentes técnicas para essa avaliação. Três técnicas das mais citadas na literatura pertinente são adaptadas para avaliar uma nova interface ecológica de alarmes e a interface tradicional de sumário de alarmes. Uma quarta técnica é proposta neste trabalho para avaliar a CS de interfaces de alarmes. Um protótipo de um sistema avançado de alarmes, do qual faz parte a nova interface, é instalado em um ambiente de simulação dinâmica de processos. A nova interface é configurada, e as técnicas para avaliar a CS são aplicadas a um determinado cenário: uma simulação executada com a participação de operadores de processo.

A pesquisa originada desse trabalho apresenta resultados com os quais se pretende mostrar que uma interface ecológica de alarmes, buscando trazer informações mais holísticas do processo em um monitor dedicado, pode levar a um melhor entendimento do estado do processo. Uma melhor consciência situacional consequentemente conduz a um melhor processo de tomada de decisão pelos operadores.

“Consciência situacional” não é um conceito amplamente difundido, no Brasil, na avaliação e desenvolvimento de interfaces operacionais na indústria do petróleo. Encontramos um trabalho, apresentado em conferência da indústria petrolífera, em que a utilização desse conceito é discutida (SILVA JR., *et al.*, 2014). Em outras áreas, a utilização do conceito de consciência situacional parece mais disseminada, como, por exemplo, na aviação (HENRIQSON, *et al.*, 2009) (URUGUAY, e HIRATA, 2008) e na geração nuclear (CARVALHO, *et al.*, 2008).

## **1.2. Motivação**

Em 20 de Março de 2001, a plataforma Petrobras 36 (P-36) afundou a 150 km da costa matando onze de seus tripulantes. Um dos aspectos ressaltados em estudos de caso sobre esse acidente foi o disparo de 1723 alarmes em 17 minutos, logo no início da



cadeia de eventos que resultou no afundamento da plataforma. Não havia um sistema que priorizasse todos esses alarmes ou que ajudasse os operadores a lidar com essa quantidade de alarmes (NASA, 2008).

Embora essa grande quantidade de alarmes não tenha sido a causa do acidente, ficou clara a necessidade de se buscar meios de melhorar o desempenho dos sistemas de alarmes e de operação. O acidente da P-36 motivou o lançamento do Programa de Excelência Operacional (PEO), que incluiu novas práticas no gerenciamento de alarmes, com melhorias substanciais dos indicadores nas unidades de produção (redução na quantidade de alarmes por dia, ou por hora, redução na quantidade de alarmes espúrios por problemas de ajuste de limites).

Desde 2010, existe uma norma da Petrobras (já revisada) formalizando como deve ser a gerência de alarmes na companhia: a N-2900, Gerenciamento de Alarmes (PETROBRAS, 2011).

Essa norma trata desde a definição do conceito de alarme, que deve implicar uma ação definida do operador, até a priorização de cada alarme no momento de sua configuração (cadastramento) no sistema de alarmes.

A abordagem preconizada pela N-2900, como também pelo guia *Alarm Systems: a Guide to Design, Management and Procurement* (EEMUA, 2007), e pela norma ANSI/ISA 18.2, *Management of Alarm Systems for the Process Industries* (ANSI/ISA, 2009), base para a N-2900, é essencial na definição de uma filosofia e de uma prática de gerenciamento de alarmes, e as melhorias obtidas com sua aplicação são reconhecidas. Porém, essa abordagem pode não ser suficiente em determinadas situações na prática operacional. Tanto o guia EEMUA (2007) quanto a norma ANSI/ISA (2009) preveem o desenvolvimento de métodos avançados de tratamento de alarmes.

Tipicamente, a cada alarme corresponde uma determinada variável, e uma falha pode levar a diversas variáveis sofrendo desvios indesejáveis que resultam em alarmes num efeito dominó, isto é, o desvio de uma variável provoca outros desvios, que provocam outros alarmes, o que resulta numa “cascata” ou “avalanche de alarme” (ou ainda “inundação de alarmes”, do inglês, *alarm flood*). Avalanches de alarmes ocorrem com frequência em processos de geração de energia nuclear ou convencional, em

processos químicos, de mineração (LARSSON, e DEBOR, 2007), e na produção de petróleo.

Essa avalanche causa uma sobrecarga de informação para o operador e pode ocorrer mesmo havendo o gerenciamento de alarmes – isto é, cada alarme foi corretamente configurado e, isoladamente, corretamente disparado, mas muitos alarmes são consequências de outros, e torna-se difícil para o operador saber a quais alarmes deve dar atenção prioritariamente.

Essa sobrecarga de informação dificulta o entendimento da situação e pode tornar os alarmes anunciados inúteis, pois o operador não tem como lidar com a grande quantidade de alarmes resultante (LARSSON, e DEBOR, 2007) (LI *et al.*, 2011).

Uma interface de alarmes concebida visando a apoiar o operador na percepção das condições do processo, na sua compreensão e na previsão de sua evolução, evitando a sobrecarga de informação, certamente aumenta a eficiência e a segurança na operação de processos, particularmente no processo de produção em plataformas de petróleo.

### **1.3. Estrutura deste Texto**

Este texto apresenta o resultado de uma pesquisa sobre o desenvolvimento e a avaliação de um protótipo para uma nova interface de alarmes voltada a prover melhor entendimento de uma situação crítica pelo operador.

O domínio inicial de aplicação do protótipo é a supervisão de um processo de produção numa plataforma de petróleo, apresentado resumidamente no Capítulo 2.

O Capítulo 3 apresenta o conceito de “consciência situacional” (*situational awareness*), considerado requisito para a tomada de decisão pelo operador. A consciência situacional (CS) serve como uma figura de mérito para o quanto a interface ajuda o operador a entender a situação do processo possibilitando seu retorno à faixa normal de operação.

O Capítulo 4 traz um resumo descritivo da abordagem de “projeto de interface ecológica” (*Ecological Interface Design – EID*). A abordagem EID procura estender os

benefícios das interfaces de manipulação direta de objetos virtuais para domínios como os sistemas de supervisão do processamento de petróleo.

A nova interface de alarmes é apresentada no Capítulo 5. Seu desenvolvimento foi norteado pela abordagem EID. Essa interface é parte do Sistema Avançado de Alarmes Inteligentes (SAAI), implementado pela COPPE em convênio com o Centro de Pesquisas da Petrobras (CENPES).

Técnicas para medir a consciência situacional são descritas no Capítulo 6. As métricas apresentadas foram usadas para a avaliação do protótipo da nova interface, e para comparação com a interface tradicionalmente utilizada para o tratamento de alarmes.

O Capítulo 7 descreve o experimento de avaliação, quando foi medida a consciência situacional de operadores profissionais experientes executando determinado cenário em um ambiente de simulação dinâmica, o Ambiente de Treinamento de Operadores de Produção (AmbTrei), situado na unidade de Benfica, Rio de Janeiro, do Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (SENAI).

Este texto se conclui com o Capítulo 8, onde são feitas considerações finais assim como sugestões de trabalhos futuros.

#### **1.4. Síntese do Capítulo**

O operador é elemento essencial em processos de produção, e a interface operacional deve ajudá-lo em sua “consciência situacional” – a percepção das condições do processo, sua compreensão e a previsão de sua evolução.

O objetivo desta tese é avaliar, sob o critério da consciência situacional, uma interface inteligente de alarmes projetada e configurada sob uma abordagem de projeto de interface ecológica. Essa interface visa evitar a sobrecarga de informações para o operador sob avalanche de alarmes e apoiar sua consciência situacional.

Após esta Introdução, o domínio de supervisão de processo de produção numa plataforma de petróleo é apresentado no próximo capítulo.

## 2. SUPERVISÃO DO PROCESSO E ALARMES

Este capítulo apresenta o domínio de aplicação para o protótipo da interface de alarmes do SAAI (descrita no Capítulo 5): a supervisão do processo em uma plataforma marítima de produção de petróleo.

### 2.1. Processamento do Petróleo

Esta seção é retirada do trabalho (SATUF, 2008), com as devidas adaptações.

A maior parte do petróleo brasileiro está sob o mar. O petróleo encontra-se em reservatórios subterrâneos, abaixo de mil a cinco mil metros de rocha, sob uma profundidade que varia de menos de 100m a mais de 2 mil metros da superfície do mar, a uma distância que chega a cerca de 300km da costa.

O petróleo é uma mistura constituída por compostos químicos orgânicos (hidrocarbonetos) (THOMAS, 2001). Nos reservatórios de petróleo *offshore* (no mar) encontram-se, além do petróleo (ou óleo cru), água e gás.

O óleo e o gás (hidrocarbonetos) têm interesse comercial. A água, não. Devido à distância do campo de produção até a terra, torna-se necessário instalar unidades (fixas ou flutuantes) de produção para realizarem o processamento primário do petróleo (PPP), descartar a água, depois de tratada, eventualmente armazenar o óleo processado (nos navios-plataformas de produção, armazenamento e exportação, ou *floating production, storage and offloading* – FPSOs), e exportar os produtos (bombear o óleo para navios de transporte e comprimir o gás para gasodutos).

Nessas unidades de produção, os principais objetivos são exportar o óleo, com o mínimo de água, e exportar o gás, o mais seco possível (sem umidade, para evitar corrosão das linhas e outros problemas). Os principais indicadores de qualidade são: o BSW (*Basic Sediments and Water*), medida da quantidade de água e sedimentos; e a salinidade do óleo.

O processamento primário, para atingir tais objetivos, envolve (THOMAS, 2001):

- a separação das fases óleo, gás e água;
- o tratamento ou condicionamento dos hidrocarbonetos para que possam ser transferidos para as refinarias, onde os produtos como gasolina, nafta e diesel, são obtidos; e
- o tratamento da água para descarte (ou reinjeção no reservatório).

Uma planta de PPP é bastante complexa, incluindo o condicionamento e a compressão do gás, tratamento e estabilização do óleo, além do tratamento da água produzida juntamente com o óleo. A produção, apenas considerando o óleo, pode ser de 50 mil barris por dia (bpd), 100 mil bpd, ou mais. Comparada a uma planta de refino, a planta de processamento primário é mais simples. Porém, a entrada de óleo na planta de refino é estável, já o fluxo de petróleo para a plataforma dificilmente tem um comportamento estável.

O petróleo produzido passa inicialmente por vasos separadores, que podem ser bifásicos (separam o gás do líquido, mistura de óleo e água) ou trifásicos (separam o gás do líquido e a água do óleo).

A separação é baseada nos seguintes mecanismos:

- decantação, que ocorre pela diferença de densidades e pela gravidade;
- separação inercial: mudanças bruscas de velocidade e de direção do fluxo;
- aglutinação de partículas: contato das gotículas de óleo dispersas em uma superfície, o que facilita sua coalescência, aglutinação e consequente decantação; ou
- força centrífuga: que aproveita as diferenças de densidade entre o líquido e o gás.

A Figura 2.1 apresenta um esquema de uma planta de produção de óleo (da plataforma semissubmersível Petrobras 26, P-26, tomada como referência). O petróleo é expulso do reservatório pela alta pressão a que está submetido. Vários poços são explotados (isto é, explorados com fins econômicos) pela mesma plataforma, então as linhas de produção se reúnem em *manifolds* (coletores). Na plataforma, existe um coletor para cada trem (conjunto de equipamentos) de produção.

A planta do exemplo apresenta dois trens de produção (trem A e trem B), cada um constituído por um separador trifásico de produção, de alta pressão, e um tratador eletrostático de óleo (TO). Esses TOs submetem o fluxo de líquido a um campo eletrostático que ajuda a remover grande parte da água que não foi retirada no separador de produção.

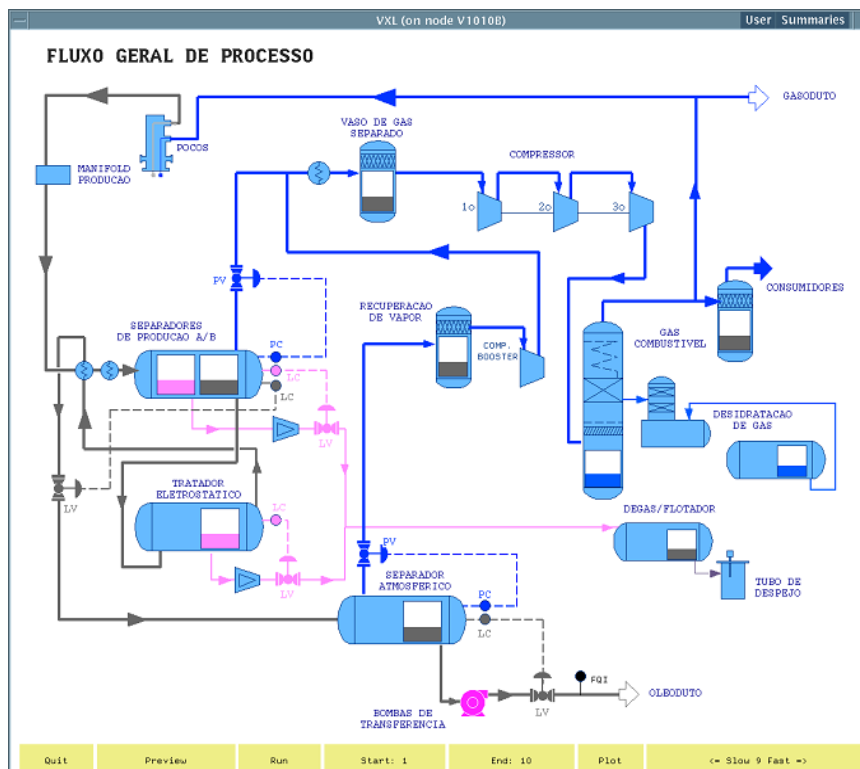


Figura 2-1 – Esquemático de uma planta de processamento

Os fluxos dos trens de produção A e B convergem para o separador atmosférico, que opera à pressão atmosférica (daí sua denominação), onde o óleo é estabilizado e de onde é exportado, por bombas de transferência, para navios de transporte ou para um oleoduto, ou, no caso de FPSOs, de onde é transferido para tanques de armazenamento até ser exportado.

O gás produzido é tratado e passa por um compressor de vários estágios. Pode ser consumido para geração de energia na própria plataforma, exportado por gasoduto ou reinjetado no processo de *gas-lift*, que permite ganhos de produção, diminuindo a densidade do petróleo (e da água) sendo elevado do fundo do mar para a plataforma.

Em determinadas situações, caso não possa ser consumido, nem reinjetado nem exportado, o gás poderá ser queimado de forma controlada em um equipamento chamado tocha ou *flare*.

A água produzida junto com o óleo não tem interesse comercial. Algumas vezes ela é reinjetada no reservatório, onde ajuda a manter a pressão alta, facilitando a retirada do petróleo. Em geral, a água produzida é descartada no mar, após tratamento para remoção de óleo residual. E água do mar é tratada e injetada no reservatório.

Não estão mostrados na figura diversos outros equipamentos, como aquecedores, que aumentam a temperatura e facilitam a separação do óleo, sistemas de água quente e de água de resfriamento, geradores de eletricidade e outros. Esse conjunto é conhecido como “utilidades de produção”, ou “utilidades” simplesmente.

## **2.2. Operação e Supervisão do Processo**

O processo é operado por “operadores de processo”. Os operadores tem como função assegurar que o processo ocorra dentro dos limites de segurança, do projeto da planta e do especificado como condição normal para o processo (NAZIR, et al., 2012). As decisões e ações tomadas por um operador (ou pelos operadores) podem tanto levar a mau funcionamento do processo (e até a acidentes), como garantir a operação normal e segura da planta (*id.*, *ibid.*).

Nas últimas décadas, tem havido uma crescente automação da operação e do controle do processo, passando o operador a ter cada vez menos a função de aplicar força para manobrar equipamentos (como abrir ou fechar válvulas), e mais a função de monitorar e supervisionar o processo, intervindo quando necessário para que a operação da planta atinja os objetivos pré-estabelecidos.

Os operadores podem ser agrupados em “operadores de console” e “operadores de campo”. Operadores de console supervisionam o processo como um todo a partir de uma sala de controle por meio de consoles onde interagem com sistemas de supervisão e controle (SSCs). Os SSCs (ver Seção 2.3) permitem que os operadores de console monitorem e atuem sobre o processo. Isto é, os operadores podem acompanhar a variação das variáveis de processo (temperatura, pressão, etc.) e enviar comandos para equipamentos (por exemplo, partir ou parar bombas, abrir ou fechar válvulas) para alterar as condições do processo, quando estas não são as desejáveis.

Por diversas razões, nem todos os equipamentos da planta de processo são remotamente operáveis: alguns equipamentos exigem a presença de um operador no local ou exigem uma operação assistida. Por exemplo, uma válvula raramente operada pode ser de acionamento manual (e local), não sendo economicamente viável instalar um acionamento remoto, que introduz custos. Operadores de campo são chamados por rádio ou telefone pelos operadores de console e, sob a coordenação destes, realizam manobras na planta de processo. Ademais, os operadores de campo são os olhos e ouvidos dos operadores de console na planta, pois têm uma percepção local das condições do processo.

Operadores contribuem essencialmente para a segurança da planta e podem ser considerados como uma camada de proteção para o processo (MYERS, 2013). Imprevistos acontecem diariamente e fazem parte da rotina dos operadores (MAIA, 2015). Podem surgir anomalias nas condições de operação, faltar procedimentos formalizados, podem ocorrer vazamentos, e também podem ocorrer erros humanos, como aponta (NAZIR, *et al.*, 2015) para a indústria petroquímica. O mesmo se aplica na produção de petróleo, domínio correlato quanto a supervisão de processos. Essas anomalias e incidentes podem causar a parada emergencial do processo para evitar danos que podem ter grandes consequências, envolvendo fatalidades, poluição ou prejuízos significativos. Cabe aos operadores evitar e mitigar os danos possíveis e



reiniciar o processo, após serem verificadas as condições para tanto. Pelo grande investimento envolvido, uma plataforma de petróleo é projetada para produzir continuamente, com um alto grau de disponibilidade (tipicamente 95%) (EDWARDS, e GORDON, 2015).

A tendência de automatizar o processo é crescente, mas a presença de operadores no campo e a supervisão dos operadores de console (na própria planta, na sala de controle central, ou à distância, em salas de controle remotas) ainda se fazem necessárias. Além das anomalias, ocorrem variações naturais no processo (e.g., a vazão de produção varia, podem ocorrer golfadas), e podem acontecer falhas de equipamentos. A própria planta, um sistema complexo, com diversos subsistemas e sensível a falhas, passa por adaptações paulatinamente, às quais a operação se adapta.

Algumas unidades marítimas são normalmente desabitadas. São plataformas fixas, tipicamente em águas de pouca profundidade, sem processamento do óleo produzido. Essas unidades normalmente desabitadas, de menor custo, elevam o óleo e o escoam para outra unidade, onde será processado. Essas plataformas são desabitadas, mas não “destripuladas”, isso é, são operadas remotamente (de terra, ou de outra plataforma). Pelos custos reduzidos, há o interesse no desenvolvimento de plataformas desabitadas, ou minimamente habitadas, conjugado com a operação integrada (ou gerenciamento digital integrado) de campos de produção (EDWARDS, e GORDON, 2015).

Os operadores supervisionam o processo, supervisionam o controle do processo, e supervisionam-se entre si, seja evitando consequências de eventuais erros, seja na rotina de comunicação e coordenação entre operadores de console e de campo.

### **2.3. Sistema de Supervisão e Controle**

Para operar toda a planta, que é altamente automatizada, existem instrumentos eletrônicos espalhados, sensores, transmissores e atuadores (elementos finais de controle), que mandam e recebem sinais para controladores de alto desempenho (controladores lógico-programáveis, CLPs – ou PLCs na sigla do inglês), computadores dedicados ao controle do processo.

A estação de operação, por meio da qual o operador supervisiona o processo, é parte do sistema de supervisão e controle (SSC) do processo. Esse sistema inclui, como o nome sugere, o sistema de supervisão propriamente dito, e o sistema de controle e segurança do processo.

A Figura 2-2 (adaptada de (ANSI/ISA, 2009)) mostra um esquema hierárquico simplificado do sistema de supervisão e controle em três níveis: o nível de instrumentação de campo, o nível do sistema de controle e segurança, e o nível do sistema de supervisão.

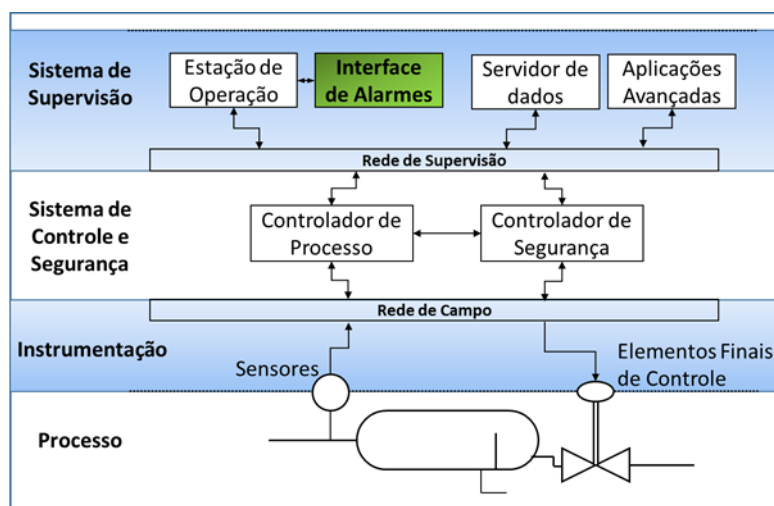


Figura 2-2 - Esquema hierárquico do Sistema de Supervisão e Controle

O nível de instrumentação está próximo ao processo sendo controlado e supervisionado (o processamento primário na produção de petróleo). São os sensores e transmissores, que têm a função de enviar os sinais das variáveis de processo para o nível acima, o de controle. E são os elementos finais de controle, ou atuadores, que recebem os comandos do nível acima e modificam o estado de equipamentos da planta de forma a modificar as condições do processo. Os sinais transitam entre os níveis de instrumentação e de controle pela chamada rede de campo.

O nível do sistema de controle e segurança, o segundo nessa hierarquia, tem a função de manter o processo na faixa normal de operação, conforme as condições de operação e segurança previstas no projeto do processo. Nesse nível encontram-se os

controladores de processo. No caso de plataformas de produção de petróleo, são utilizados controladores lógico-programáveis (os CLPs). Controladores de processo executam a lógica essencial de controle, compondo o sistema básico de controle de processo (ou *basic process control system* – BPCS). Esses controladores executam o controle regulatório, baseado no algoritmo PID (proporcional-integral-derivativo, algoritmo de larga utilização na indústria), com tempos de processamento e resposta de poucos décimos de segundo.

Nesse mesmo nível, está o controlador de intertravamento e segurança. Esse controlador provoca uma parada emergencial do processamento (*emergency shutdown* – ESD) em caso de uma perturbação que leve o processo para além da faixa de controle – o que pode representar um risco de segurança.

O terceiro nível na Figura 2–2, é o do sistema de supervisão, onde se encontram as estações com as quais os operadores da sala de controle interagem. Embora haja operação no campo, é nesse nível de supervisão que as principais decisões operacionais são tomadas.

As estações de operação executam o programa de supervisão (o “supervisório”), que serve de interface entre o operador de console e o processo, e entre o operador de console e o sistema de controle e segurança. Essas estações também executam outras aplicações, ditas avançadas por não fazerem parte da lógica básica de controle. O supervisório e as aplicações avançadas recebem os dados de servidores, computadores que tem a função de receber e enviar sinais para os controladores de processo e de segurança. A comunicação entre os controladores e os servidores de dados, e entre estes e as estações de operação ocorre pela rede de supervisão.

Os tempos de processamento e resposta nesse terceiro nível podem variar de alguns segundos (aplicações no supervisório e avançadas) a minutos ou dezenas de minutos (resposta de operadores a algum evento). Aplicações avançadas de alarmes, como o Sistema Avançado de Alarmes Inteligente (SAAI, Capítulo 5), situam-se nesse nível de supervisão.

A instrumentação de campo, o sistema de controle, o sistema de supervisão e outros sistemas de automação instalados, como, por exemplo, o sistema de segurança de

processo, são subsistemas que formam o sistema de automação da planta. Neste trabalho, a expressão “sistema de automação” se refere ao sistema de automação da planta como um todo (exceto onde indicado). O termo “automação” será usado genericamente para algum automatismo ou sistema de automação.

Cada operador atua por sua respectiva estação de operação (console), além de comunicar-se com os outros operadores (de console ou de campo). A comunicação entre o operador e o sistema de supervisão e controle (e o sistema de automação em geral) é feita pela interface de usuário, chamada de interface operacional ou de operação. Neste trabalho, quando não indicado de outra forma, o termo “interface” refere-se à interface de usuário.

A principal interface de operação é a interface do supervisor, configurada para permitir a supervisão do processo e da planta (incluindo equipamentos de produção, bombas, instrumentos como válvulas, o próprio sistema de supervisão e controle e outros sistemas que lhe sejam conectados). A interface do supervisor envolve a interface (ou janelas) de monitoramento do processo, as janelas de comandos e sua interface de alarmes. O acompanhamento do processo é feito pelas janelas de monitoramento. Ao se “clique sobre um equipamento que admita comandos, como uma bomba, a respectiva janela de comandos é aberta.

A interface de alarmes do supervisor inclui a indicação de alarme nas janelas de monitoramento, uma subjanela de alarmes no topo das janelas de monitoramento, onde é possível ver um único alarme (o mais recente), e a janela de lista de alarmes ou sumário de alarmes.

O supervisor é a “janela” pela qual o operador da sala de controle vê o processo. Esse operador não tem contacto direto com a planta, não fica ao lado de um equipamento real, abrindo e fechando válvulas manualmente, mas olhando para vários equipamentos virtuais e pressionando os botões de um *mouse* ou *trackball*. Ele não tem contato físico com partes da planta. Ele deve ter a visão geral do processo.

## 2.4. Alarmes

Alarme é um meio de indicar ao operador (ou à equipe de operação) que (genericamente) uma condição anormal requer uma ação em resposta (ANSI/ISA, 2009). Condições anormais incluem um mau funcionamento de equipamento, ou um desvio do processo (das condições desejadas). Tipicamente, há um tempo restrito para a ação do operador, e, em geral, a cada alarme corresponde uma determinada variável sendo monitorada.

Sistema de alarmes é o conjunto de equipamentos e programas que detectam uma condição de alarme, comunica essa condição ao operador e registra as alterações no estado do alarme (ANSI/ISA, 2009). Esse sistema inclui desde o sistema de supervisão e controle (SSC), e aplicações avançadas de alarmes, até, no limite, os sensores e os elementos finais de controle. Este trabalho concentra-se na interface de sumário de alarmes (ver a seção 2.5), na consciência situacional (ver o Capítulo 3) do operador e em um novo sistema, a ser agregado ao sistema de alarmes, e na sua interface (Capítulos 4 e 5).

Uma situação (ou condição) anormal, conforme o consórcio norte-americano para Gerenciamento de Situações Anormais (*Abnormal Situation Management Consortium – ASM*), é uma perturbação (ou uma série de perturbações) em um processo de tal forma que é necessária a intervenção do operador, além da ação do sistema de controle (BULLEMER *et al.*, 2008), para fazer com que o processo retorne à condição normal de operação ou para reduzir as consequências dessa perturbação. A situação anormal (ou anomalia) evolui e se altera ao longo do tempo em processos dinâmicos, aumentando, conseqüentemente, a complexidade da intervenção necessária (BULLEMER *et al.*, 2008).

Satisfeitas condições técnico-metodológicas (haver procedimento, tempo suficiente, treinamento), a combinação de alarme e ação de operadores pode ser considerada como uma camada de proteção para o processo, tal como definido em metodologias de análise de risco (CCPS, 2001) (MYERS, 2013). Se não ocorrer a ação apropriada em resposta a um alarme (ou conjunto de alarmes), a proteção do processo pode ser comprometida.

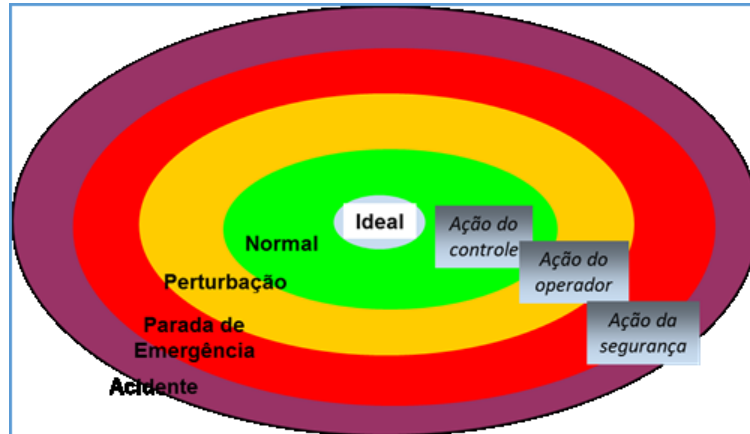


Figura 2-3 – Estados da planta de processo. Baseado em (EEMUA, 2007)

Na Figura 2.3, são apresentados possíveis estados da planta de processo. Se o processo e suas entradas e saídas se comportassem de maneira ideal (ou seja, um processo sem variações na entrada), não haveria necessidade nem de operador, nem de sistema de controle. Mas isso é uma idealização.

No estado normal de operação, isto é, nas condições delimitadas pela especificação do projeto do processo para o qual a planta foi construída, as perturbações são tratadas pelo sistema de controle automático. Na sala de controle, o operador fica atento ao sistema de supervisão (o supervisório), pelo qual acompanha (monitora) o processo. Enquanto o processo estiver nessa faixa normal, as operações referem-se principalmente aos objetivos de produção ou são atividades de rotina.

Um alarme deve ser ativado quando o processo estiver passando do estado normal para o de perturbação não controlada, ou seja, para uma condição anormal que requeira a ação do operador além da ação do sistema de controle. O anúncio dos alarmes é feito em uma janela do sistema de supervisão sempre visível ao operador (ver Figura 2.4, no destaque, com fundo branco). Pelo seu tamanho, somente é possível ver um número limitado de alarmes nessa janela (no supervisório da plataforma Petrobras P-26, por exemplo, vê-se apenas um alarme ativo).

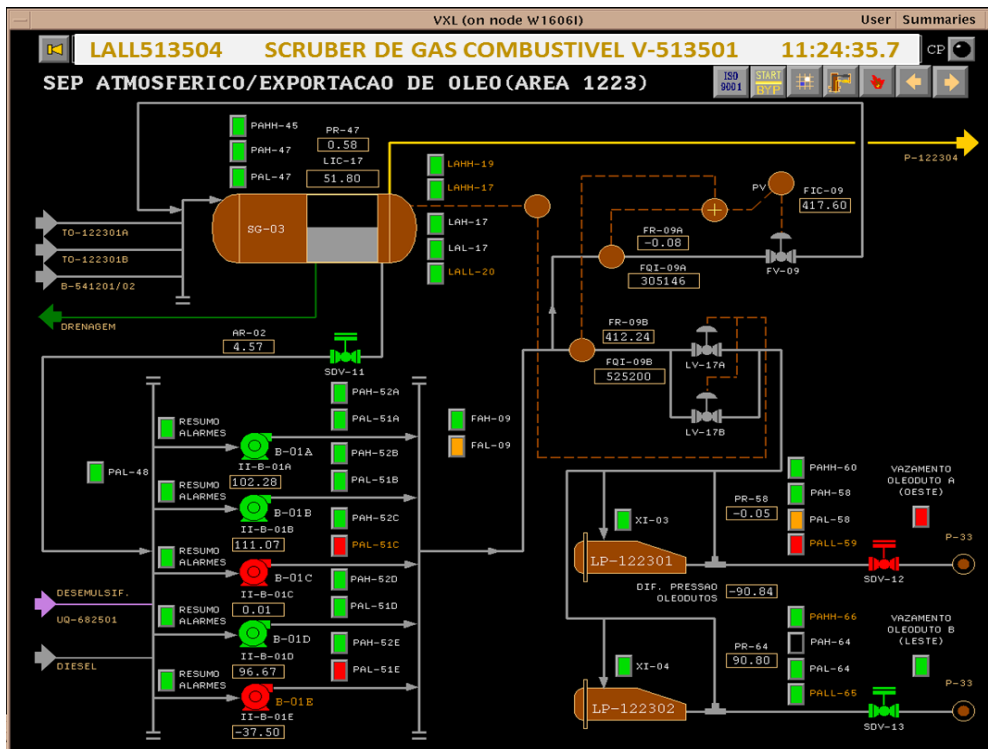


Figura 2-4 – Tela de monitoramento para a operação (editado)

Além do anúncio textual na janela de alarme, há indicadores nas diversas telas de operação. Na Figura 2.4, vemos a tela de operação do separador atmosférico e da exportação de óleo da P-26, com indicadores (“pastilhas”) em vermelho ou em laranja (alarmes ativos, cores conforme provocam ou não parada do processo), e outros em verde (situação normal).

A Figura 2.5 mostra uma possível evolução de uma anomalia referente ao desvio de uma determinada variável de processo, para a qual um alarme foi definido. Se passa da faixa normal, o alarme é ativado, e a tarefa do operador é identificar o problema e tomar ações para repor o processo em produção. Se essas ações não forem suficientes por alguma razão, o processo pode ser parado pelo sistema de intertravamento de segurança, ocorrendo uma parada de emergência (*Emergency Shutdown* ou ESD). Se essa parada não for suficiente para interromper os eventos consequentes (ou, se por alguma razão, a parada de emergência não ocorrer), a situação pode evoluir para um acidente, e ações emergenciais da equipe de segurança serão necessárias.

A parada de emergência não é algo desejável (muito menos, o acidente), o desejável é manter o processo operando e produzindo, e o alarme deve ser disparado de forma que o operador tenha tempo de agir e recolocar o processo em condição normal sempre que possível, antes que ocorra a atuação do sistema de parada de emergência. Os alarmes são definidos durante o projeto da planta, assim como os valores dos limites das variáveis que, se ultrapassados, provocam o disparo do alarme respectivo.

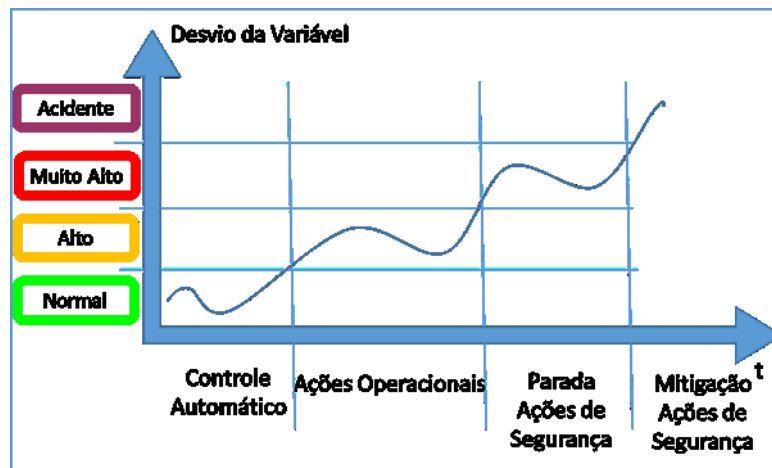


Figura 2-5 – Desvio de variável

Neste trabalho, as anomalias que geram alarmes são consideradas anomalias previstas em projeto: a causa-raiz da anomalia não é previsível, mas a detecção do desvio da variável de processo foi prevista e gera o disparo de um alarme definido durante o projeto. O conceito de anomalia prevista é derivado dos conceitos de *anticipated events*, eventos previstos pelo projetista, e *unanticipated events*, eventos não previstos pelo projetista (ver Capítulo 4). Uma situação anormal não prevista (*unanticipated abnormal situation*) é um caso particular de evento não previsto (VICENTE, e RASMUSSEN, 1992).

Ainda que o alarme represente um desvio previsto em projeto, a combinação de alarmes não é possível de ser prevista. Ou seja, não é possível prever a combinação de anomalias ou desvios que geram alarmes – exceto quando se trata de anomalias consequentes de outras anomalias.



Por exemplo, a parada de uma bomba provoca pressão baixa na descarga, o que pode disparar um alarme – é uma situação prevista em projeto. A causa exata da parada da bomba não é possível de ser prevista, pode ser mero desligamento (proposital ou não) ou a quebra de um componente mecânico. Note-se que para o disparo do alarme no sistema de supervisão do processo, a causa é indiferente: será disparado o alarme de pressão baixa (*pressure alarm low* – PAL) na descarga dessa bomba, seja por desligamento da bomba, seja por defeito. Caberá ao operador executar o procedimento correspondente ao alarme, buscar a causa e corrigi-la, chamar a manutenção ou partir a bomba reserva, conforme o caso. O que se pode afirmar é que, por consequência da parada da bomba, a vazão por ela será zero, e que o nível de líquido em vaso a montante se manterá ou se elevará se houver entrada de líquido, podendo gerar alarme de nível alto (*level alarm high* – LAH).

O guia da instituição EEMUA (2007) prevê três níveis de prioridade para o anúncio do alarme: “Baixa”, “Média” e “Alta”, que podem ser indicadas pela cor com que o alarme é exibido. Pode haver também um quarto nível de prioridade, a “Crítica”, com características especiais, onde são classificados alguns poucos alarmes (em geral, um máximo de 20 de um total que pode passar de 2000 alarmes configurados numa plataforma de produção). Em sistemas de supervisão e operação comumente utilizados, os alarmes são apresentados numa lista sequencial de alarmes, na ordem cronológica em que ocorrem. Os alarmes “críticos” podem ser anunciados num painel a parte (*alarm panel*).

O sistema de alarmes deve sofrer um gerenciamento (não apenas no curto prazo, mas também no médio e no longo prazos) e seguir um ciclo de vida que inclui a racionalização dos alarmes, conforme a norma ISA 18.2 (ANSI/ISA, 2009). Racionalização é o processo sistemático de análise dos alarmes para fundamentar sua criação e seu uso (PETROBRAS, 2011), verificando periodicamente a conformidade, a utilidade e a prioridade dos alarmes.

A ocorrência dos alarmes pode ser acompanhada por programas de análise estatística a partir dos registros (*logs*) de funcionamento do supervisório (LEITÃO *et al.*, 2014). Esses programas identificam os alarmes ativados com maior frequência, e que, portanto, merecem atenção especial. Deverá ser verificado se o alarme está mal definido (limiar de alarme dentro da faixa operacional, por exemplo), ou se existe algum

instrumento de medição em manutenção, e, conforme o caso, o alarme deve ser redefinido ou inibido até que o instrumento retorne ao funcionamento normal.

## 2.5. Interface de Sumário de Alarmes

O operador dispõe, em sua interface, de indicadores de alarmes em suas telas de operação (*tiles* ou “pastilhas”, pequenos quadrados em vermelho) e também numa tela de lista de alarmes, onde estes são tipicamente listados em ordem cronológica inversa (no topo, o mais recente), com o momento de ocorrência e com um pequeno texto descritivo. A Figura 2-6 mostra uma lista de alarmes. Esta seção, baseada em (SATUF *et al.*, 2016), descreve o funcionamento da interface de sumário de alarmes (típica em unidades marítimas de produção de grande porte instaladas nas décadas de 1990 e 2000 pela Petrobras).

Quando um alarme é ativado, é indicado nas janelas de operação, e um respectivo texto descritivo do alarme é exibido numa subjanela de alarme, no topo de cada janela de monitoramento (ver Figura 2-4). Somente o alarme mais recentemente ativado é visto na subjanela de alarme.

Para ver todos os alarmes ativos (reconhecidos ou não), o operador abre uma janela de sumário de alarmes. Nessa interface de sumário de alarmes, uma lista é exibida contendo, em cada linha, um código para o alarme (a etiqueta ou *tag* do alarme), a descrição textual do alarme, e a data e hora da ocorrência (Figura 2-6). Os alarmes podem ser ordenados cronologicamente, por prioridade ou por *tag*.

Uma vez ativado, o alarme é mostrado no sumário de alarmes até que o alarme seja reconhecido pelo operador e até que a respectiva condição seja normalizada (em alguns casos, o alarme é reconhecido automaticamente).

Os operadores podem passar as páginas (da tela) para cima e para baixo ao longo da lista de alarmes ativos. Os operadores podem reconhecer os alarmes, um de cada vez, na subjanela de alarmes. Os alarmes podem também ser reconhecidos na janela de sumário de alarmes, um de cada vez, todos os visíveis ou todos os alarmes de uma vez.

VXI Alarm Summary			
Alarm ID	Description	Time	Date
TAM123318	GLICOL NO REBOILER	10:17:27.71	12-FEB-2015
PALL122329B	LL - SG-122301-B	10:17:27.71	12-FEB-2015
ALM_QOEIMAGAS	VALVULA FV122377 ABRINDO.QUEMA DE GAS	10:17:27.71	12-FEB-2015
YLHBS11102A	BOMBA DA DESAERADORA B511102A PARADA	10:17:27.71	12-FEB-2015
TCPARADO23	BOIS OU MAIS TCS PARADOS	10:17:26.71	12-FEB-2015
PAH1251104A	PRESSAO ALTA OLEO LUB. BB INJ. AGUA A	10:17:26.71	12-FEB-2015
PAH1251104B	PRESSAO ALTA OLEO LUB. BB INJ. AGUA B	10:17:26.71	12-FEB-2015
PAH1251104C	PRESSAO ALTA OLEO LUB. BB INJ. AGUA C	10:17:26.71	12-FEB-2015
PAH1251104D	PRESSAO ALTA OLEO LUB. BB INJ. AGUA D	10:17:26.71	12-FEB-2015
PAH1251104E	PRESSAO ALTA OLEO LUB. BB INJ. AGUA E	10:17:26.71	12-FEB-2015
CHAM1B_DBT	Forno B Chama 1 Apagada	10:17:26.71	12-FEB-2015
CHAM2B_DBT	Forno B Chama 2 Apagada	10:17:26.71	12-FEB-2015
CHAM3B_DBT	Forno B Chama 3 Apagada	10:17:26.71	12-FEB-2015
CHAM4B_DBT	Forno B Chama 4 Apagada	10:17:26.71	12-FEB-2015
CHAM5B_DBT	Forno B Chama 5 Apagada	10:17:26.71	12-FEB-2015
CHAM6B_DBT	Forno B Chama 6 Apagada	10:17:26.71	12-FEB-2015
FALHAIPBPROC	FALHA COMUNICACAO TCP/IP CPU PROCESSO	10:17:26.71	12-FEB-2015
FALHAIPBLAST	FALHA COMUNICACAO TCP/IP CPU LASTRO	10:17:26.71	12-FEB-2015
FALHAIPBFG	FALHA COMUNICACAO TCP/IP CPU FOGO&GAS	10:17:26.71	12-FEB-2015
FALHAIPBLET	FALHA COMUNICACAO TCP/IP CPU ELETRICA	10:17:26.71	12-FEB-2015
FALHAIPAPROC	FALHA COMUNICACAO TCP/IP CPU PROCESSO	10:17:26.71	12-FEB-2015
FALHAIPALAST	FALHA COMUNICACAO TCP/IP CPU LASTRO	10:17:26.71	12-FEB-2015
FALHAIPAFG	FALHA COMUNICACAO TCP/IP CPU FOGO&GAS	10:17:26.71	12-FEB-2015
FALHAIPABLET	FALHA COMUNICACAO TCP/IP CPU ELETRICA	10:17:26.71	12-FEB-2015
BAL5125101B	CHAMA APAGADA NO FORNO 01B	10:17:26.70	12-FEB-2015
BLOCC_ESD	PERDA DE BLOCCO - ESD	10:17:26.70	12-FEB-2015
YLHUCI22301E1	UC122301B PARADO PRESSURIZADO	10:17:25.70	12-FEB-2015
ZSL541204	FALHA VALVULA SISTEMA DA TOCHA	10:17:25.70	12-FEB-2015
ZSL541202	FALHA VALVULA SISTEMA DA TOCHA	10:17:25.70	12-FEB-2015
YLHUCI22301A1	UC122301A PARADO PRESSURIZADO	10:17:25.70	12-FEB-2015
TAM512404	TEMPERATURA ALTA SIST.AGUA RESFRIAMENTO	10:17:25.70	12-FEB-2015
PALL122337	SEPARADOR DE TESTE (SG-122302)	10:17:25.70	12-FEB-2015
PAL121009	PRESSAO BAIXA NO HEADER HIDRAULICO LP	10:17:25.70	12-FEB-2015
PAL122316	HEADER DE TESTE	10:17:25.70	12-FEB-2015
PAL122351B	DESCARGA B-122301-B (TRANSP. B)	10:17:25.70	12-FEB-2015
PAL122351C	DESCARGA B-122301-C (TRANSP. C)	10:17:25.70	12-FEB-2015
PAL122351D	DESCARGA B-122301-D (TRANSP. D)	10:17:25.70	12-FEB-2015
PAL122351E	DESCARGA B-122301-E (TRANSP. E)	10:17:25.70	12-FEB-2015

Figura 2-6 – Ilustração de interface de sumário de alarmes

Resumidamente, na P-26, há dois conjuntos de alarmes: alarmes para sinais de parada do processo; e alarmes de desvio de uma variável de processo para além dos limites de projeto (que são os alarmes mais frequentes durante a operação). A prioridade atribuída ao alarme será um número (1, 2, 3 ou 4). Os alarmes de sinal de parada tem prioridade 1 (a mais alta) quando ativados. Quando são reconhecidos, a prioridade 3 é atribuída para os alarmes de parada. Os alarmes de desvio tem prioridade 2 quando ativados, e a prioridade 4 é atribuída a eles quando são reconhecidos.

Assim, quando ordenados por prioridade, os alarmes não reconhecidos são exibido no topo, acima dos alarmes reconhecidos. Em cada grupo, os alarmes mais recentes vêm primeiramente.

Outro conjunto de prioridades pode ser definido (como na norma N-2900, PETROBRAS, 2011): prioridades Baixa, Média, Alta ou Crítica. A prioridade de cada alarme é avaliada considerando cada alarme isoladamente, em função do tempo disponível para resolver a anomalia (tempo esse estimado durante o projeto) e do respectivo perigo associado (conseqüências em termos de danos à planta, ao ambiente e às pessoas caso não haja resposta ao alarme).

## **2.6. Sumário de Alarmes e Avalanche de Alarmes**

A priorização de alarmes, que ocorre durante o projeto da planta de processo, visa a auxiliar o operador a lidar com vários alarmes simultâneos, indicando quais alarmes são os mais importantes dentre todos os ativos.

Os alarmes, porém, podem surgir em uma taxa e quantidade maiores do que o operador pode lidar efetivamente, caracterizando-se uma “avalanche de alarmes” (ANSI/ISA, 2009). A Figura 2–6 ilustra o sumário de alarmes (ou lista de alarmes) do sistema de supervisão durante uma avalanche.

Não é incomum, que muitos alarmes estejam ativos simultaneamente ao longo de várias páginas da tela do sumário de alarmes. Como os alarmes de desvio tem a mesma prioridade após o reconhecimento (na priorização de 1 a 4, Seção 2.5), há pouca informação para selecionar qual alarme deve ser o primeiro a ser respondido quando o processo está sob operação, especialmente quando uma avalanche de alarmes ocorre.

Pelo critério da N-2900, aplica-se a recomendação (EEMUA, 2007) que cerca de 80% dos alarmes configurados tenham prioridade “Baixa”, cerca de 15% tenham prioridade “Média”, até 5% tenham prioridade “Alta”, e no máximo 1% dos alarmes com prioridade “Crítica”. Conseqüentemente, a maioria dos alarmes durante a operação terá a mesma prioridade (“Baixa”).

Segundo EEMUA (2007) e a norma ISA 18.2 (ANSI/ISA, 2009), um operador deve lidar com, no máximo, 10 alarmes em 10 minutos. Mesmo em um sistema de alarmes que passe pelo processo de racionalização, podem ocorrer várias anomalias concorrentemente, relacionadas entre si ou não, levando a vários alarmes serem

anunciados simultaneamente, incluindo alarmes em consequência de outros alarmes, em efeito cascata.

A avalanche de alarmes é um momento de *stress* para o processo, para a planta (os equipamentos estão sendo mais exigidos) e para o operador (que quer saber qual a causa da anomalia e decidir o que fazer para recolocar o processo em situação normal ou evitar maiores danos).

Muitos alarmes concorrentes significam que haverá várias tarefas concorrentes entre si, cada uma com um tempo limitado para ser executada. Tarefas concorrentes criam desafios para sua execução (XIAO *et al.*, 1996, apud LIU, e LI, 2012). A apresentação simultânea (de múltiplos alarmes, por exemplo) presumivelmente leva a uma sobrecarga de informação. Operadores (os executantes das tarefas, sob *stress*) mostram um desempenho pior na seleção de informações, e na eficiência da decisão sob pressão de tempo, assim como em situações que necessitem de respostas exatas e rápidas (por exemplo, no processo de diagnóstico de uma anomalia) (LIU, e LI, 2012).

Nessa condição de avalanche de alarmes, a interface de sumário de alarmes pode prejudicar a resposta adequada do operador (LABERGE *et al.*, 2014). Com uma grande quantidade de alarmes, algum alarme importante da lista pode passar despercebido, levando o sistema de segurança a parar o processo, quando o que se deseja é restabelecer a normalidade do processo (com a intervenção do operador) e continuar com a produção.

Como poderia o operador atuar em várias frentes ao mesmo tempo? Há que escolher a quais alarmes dar atenção, implicando escolher aqueles aos quais não será dada atenção. A priorização de alarmes, durante sua configuração, busca ajudar a decidir, mas pode não ser o suficiente.

Ante uma avalanche de alarmes, acontece de o operador abandonar a lista de alarmes (LI *et al.*, 2011). Age assim a fim de reduzir o próprio *stress*, pois não consegue lidar com todos os alarmes. O operador passa a procurar a causa do problema navegando pelas várias telas de operação. Nessas condições, a lista de alarmes perde sua utilidade.

Para decidir o que fazer, o operador busca entender o que se passa com o processo, o que teria causado os alarmes e o que pode fazer para recolocar o processo em condição normal. Faz isso navegando pelas telas, pois é onde poderá perceber as variáveis que fugiram do estado normal e, principalmente, é onde poderá compreender melhor o que ocorre e formar uma ideia da tendência do comportamento do processo – para cada possível ação que o operador possa tomar, ele, o operador, faz uma previsão sobre a reação do processo.

A cada alarme corresponde uma ação ou um procedimento de conhecimento do operador; seria, conforme definição de Guérin et al. (2001), a tarefa prescrita correspondente ao alarme. O alarme, porém, não ocorre isoladamente. Outros alarmes, inclusive com a mesma prioridade, ocorrem concorrentemente. O operador, ao selecionar a quais alarmes responder, faz uma adaptação da tarefa prescrita à realidade – essa atividade prática do operador deve ser suportada por um sistema avançado de processamento de alarmes.

## **2.7. Síntese do Capítulo**

Processos complexos, como a produção de petróleo numa plataforma marítima, são supervisionados por operadores humanos por meio de sistemas de supervisão e controle. Esses sistemas incluem controles automáticos para manter o processo em sua faixa normal de operação, isto é, na faixa para a qual a planta de processo foi especificada. Quando o automatismo não é suficiente, o sistema de controle ativa um alarme solicitando a intervenção do operador.

Muitas vezes, porém, ocorre uma “avalanche de alarmes”: a ativação de alarmes numa taxa maior do que a operação consegue atender. E a lista de alarmes fica tão “poluída” que um alarme importante pode passar despercebido. A sobrecarga de informação dificulta o entendimento da situação e a decisão operacional, e a lista de alarmes deixa de ser útil. O operador passa a tentar entender a situação navegando nas telas operacionais.

O próximo capítulo trata do conceito de “consciência situacional”, que serve de modelo para o entendimento de uma situação, requisito para a tomada de decisão por parte do operador.

### **3. PERCEPÇÃO DO PROCESSO, COMPREENSÃO E PROJEÇÃO – CONSCIÊNCIA SITUACIONAL**

Neste capítulo, é apresentado o conceito de “consciência situacional”, pré-requisito para uma melhor tomada de decisão pelo operador. Este capítulo é baseado em (ENDSLEY, e JONES, 2012).

Embora seja um conceito relativo à cognição do ser humano, o modelo de consciência situacional não deve ser entendido como uma teoria dos processos psicológicos da mente humana, mas como uma estrutura que ajuda, no projeto de um sistema, a definir o que é necessário para um processo eficiente de tomada de decisão.

#### **3.1. Complexidade**

As plantas de processamento de petróleo (produção, refino) aqui consideradas são sistemas ser humano-máquina (*human-machine systems*) ou, mais genericamente, sistemas sócio-técnicos complexos. Seguindo (HOLLNAGEL, e WOODS, 2005, Cap. 1), os termos se definem:

- “Sistema”, num sentido amplo, significando um arranjo deliberado de elementos (componentes, pessoas, subsistemas, funções) para atingir objetivos especificados.

- “Sócio-” (social) no sentido de que pessoas estão presentes como parte do sistema, pois sem elas, a planta não funciona e o sistema não atinge seus objetivos. As pessoas são referidas como operadoras (os operadores), mais do que usuárias, do sistema e têm papel central no funcionamento do sistema.

- “-Técnicos”, pois envolvem equipamentos que embutem diversas tecnologias.

- E “complexos”, pois um grande número de subsistemas e funcionalidades, trazidos com objetivos de prover eficiência e volume de produção, em geral, traz também maior complexidade – existem mais componentes, maior número de



interrelações entre esses componentes, e mais informação a ser tratada para operação do sistema completo (macrossistema).

Desde meados do século XX, há uma crescente “informatização” das tarefas (disseminação do uso de tecnologias de informação e comunicação – TIC) e o resultante aumento da complexidade dos sistemas (confronte-se o sistema mecânico para abrir uma válvula no campo, manualmente, com o sistema para abrir uma válvula remotamente, da sala de controle).

Essa complexidade é função da quantidade de elementos e de subsistemas do sistema, do grau de interação (ou acoplamento) entre os subsistemas, de quão rápida ou não é a dinâmica do sistema, e da previsibilidade da evolução do sistema ao longo do tempo (ENDSLEY, e JONES, 2012).

Sistemas complexos tornaram-se comuns, com o crescimento e sofisticação das demandas e da incorporação de tecnologias para atender a essas demandas. Seja na geração e na distribuição de energia elétrica, em um telefone (fixo, com secretária eletrônica, com identificador de chamadas, ou celular com acesso à *internet*, sistema de posicionamento global – o GPS – etc.), ou em um relógio (que incorpora outras funções além de mostrar as horas: despertador, cronômetro, hora mundial, temporizador, localização), a complexidade faz-se presente a quem opera o sistema: compare-se um telefone de disco (cujo uso podia ser explicado em um filme de um minuto) (PORTALCOMUNICADORES, 2011), com um *smartphone* de hoje; ou um relógio de sol com um *smartwatch* – até porque esses aparelhos, embora mantenham os nomes originais, incorporam uma infinidade de novas funções, uma vez que são programáveis. Esse acúmulo de funções é a consequência da convergência digital – o encontro em um aparelho com tecnologia digital de diversas funções que podem ser processadas digitalmente (e que previamente eram executadas por aparelhos distintos).

Pode-se comparar também a tecnologia de produção de óleo no século XIX, em terra, sem o uso de métodos secundários, controlando-se um poço por vez, com a tecnologia de produção atual, que permite a produção em alto-mar, em águas profundas, de camadas "pós-sal", evoluindo para a produção no "pré-sal". Essa tecnologia envolve

desde equipamentos submarinos, até salas de supervisão e controle, passando por plantas de processamento com alto grau de automação. Todos esses sistemas devem atender a metas econômicas de produção e a restrições de segurança pessoal, ambiental e patrimonial.

A complexidade de um sistema não significa necessariamente complexidade em sua operação (ENDSLEY, e JONES, 2012). Por exemplo, automóveis com câmbio automático são mais simples de dirigir que os de câmbio manual. Nesses, o motorista deve estar atento à rotação do motor e mudar a marcha sempre que necessário. Nos automóveis de câmbio automático, o motorista define o modo de operação “dirigindo” e segue sem precisar de trocar a marcha engrenada a cada parada ou variação significativa de velocidade – o automatismo do câmbio cuida dessa troca. Em determinadas ocasiões, o motorista muda o modo de operação para “estacionado” ou “marcha a ré”.

A complexidade aparece na construção e na manutenção. Na operação, a interface de operação serve de “moderador” para a complexidade do sistema, escondendo parte dessa complexidade. A complexidade da operação deve ser apenas a necessária para que sejam atingidos os objetivos determinados (dirigir, manobrar e estacionar, no exemplo).

A interface do sistema de automação diminui a complexidade da operação quando permite ao usuário (o operador, o motorista) ter um conhecimento menor do sistema (o motorista não precisa saber como o câmbio automático funciona nem em qual rotação a marcha deve ser trocada). Em determinadas situações, no entanto, pode ser necessária a intervenção do operador – quando a variação no processo, ou as condições de operação são extremas, ou, ainda, se as condições estiverem fora das especificações do projeto. No exemplo do câmbio automático, o motorista, numa descida acentuada, pode preferir usar o modo de operação “segunda marcha fixa”, que servirá como freio-motor, evitando que tenha que frear e o conseqüente desgaste das pastilhas de freio. A intervenção do motorista é necessária porque o câmbio automático não tem um sensor de inclinação, menos ainda um automatismo para lidar com essa situação específica. Ao final dessa descida, em terreno mais suave, o motorista retorna o câmbio para o modo “dirigindo”, no qual ocorrem automaticamente trocas de marcha.

Situações em que é necessária a intervenção do operador, além da ação do sistema de controle, existem também no processo de produção *offshore* de petróleo, como as oscilações naturais na vazão de produção, em especial as golfadas. Oscilações na vazão de fluidos provenientes do reservatório são uma fonte de problemas para o processo de produção (PLUCÊNIO, *et al.*, 2015). Golfadas são os casos de maiores oscilações, que podem provocar até a parada da produção para evitar transbordamento de líquido nos vasos da planta de processo (PEDERSEN, DURDEVIC, e YANG, 2014). Tipicamente, nas plantas de produção, não são usados controles automáticos para tratar essas oscilações devido a: falta de instrumentação adequada para medição e atuação sobre essas variações de vazão; inexistência de algoritmos consolidados e aceitos na indústria para tratar golfadas; e dificuldade na escolha dos parâmetros para o controle (os valores desejáveis, ou *set points*) (PLUCÊNIO, CAMPOS, e TEIXEIRA, 2015).

Outras ocorrências requerem ainda a presença do operador humano: numa plataforma de petróleo (ou numa refinaria), há uma grande quantidade de elementos e há situações de operação variadas (repartida da planta de produção, paradas para manutenção, eventuais entupimentos de linhas). A planta sofre alterações ao longo do tempo por desgaste de materiais e eventuais falhas de equipamento, possivelmente com consequências sobre o processo enquanto o equipamento está fora de operação, ocasião em que se torna necessária a intervenção do operador para ajustar o processo à disponibilidade da planta.

Os sistemas de supervisão e controle são essenciais para a eficiência do processo de produção de petróleo, com o operador supervisionando o processo pela interface de operação. Além de supervisionar a produção, o operador acompanha o funcionamento do sistema de controle em geral, e, eventualmente, é chamado a intervir por meio de alarmes. O SSC representa um aumento de complexidade do ambiente (o conjunto contendo o processo, a planta de produção, a automação da planta, a equipe de produção). A interface de operação deve esconder o que não for necessário ao operador em seu processo de tomada de decisão.

Alguns paradoxos surgem: a automação é implementada para ganhar eficiência e dispensar a intervenção humana tanto quanto possível, mas a complexidade do ambiente aumenta e o ser humano ainda é chamado a intervir (pela ativação de

alarmes); o processo é variável, seu controle é muito automatizado, mas ainda não totalmente. Quanto mais bem sucedida é a automação, mais rara é a intervenção humana – e aumenta a necessidade de treinamento para compensar essa falta de familiaridade do operador com determinadas situações. O operador não faz parte da malha de controle e pode sofrer um afastamento do processo na rotina diária, mas (através da interface de operação) deve saber o que fazer quando sua intervenção for necessária. Esses paradoxos foram apontados já desde os anos 1980, em conferência da *International Federation of Automation and Control* em conjunto com a *International Ergonomics Association* (IFAC/IEA, *Conference on Analysis, Design, and Evaluation of Man-Machine Systems*) em trabalho de pesquisadores em Psicologia (BAINBRIDGE, 1983).

### **3.2. Apoio à Decisão**

Tomar uma decisão é selecionar o que fazer dentre várias alternativas. A tomada de decisão pode ser vista como uma questão de tomar a decisão certa, isto é, uma questão de obter e processar informações. Essa visão é a do indivíduo meramente como um processador de informação e deve ser comparada com outras abordagens mais descritivas ou naturalísticas, onde a tomada de decisão é vista como criar um sentido (entender uma situação ou um conjunto de coisas, fatos, informações). Lipshitz, Klein, Orasanu e Salas (2001) fazem uma descrição dos fundamentos do modelo de tomada de decisão naturalística (*Natural Decision Making*, NDM). Orasanu (2010) faz uma revisão de treinamentos em tomada de decisão baseado em NDM (para tripulação de aviões).

A tomada de decisão pode ser vista como um fato único, bem definido no tempo, ou como um processo, que ocorre ao longo do tempo. Neste último caso, a decisão poderá evoluir ao longo do tempo, conforme a situação evolua. A decisão é do ser humano, que pode, em alguns casos, criar novas alternativas, ou, em outros casos, desprezar alternativas que a princípio seriam válidas, conforme a evolução do contexto e de cada situação específica.

Para criar ou desprezar alternativas, o indivíduo necessita de apoio para a monitoração, a recuperação e a percepção de dados sobre a situação, mais do que apoio para a tomada de decisão propriamente dita (HOLLNAGEL, 2005, Cap. 9) – a decisão pode ser alterada conforme novos dados sejam adquiridos, ou recuperados, e percebidos pelo indivíduo.

Essa visão naturalística de tomada de decisão, conforme (ENDSLEY, e JONES, 2012, Cap.1), baseia-se em pesquisas que mostram que, em domínios complexos, as pessoas primeiramente se esforçarão para classificar e entender a situação. Esse entendimento dispara uma resposta associada, armazenada em memória, imediatamente seguida da seleção de uma ação. Em diversas áreas pesquisadas, verifica-se que os especialistas, em geral, fazem um reconhecimento de padrões para entender rapidamente uma dada situação, sendo raro dispender muito tempo ponderando as conseqüências das possíveis alternativas. Pessoas experientes, ao tomar decisões, em geral tentam encontrar uma ação (ou um curso de ação) que seja satisfatório, não necessariamente o melhor curso de ação (KLEIN, 1993). O entendimento (reconhecimento) da situação é determinante na escolha do curso de ação.

A tomada de decisão é não apenas o que fazer, mas como e quando fazer. Por exemplo, o combate a um incêndio: tem que ser decidido se deve ser feito, ou se se deve deixar o incêndio queimar até extinguir-se. Se for decidido combater o incêndio, outras decisões terão que ser tomadas sobre como fazê-lo, quais recursos serão necessários, em que quantidade, etc. (HOLLNAGEL, e WOODS, 2005, Cap. 9). Em qualquer dos casos, decisões sobre como proteger o entorno e como evitar propagação deverão ser tomadas.

A automação funciona bem enquanto o processo se mantém nas condições delimitadas, conforme especificadas no projeto, ou em tarefas para as quais existam procedimentos definidos.

Se o ambiente se torna irregular, imprevisível, fora do delimitado no projeto, então decisões terão que ser tomadas no decorrer do processo – é o caso em salas de controle, na supervisão do processo. O apoio à decisão deverá ser contínuo e integrado à tarefa. A questão é manter o controle da situação mesmo com as variações fora do

delimitado no projeto do processo, o que significa essencialmente evitar uma evolução imprevista da cadeia de eventos (HOLLNAGEL, e WOODS, 2005, Cap. 9).

### 3.3. Consciência Situacional

Um modo de ver a necessidade de informação do operador para o entendimento da situação e a tomada de decisão é o conceito de Consciência Situacional (CS, do inglês, *Situational Awareness*, ou SA).

A "consciência situacional" ou "consciência da situação" é basicamente estar a par do que acontece em torno e entender o que os dados e informações significam no momento e para o futuro próximo. Essa consciência é definida em termos de quais informações são relevantes para uma determinada tarefa ou um determinado objetivo. Este conceito aplica-se especialmente a situações onde pessoas estão acompanhando e operando um processo, seja dirigindo um carro, tratando de um paciente, controlando o tráfego aéreo, ou produzindo ou refinando petróleo.

Nem todas as informações sobre uma situação são relevantes para se ter uma consciência situacional operacional. No caso da operação da produção de petróleo, é necessário saber, por exemplo, o nível no vaso de separação (que separa o óleo da água e do gás produzidos) e como esse nível está variando, além de várias outras informações, mas não é necessário saber a cor do petróleo sendo extraído.

Existem diversas definições (baseadas em diferentes modelos teóricos) para consciência situacional (STANTON, *et al.*, 2001). A definição mais citada na literatura pertinente é a desenvolvida por Endsley na década de '90 (SALMON *et al.*, 2006). Essa definição tem origem na aviação militar, constando em trabalho da década anterior (ENDSLEY, 1988):

“A percepção dos elementos em um ambiente dentro de um volume (espaço) e de um intervalo de tempo, a compreensão de seu significado, e a projeção de seu estado no futuro próximo.”

*(The perception of the elements in the environment within a volume of time and space, the comprehension of their meaning, and the projection of their status in the near future.)*

Ainda uma definição alternativa para consciência situacional é “o conhecimento, a cognição e a previsão de eventos, fatores e variáveis que afetem a condução segura, expedita e efetiva de uma missão” (TAYLOR, *et al.*, 1996). Um paralelo pode ser feito com os três níveis do modelo de Endsley: conhecimento, cognição e previsão com percepção, compreensão e projeção.

Embora essas definições se refiram implicitamente a um indivíduo, escopo deste trabalho, a consciência situacional também pode ser concebida como uma propriedade que emerge por meio da interação entre indivíduos, como uma equipe, e o sistema. Veja, por exemplo, o trabalho de Sorensen, e Stanton (2011), discutindo como medir a consciência situacional de uma equipe. Nazir *et al.* (2015) discute “consciência situacional distribuída” nos domínios de geração nuclear, petroquímico e marítimo. Man *et al.* (2015) trata de consciência situacional no domínio marítimo no caso de operação remota de embarcações sem tripulantes a bordo (“consciência situacional remota”).

Consideremos a supervisão de processos: “consciência situacional” seria a percepção das condições relevantes para os objetivos do processo sendo supervisionado, a compreensão do significado dessas condições, e a projeção (previsão) do estado do processo no futuro próximo (segundos, minutos ou horas seguintes, dependendo da dinâmica do processo).

Em termos de operação de uma plataforma de produção, por exemplo, a consciência situacional envolveria: a percepção da proporção dos níveis nos vasos, dos valores de pressão na saída das bombas, temperaturas e vazões de fluidos, etc.; a compreensão do significado dessas condições, se o nível está próximo ao desejado, ou alto ou baixo demais, se a pressão está baixa significando que a bomba está inativa ou há um vazamento; e a projeção (previsão) dessas condições nos minutos seguintes, poder dizer se o processo continuará em condições normais de operação, com tendência a se instabilizar ou, se já instável, acomodará a perturbação e se normalizará.

Numa sala de controle, o operador deverá perceber, principalmente, os símbolos e valores na interface operacional (que faz uma mediação entre o operador e o processo) e os alarmes, mas também haverá comunicações com outros operadores, pessoalmente, por rádio, por telefone, etc. Ele supostamente conhece a disposição dos equipamentos, além de ter um treinamento no processo de produção. Deverá ser capaz de unir essas informações (campo, outros operadores, treinamento, telas da estação de operação) para ser capaz de dizer o estado dos equipamentos e do processo (funcionando ou não funcionando, produzindo ou parado, estável ou instável) e qual a tendência (estabilização, desestabilização, etc.).

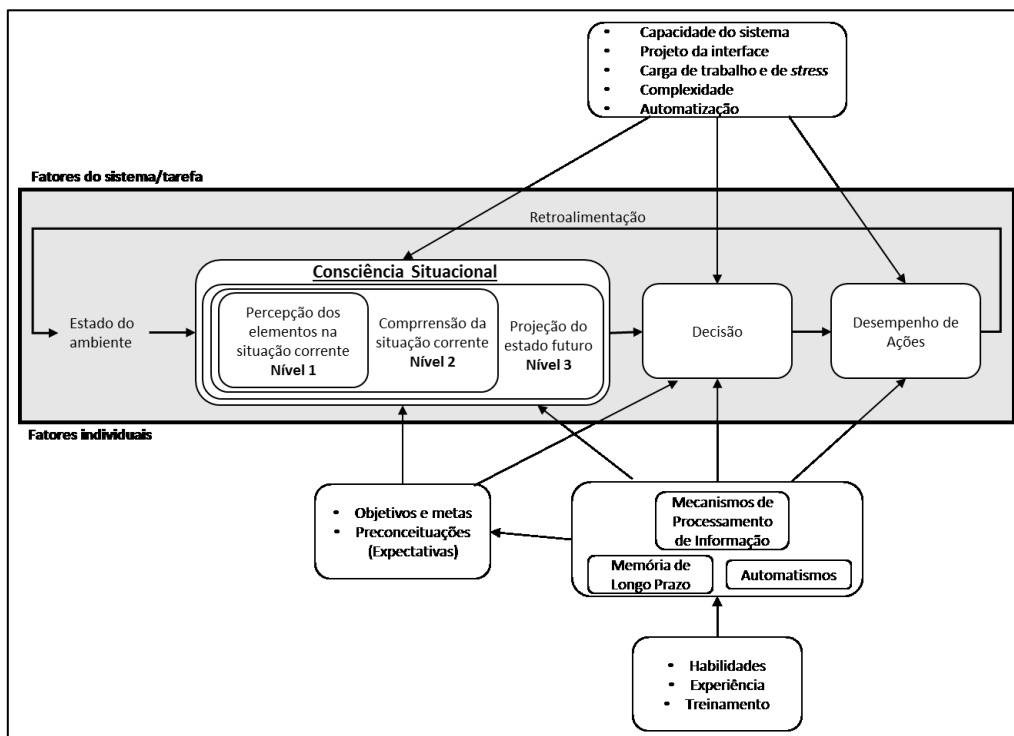


Figura 3.1. Modelo da consciência situacional no processo de tomada dinâmica de decisão (ENDSLEY, 1995)

A conceitualização de consciência situacional insere-se na tomada de decisão em ambientes dinâmicos e leva em conta objetivos, expectativas e fatores relativos a tarefa e ao sistema utilizado, conforme a Figura 3.1 (ENDSLEY, 1995). Existem técnicas para medição da consciência situacional, e algumas serão vistas no Capítulo 6.



Para decidir qual ação tomar, o operador busca adquirir consciência da situação, isto é, perceber os valores e as proporções das variáveis do processo (ou seus estados, para as variáveis binárias), integrar esses dados a seu conhecimento do processo e dos objetivos para compreender o que significam os valores encontrados naquele momento, e deduzir as conseqüências de forma a projetar o estado do processo no futuro próximo conforme suas ações (ou omissões).

Nas ocasiões de avalanche de alarmes, em que muitos alarmes são anunciados em pouco tempo, pode ser particularmente difícil manter a consciência situacional devido ao excesso de alarmes (excesso de informação) disputando a atenção do operador, o que pode dificultar a tomada de decisão.

### **3.3.1. Níveis da Consciência Situacional.**

A definição de Endsley pode ser representada por três níveis de consciência situacional superpostos conforme a Figura 3-2 (STANTON *et al.*, 2001):

Nível 1 (ou *SA Level 1*): Percepção dos elementos no ambiente (especialmente na interface de operação). Não há interpretação de dados; pode haver confirmação do estado ou valor de uma variável determinada.

Nível 2 (L2): Compreensão da situação (como um todo), dados sendo integrados de forma a produzir um entendimento das conseqüências (relevância relativa) das ações. Este nível é entendido como sendo superior ao anterior.

Nível 3 (L3): Predição da situação futura, ou seja, a habilidade de projetar o futuro dos elementos no sistema (e da situação como um todo). A predição depende da qualidade alcançada nos níveis 1 e 2. Por exemplo, pessoas desempenhando atividades com tempo restrito (prazos definidos) dependem de sua capacidade de prever problemas e de lidar com eles em tempo hábil. Este nível é entendido como superior ao nível 2.

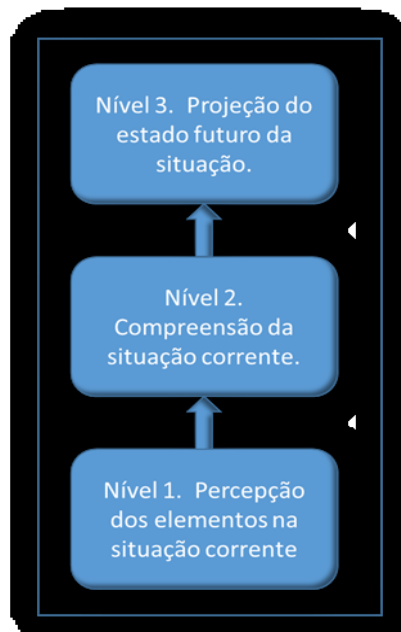


Figura 3-2 – Os 3 níveis da consciência situacional pela definição de Endsley (STANTON, et al., 2001)

O primeiro nível da consciência situacional envolve perceber os estados, os atributos e as dinâmicas dos elementos relevantes no ambiente do sistema e do processo. A percepção da informação vem pelos sentidos (visão, audição, olfato, percepção de vibração, etc.) e pode envolver a percepção de padrões não aparentes a pessoas inexperientes no domínio em questão. Embora, em sistemas complexos, ênfase seja dada a valores em mostradores eletrônicos, o nível 1 da CS, como já mencionado, também vem da percepção direta do indivíduo, por exemplo, ao sentir uma vibração ou ouvir o barulho de um motor. Comunicações verbais ou não verbais com outros operadores também contribuem para a formação do nível 1 da consciência situacional. Cada uma dessas fontes (mostradores, barulho da vibração, comunicações) tem um grau de confiança associado, esses graus combinam-se para formar um grau de confiança que é parte da CS.

Em sistemas complexos, há uma grande quantidade de informações disputando por atenção, fazendo com que a discriminação daquelas que são necessárias num dado momento seja bastante difícil.

Segundo pesquisa no domínio da aviação (JONES, e ENDSLEY, 1996), 76% dos erros de pilotos ou de controladores de voo relativos à consciência situacional referem-se a falta de percepção de informações necessárias (CS nível 1). As causas variaram: a informação não é fornecida claramente ou não é fornecida; a informação é adquirida, mas esquecida, sobreposta por outras informações; toda a informação necessária é fornecida, porém a informação relevante não é detectada (caso da maioria dos erros de nível 1 – 35,1% do total de erros de CS), por exemplo, por causa de alguma tarefa concorrente que distraia o piloto; em alguns casos, ainda, a informação não é vista por estar coberta por outra janela no monitor. A informação deve ser obtida pelo sistema e apresentada de uma maneira que a torne facilmente acessível pelos usuários, que podem ter várias outras informações disputando sua atenção.

O nível seguinte refere-se a entender o que os dados e indicações percebidas significam em relação aos objetivos relevantes. A compreensão (CS nível 2) baseia-se na síntese dos elementos (disjuntos) do nível 1, e numa comparação dessa informação com os objetivos do indivíduo. Os “dados” obtidos de maneira independente (“soltos”) são integrados para formar “informação”, que será analisada conforme seu significado e importância para o atingimento dos objetivos.

Na pesquisas citada, 20,3% dos erros de CS referem-se ao nível 2. Nesses casos, as pessoas são capazes de ver e ouvir os dados necessários (CS nível 1), mas não entendem seu significado. Por exemplo, um piloto pode perceber que está a 10 mil pés de altitude, mas não perceber que o espaço livre sobre o terreno é insuficiente (havendo montanhas abaixo); ou um operador novato e sob tensão pode perceber o desligamento de uma bomba, e ficar tentando religá-la para evitar falta de líquido em vaso a montante mesmo que o intertravamento o impeça. Desenvolver o nível 2 da CS é razoavelmente desgastante e requer um bom modelo mental, que vem com treinamento e experiência (ENDSLEY, e JONES, 2012).

O nível 3 da consciência situacional, projeção, refere-se a predizer o que os elementos do sistema farão no futuro próximo. A qualidade da projeção depende da qualidade do entendimento da situação (nível 2) assim como do conhecimento da dinâmica e do funcionamento do sistema sob supervisão, adquirido tanto pelo treinamento quanto pela experiência. Usar a situação atual para fazer projeções requer um modelo mental bem desenvolvido e pode ser mentalmente bastante demandante.

Em muitos domínios, os especialistas dedicam uma parcela significativa de tempo para construir o nível 3 da CS. Mantendo sempre projeções, esses especialistas são capazes de desenvolver um conjunto de estratégias e respostas a eventos. Esse conjunto já fica “de prontidão” na memória do especialista e permite ações rápidas e/ou proativas, evitando situações indesejadas.

Falhas em projeções podem ser devido a recursos cognitivos insuficientes (se o indivíduo estiver sobrecarregado com o processamento de outras informações, por exemplo), ou por desconhecimento do domínio. Muitas vezes, falhas acontecem por “superprojeção” de tendências correntes, por exemplo: presumindo que o bombeamento de líquido para fora de um vaso continuará até o vaso ser esvaziado completamente, sem considerar um intertravamento que desligue a bomba por nível baixo de líquido. As pesquisas na aviação citadas (JONES, e ENDSLEY, 1996) apontam que apenas 3,4% dos erros de CS são relativos ao nível 3. Esse número baixo, provavelmente, é devido à dificuldade de formar os níveis 1 e 2, e não de uma suposta facilidade em fazer projeções (CS nível 3). (Os erros em diferentes níveis de CS poderiam estar correlacionados entre si, uns consequências dos outros. Esses erros eram classificados como um único erro no nível mais baixo de CS.)

Esses níveis, que representam níveis ascendentes de consciência situacional, não devem ser entendidos como estágios sequenciais (ENDSLEY, 2015). Um indivíduo que compreenda (nível 2) uma dada situação tem melhor consciência situacional do que alguém que leia os valores dos dados num mostrador (nível 1), mas não sabe o que significam. Por exemplo, é a diferença entre ler a temperatura de um fluido em 110°C e entender que está acima do desejado. Caso o valor da temperatura não esteja disponível, e havendo a compreensão (nível 2) do processo, de qual é o valor desejado e de suas razões, o indivíduo poderá preencher essa lacuna de percepção por inferência, a partir de outros dados disponíveis.

### **3.3.2. Tempo, Consciência Situacional e Atenção.**

A dinâmica dos vários elementos e a percepção das escalas de tempo associadas a esses elementos (sem a qual, a percepção correta da dinâmica torna-se impossível) têm papéis importantes na consciência situacional (níveis 2 e 3, compreensão e projeção). Uma parte muitas vezes crítica da CS é ter a consciência de quanto tempo está

disponível até que algum evento ocorra ou até que alguma ação tenha que ser executada (ENDSLEY, e JONES, 2012).

Como a situação (ou seja, o estado do sistema) varia ao longo do tempo, as informações disponíveis também irão variar, e o entendimento da taxa na qual ocorre essa variação ajuda a que projeções sejam feitas. A CS deve alterar-se ao longo do tempo, acompanhando a dinâmica do próprio sistema e do processo envolvido, evitando o risco de ficar desatualizada. Em um ambiente muito dinâmico (muitas e rápidas alterações), o operador humano terá que ter estratégias adequadas para manter sua consciência situacional, produto dessas estratégias. Por sua vez, essas estratégias guiam sua atenção e a busca de informações que o ajudarão a manter essa CS. O processo continua ciclicamente: busca (consciente) de informações, percepção-compreensão-projeção (CS), busca (consciente) de informações, percepção...

As pessoas não têm como atentar a todas as informações simultaneamente, sua capacidade de atenção é finita e dirigida conforme a importância relativa das informações e da sua taxa de atualização. Informações que vêm pelo mesmo “canal” (visual ou auditivo ou outro) disputam os mesmos recursos cognitivos, que se tornam um gargalo para a percepção.

### **3.3.3. Memória e Modelos Mentais**

O cérebro humano é capaz de armazenar informação, o que chamamos de memória. Existe a memória de curto prazo (ou de trabalho), onde guardamos, por exemplo, um número de telefone que recém ouvimos e que esquecemos se não o usarmos repetidamente (ou se não o anotarmos); e existe a memória de longo prazo (ou permanente), cuja capacidade é considerada infinita em comparação, mas a recuperação dessa informação não é tão rápida. Pode-se manipular poucas fatias, ou agregados (*chunks*), de informação na memória de trabalho:  $7 \pm 2$  (MILLER, 1956); ou  $4 \pm 1$ , conforme pesquisas mais recentes (MATHY, e FELDMAN, 2012). Cada agregado de informação refere-se a um conjunto genérico de itens que são tratados coletivamente como um único.

Modelos mentais mais “ricos” contém agregados de informação com mais significado. Por exemplo, para quem (quase) não conhece o jogo de Xadrez, reconhecer

a posição inicial pode envolver até 32 agregados de informação (um para cada peça). Para quem conhece o jogo, compreender o significado do “estado” das peças é mais simples: trata-se de um padrão reconhecível (já faz parte do conhecimento) e, por isso, um único agregado de informação.

A memória de trabalho e a memória de longo prazo, como se poderia esperar, participam da construção da consciência situacional. A memória de trabalho também é chamada de memória de curto prazo exatamente porque a informação que ela pode armazenar é limitada e se dissipa em pouco tempo (poucos minutos, caso não seja usada) (ENDSLEY, e JONES, 2012).

Informação nova é combinada com o conhecimento existente para criar um quadro mental da situação que evolui com o tempo. Essas informações são usadas para criar projeções para o que pode acontecer num sistema em um breve período de tempo (futuro). Essas projeções, por sua vez, ajudam a decidir quais ações devem ser tomadas. Todo esse processo cognitivo depende da memória de trabalho, ainda que, ao longo desse processo, informações da memória de longo prazo sejam recuperadas. A memória de curto prazo é limitada, como visto, e pode tornar-se um gargalo na construção e atualização da CS.

Modelos mentais podem ser definidos como “mecanismos que permitem aos seres humanos gerar descrições dos objetivos de um sistema e de sua forma, explicações sobre o funcionamento de um sistema e sobre seus estados, e previsões sobre estados futuros” (ROUSE, e MORRIS, 1985). Um modelo mental permite um entendimento sistemático sobre como algo funciona, seja um objeto físico (como um equipamento ou uma planta), ou mais abstrato (como uma organização, ou o comportamento dos carros no trânsito da cidade).

Modelos mentais são baseados tanto no conhecimento semântico (“o que?” – elementos) como no sistemático (“como?” – suas relações) (ENDSLEY, e JONES, 2012). O conhecimento semântico refere-se a, por exemplo, conhecer os nomes das capitais dos estados (saber que “cidade Rio de Janeiro” significa a capital do estado do Rio de Janeiro), já o conhecimento sistemático inclui um entendimento de como o sistema funciona (saber que cada estado tem uma capital).

Com modelos mentais bem desenvolvidos, uma pessoa sabe quais informações são mais importantes num determinado momento e pode formar expectativas mais apuradas. Modelos mentais são críticos na construção dos níveis 2 e 3 da consciência situacional. Sem um bom modelo mental, é possível que uma pessoa consiga um entendimento e uma projeção sobre um sistema, mas será mais difícil e desgastante mentalmente, exigindo mais da memória de curto prazo, além de frequentemente tomar mais tempo que o disponível para a tomada de uma ação. Por exemplo, ao ser anunciado um alarme, um operador bem treinado e experiente num determinado processo provavelmente levará menos tempo (e consumirá menor esforço mental) para entender o que se passa e reagirá mais prontamente do que um operador novato e inexperiente. Com seu modelo mental, o operador experiente pode preencher eventuais lacunas de informação e trabalhar com hipóteses (validando-as ou reformulando-as), mantendo uma CS que seja operacional (ENDSLEY, e JONES, 2012).

Esquemas (*schemas*) são estados prototípicos de modelos mentais. No exemplo do operador experiente, ele terá um esquema para quando a planta está em produção normal, e outro para quando a planta está partindo. Uma vez escolhido um esquema (“produção normal”), o operador não precisa consumir recursos cognitivos comparando a situação real com outras (representadas por outros esquemas). Esquemas podem ser formados pela experiência direta do operador ou por informações que ele leia ou que ouça de seus colegas (ENDSLEY, e JONES, 2012).

Uma grande vantagem que modelos mentais e esquemas proveem é que a situação real não precisa ser exatamente igual a outra anterior para que seja reconhecida. As pessoas fazem uma categorização (um mapeamento por categorias): o melhor ajuste entre as características da situação presente e as características dos esquemas que lhes são disponíveis. Isso lhes permite lidar com novas experiências a partir de sua experiência prévia, generalizando e, ao mesmo tempo, adquirindo novo conhecimento.

Assim, um operador treinado num simulador dinâmico em diversos modos de operação (“processo estável”, “processo instável”, “partida de processo”), frente a uma situação real, terá que lidar com as diferenças (outros poços, outra planta com alguns equipamentos a mais ou a menos, dados, valores diferentes, volume produzido diferente). No entanto, ele buscará reconhecer, na situação real, elementos e informações das situações pelas quais passou durante o treinamento, procurando a

melhor correspondência entre as condições reais e o que ele aprendeu, para desenvolver sua compreensão e sua projeção.

Ainda para ajudar a consciência situacional, existem os roteiros (*scripts*): conjuntos de sequências de ações sobre o que fazer em cada caso representado pelo esquema (*schema*). Esses roteiros podem ter sido desenvolvidos pela experiência, ou ditados pelo domínio (cultura organizacional, doutrina militar). Esses roteiros reduzem a carga cognitiva (especialmente sobre a memória de curto prazo) funcionando como procedimentos não escritos, mas memorizados pela experiência (ENDSLEY, e JONES, 2012).

Resumindo, modelos mentais, esquemas e roteiros são mecanismos para a CS, fornecendo vantagens para quem os desenvolve e/ou acumula pela experiência. Um modelo mental completamente desenvolvido para um sistema específico permite: direcionar dinamicamente a atenção para as indicações críticas do ambiente; projeções sobre os estados futuros do ambiente; e decisões mais rápidas, a partir do reconhecimento e classificação de situações.

#### **3.3.4. Fatores que Afetam a Consciência da Situação**

Sistemas complexos exigem um tempo maior para que seja construída a consciência da situação. Operadores de sala de controle têm que acompanhar um grande número de variáveis, muitas das quais podem mudar rapidamente, e outras cujo valor pode não estar disponível de imediato. Características da cognição humana e do domínio do sistema complexo combinam-se para criar obstáculos à construção da CS, tais como: “bloqueio atencional”, requisitos de memória, fatores de *stress* (pressão psicológica), sobrecarga de dados, relevância mal colocada, distorção pela complexidade, modelos mentais vagos e síndrome da “exclusão do laço de controle”.

É difícil para o ser humano manter-se atualizado com o que acontece em todo o contexto de interesse, nos diferentes aspectos do ambiente em questão. É necessário dividir a atenção, e a atenção dividida pode ser um gargalo, especialmente quando se dispõe de um único meio (sentido): ou visão, ou audição, etc. Não é possível obter toda a informação disponível simultaneamente, então o operador é obrigado a fazer varreduras dos diversos painéis (monitores, janelas de *software*). Como visto, na



memória de trabalho, o ser humano é capaz de manipular pouca informação simultaneamente. Frente a um problema ou a uma situação anormal, ele pode concentrar-se em determinadas informações que julgue importantes para a solução do problema, e interromper o comportamento de varrer os painéis – consequentemente perdendo a atualização das informações do ambiente. Esse fenômeno de atenção superconcentrada em algumas informações aparentemente mais importantes (como se fossem vistas por um túnel), desconsiderando outras igualmente importantes, é chamado de bloqueio ou estreitamento da atenção (ou, ainda, de “visão em túnel”). O estreitamento da atenção pode causar perdas graves da consciência situacional.

A memória de trabalho do ser humano não tem grande capacidade (daí a necessidade das agendas). E mesmo toda sua capacidade cognitiva é reduzida para lidar com a quantidade de informações disponíveis, seja na sala de controle, numa mesa de escritório ou navegando ludicamente pela internet. Informação demais não significa melhor consciência situacional e pode ser até contraprodutiva. Há sobrecarga de informação, e a mente humana passa a ser um gargalo, causando desatualização ou lacunas na CS do indivíduo. Esse gargalo pode ser superado, em parte, pela maneira como a informação é apresentada, uma questão de “largura de banda”, não de capacidade de armazenamento: informações apresentadas de maneira organizada (graficamente, em geral) “trafegam” mais rapidamente, são mais facilmente percebidas e manipuladas (por exemplo, confrontem-se 5555555555 e +55-55-555-5555, ou 111111 e 11/11/11).

De maneira geral, o sistema não deve depender significativamente da memória do operador – o requisito de memória deve ser tão baixo quanto possível.

Fatores externos também afetam a capacidade do indivíduo de construir sua CS. A carga de trabalho, o excesso de pressão (causado por cobrança de desempenho em demasia de uma pessoa, assim como outros fatores, como problemas pessoais), o cansaço (que pode ser agravado por ruído ou vibração no ambiente de trabalho) podem reduzir a memória de curto prazo, comprometendo a capacidade do operador de manter sua consciência situacional.

Mesmo durante uma varredura, os diversos dados nos painéis disputam a atenção do operador. Em sistemas complexos, definem-se alarmes, que devem

sobressair-se dentre as muitas informações. Para isso, os alarmes devem ter características próprias: símbolos bem determinados, cores que chamem a atenção, luzes piscantes, sons, formas maiores. Essas características de “relevância” (ou “saliências”, do inglês *saliency*), contudo, devem ser usadas com cuidado. Relevância mal colocada reduz a importância relativa de informação mais prioritária, e provoca atenção mal direcionada. Se um alarme de menor importância é anunciado da mesma forma que outro de maior prioridade, o operador terá que dividir sua atenção igualmente entre ambos (com o risco de ater-se ao de menor prioridade, pelo “estreitamento atencional” já mencionado).

A complexidade de um sistema e, conseqüentemente, de sua interface com o usuário, muitas vezes é excessiva a ponto de distorcer o uso do sistema. Por exemplo, telefones celulares, que acumulam funções desde telefonar e mostrar as horas, até agenda eletrônica, acesso à internet e até execução de programas como edição de texto, tornam-se de tal maneira complexos que a maior parte de suas funções não é usada – e realizar as tarefas básicas, como telefonar, pode tornar-se bastante difícil devido à grande quantidade de funcionalidades. Em sistemas críticos que necessitam ser supervisionados, muitas vezes é difícil para um operador entender o que o sistema está fazendo e o que fará em seguida (por exemplo, pilotos tentando entender o que o “piloto automático” está fazendo (WIENER, 1989), (CHARETTE, 2009). E quanto mais funcionalidades há, mais ramificações ocorrem nas regras de operação e uso, maior a complexidade e mais difícil se torna construir um modelo mental que seja suficiente.

No entanto, a distorção pela complexidade é sutil. A principal consequência é minar a capacidade de interpretação da informação disponível e a de prever a evolução do processo (níveis 2 e 3 da CS), pois o modelo mental não abrange todas as características do sistema. Treinamento é fundamental, mas não é o bastante: a complexidade da interface tem que ser tratada também.

Diferenças entre equipamentos, gerando complexidade, relacionam-se com o problema de “modelos mentais vagos” (também chamado de “erro de representação”). Modelos mentais são importantes na construção da CS, e ao habituar-se com um equipamento (um modelo de avião) e ter que operar outro equipamento parecido (um novo modelo de avião), falhas podem ocorrer devido à aplicação do modelo mental antigo ao novo equipamento.

Em um mesmo equipamento, pode ocorrer uma falha devido ao uso do modelo mental de um determinado modo operacional enquanto o equipamento está em outro modo operacional. Por exemplo, uma bomba de incêndio pode ter dois modos de operação: “combate a incêndio” e “teste”. Em modo de combate a incêndio, a bomba deve funcionar até não haver mais água para combate ao fogo. Em modo de teste, porém, deve funcionar apenas o suficiente para que se verifique suas condições, sem o risco de que o próprio teste cause uma falha na bomba. Algumas bombas, no modo “teste”, têm proteção contra superaquecimento: caso seja detectada temperatura muito alta durante um teste, o funcionamento é interrompido automaticamente. Essa interrupção pode ser inesperada se o operador não estiver ciente desse modo “teste” de operação – e, por estar operando com o modelo mental “combate a incêndio” (mesmo que não haja um incêndio), poderá insistir em tentar (re)partir a bomba.

É difícil perceber que se está usando um modelo mental inadequado, assim como desligar-se dele, mesmo quando há informações conflitantes com o modelo em uso. As pessoas tendem a descartar a informação conflitante e a se prender às informações que estão de acordo com seu modelo mental. Por isso, é importante que as pessoas tenham informação suficiente para encontrar o modelo correto antes de se prenderem a algum outro, o qual terão dificuldade de abandonar.

A automação pode levar também à síndrome de se estar excluído do laço de controle (“fora do laço”), isto é, a automação, ao retirar o indivíduo do controle do sistema, pode fazer com que a consciência situacional desenvolvida seja insuficiente tanto em relação ao desempenho da automação como em relação ao estado dos elementos sendo controlados. Se o sistema alcançar uma situação não prevista, e a automação estiver além de seu limite de atuação, o operador, sem estar exercitado nesse tipo de situação, pode não ter condições de detectar o problema, interpretar corretamente a informação disponível e intervir. O treinamento da equipe e uma interface operacional que contribua para atualizar a consciência situacional do operador ao longo da evolução da situação podem evitar essa “síndrome de exclusão do laço de controle”.

Em resumo, vários obstáculos decorrem das inerentes limitações de processamento da informação pelo ser humano e das características dos sistemas a serem supervisionados. Esses obstáculos minam a consciência situacional do indivíduo.

Os sistemas devem ser projetados levando em conta essas limitações do operador, com interfaces que promovam e contribuam para a CS.

### **3.4. Automação e Consciência da Situação**

O século XX, especialmente a segunda metade, caracterizou-se por um crescimento acentuado na automação de processos. Sistemas automáticos se disseminaram, transformando ou extinguindo profissões e atividades. Alguns exemplos: datilógrafos, que preparavam documentos impressos foram substituídos pelos usuários finais que digitam o texto no computador e depois o imprimem; ascensoristas, que marcavam os andares e abriam e fechavam as portas em elevadores, foram substituídos pelos passageiros, que marcam o andar no painel do elevador, ou nem isso, quando o elevador é programado para parar em cada andar (e as portas se abrem e fecham automaticamente); e caixas bancários, que realizavam as transações no banco, foram substituídos pelos clientes do banco, que realizam pagamentos pela *internet*. (Esse último caso refere-se mais a uma transferência da atividade do que de automação propriamente dita, mas também se tornou possível devido ao aperfeiçoamento dos sistemas de transação bancária e da automação da comunicação de computadores e sistemas.)

Portanto, a automação traz progresso e problemas também. Além dos possíveis problemas sociais pelo desemprego de pessoas até conseguirem novas ocupações, frequentemente o sistema de automação exige treinamento para ser operado, e, necessariamente, tem limitações conforme sua especificação. Quando o processo permite uma automação confiável e simples de operar e que prescindia de supervisão, os casos de sucesso são inúmeros, haja vista o caso de elevadores, o freio com sistema antibloqueio (ABS), sinais de tráfego, ou portas que se abrem com a aproximação de um transeunte, além de inúmeros outros.

Quando o domínio é tal que sistemas automáticos por si só não são suficientes para controlar o processo, como na indústria nuclear, na indústria de produção e refino de petróleo, ou na pilotagem de um avião, é necessária a supervisão humana. Nesses domínios, grandes variações de valores de variáveis podem ocorrer, em situações não

previstas, ou levando o processo para uma condição além das especificadas para o projeto. Pode ocorrer um comando indevido pelo próprio operador, que é quem supervisiona todo o sistema. Uma interface operacional pouco robusta, suscetível a erro, pode resultar em tragédia. Por exemplo: em 1983, um voo da Korean Airlines de Anchorage (Alasca) para Seul (Coréia) desviou-se para espaço aéreo da então União Soviética e foi derrubado. Atribui-se o incidente a uma programação errada da rota no computador de navegação, além do não monitoramento da posição da aeronave pela tripulação (WICKENS, *et al.*, 1997, p.28).

Outro exemplo semelhante é o do voo RG-254 da VARIG, em 3-Set-1989, com origem em Marabá e destino em Belém (CARDOSO, e CUKIERMAN 2007) (VEJA, 1989). A rota lida na folha de planejamento de voo e ajustada no painel foi 0270. Esse valor no sistema da aeronave correspondia ao rumo 270 ° (Oeste). Porém, a rota que deveria ser realizada era a de 27° (Norte-Nordeste). O zero à direita no plano de voo deveria ter sido desprezado, mas o comandante o inseriu inadvertidamente. O copiloto, como de praxe, ajustou o equipamento de voo do seu lado – repetindo o valor ajustado pelo comandante. Não havia no painel como confirmar a rota – por exemplo, um gráfico da rosa-dos-ventos exibindo a rota programada. O avião terminou por fazer um pouso forçado por falta de combustível, na floresta amazônica no norte de Mato Grosso, a mil quilômetros de seu destino. Antes disso, alguns sinais, como a posição do sol, indicavam o erro na rota – mas foram desconsiderados (CARDOSO, e CUKIERMAN 2007).

Ambos os acidentes tiveram como fator contribuinte a falha na determinação da rota (o *setpoint*, comandado pelo piloto) e a demora da tripulação em perceber (ou admitir) o erro, o que podemos interpretar como excesso de confiança na automação (“basta entrar com os valores, que o piloto automático cuida de tudo”). Além disso, faltava um retorno adequado (*feedback*) pela interface operacional do que estava sendo executado pelo sistema em função do que fora inserido pelo piloto. Em muitos casos, o caminho mais fácil é culpar o operador da ocasião. Uma análise mais aprofundada revela que a ação do operador foi consequência também da interface operacional e de seus efeitos sobre o processamento de informações pelo ser humano e sobre a tomada de decisão. A interface entre o ser humano e a máquina deve evidenciar o que está sendo feito e ajudar a evitar eventuais erros humanos. Nesses exemplos, o sistema de controle

atuou perfeitamente, mas o ser humano, ao operá-lo, acabou contribuindo para acidentes trágicos.

Cabe examinar como diferentes formas de automação interagem com as características humanas para o benefício da consciência situacional – ou seu prejuízo. Automação aqui é um termo abrangente, indo desde a transmissão de informação entre computadores até o apoio à decisão, passando por sistemas que executam determinadas tarefas pelo operador. Aspectos que podem ser automatizados incluem: aquisição de informação e monitoração; geração de estratégias para atingir objetivos; decisão de qual opção executar; e implementação de ações. Cada um desses papéis pode ser executado pelo ser humano (sem automação), até pelo computador (“100% de automação”), ou por uma combinação de ambos (caso mais comum, que permite diversos graus de automação, conforme uma hierarquia como a da Seção 2.3).

Não se pretende uma discussão ideológica sobre se a automação é “boa” ou “ruim”. Há diferentes maneiras de se automatizar um processo e de se construir a interface operacional. Busca-se encontrar estratégias de implementação que resultem num melhor desempenho do sistema cognitivo (o sistema físico e o de controle combinados com o ser humano), sob uma larga variedade de condições de funcionamento, especialmente nos domínios em que não se prescinde da supervisão humana, como na produção, processamento e refino de óleo.

Apesar de a automação por vezes induzir o pensamento de que a necessidade de consciência situacional se reduzirá, na verdade a CS continua sendo muito importante, ou até mais, pois além de conhecer o estado do processo, o operador deve conhecer o estado do sistema de controle, de forma a cooperar com ele (ou cobrir eventuais lacunas). Para tanto, é importante que o operador tenha um entendimento de como funciona operacionalmente o sistema de automação em geral. Para alinhar a atuação do automatismo com os objetivos da operação, o operador também deve ser capaz de prever (pelo menos em termos gerais) o que esse sistema fará numa dada situação, o que implica ter consciência situacional do processo e do controle. Pode ser, porém, bastante difícil, pois a automação, ao mesmo tempo em que é implementada porque o processo é complexo, necessita ela própria de ser supervisionada porque o processo é complexo, o que se constitui numa das ironias da automação (BAINBRIDGE, 1983). A própria automação torna-se cada vez mais complexa e aumenta o grau de complexidade do

sistema como um todo, exigindo melhor conhecimento e treinamento por parte do operador.

Como visto na seção 3.1, ao mesmo tempo em que a complexidade dos sistemas (de supervisão e controle) aumenta, a interface do sistema de automação deve servir como moderador, mostrando apenas a complexidade necessária para o entendimento do processo, simplificando, tanto quanto possível, a operação – sem prejudicar a consciência situacional do operador. A CS pode ser prejudicada quando uma determinada falha não é sinalizada adequadamente em um sistema tolerante a falhas (*fail-safe*): essa falha não compromete significativamente o desempenho do sistema, e, por isso, pode não ser detectada pela operação (CHARETTE, 2009).

### **3.5. Síntese do Capítulo**

Sistemas de produção (ou de refino) de petróleo são complexos. São necessários sistemas que apoiem os operadores em suas decisões. O conceito de consciência situacional é requisito para a tomada de decisão.

A consciência situacional pode ser modelada em três níveis: percepção, compreensão e projeção no futuro próximo do estado do processo. A automação pode influenciar a consciência situacional do operador do processo.

Para a medição da CS, existem diversas técnicas. Algumas dessas técnicas são apresentadas no Capítulo 6.

No próximo capítulo, será apresentada a abordagem de Projeto de Interface Ecológica (*Ecological Interface Design – EID*), que visa a desenvolver interfaces operacionais que auxiliem o operador no entendimento da situação do processo sendo supervisionado, especialmente em situações não previstas pelos projetistas.

#### 4. ABORDAGEM ECOLÓGICA DE INTERFACE

Este capítulo apresenta a abordagem de Projeto de Interface Ecológica, que a literatura mostra ter bom desempenho especialmente em situações não previstas em projeto (BURNS *et al.*, 2008) (JAMIESON, e VICENTE, 2001).

A abordagem de Projeto de Interfaces Ecológicas (EID, do inglês *Ecological Interface Design*) é um arcabouço que originalmente procura estender os benefícios das interfaces de manipulação direta de objetos virtuais, hoje padrão da indústria de programas de computador, para domínios de trabalho complexos, como os sistemas sócio-técnicos (ou sistemas homem-máquina, SHMs) que supervisionam o processamento de petróleo.

Este capítulo apresenta o conceito de EID e é baseado em (VICENTE, e RASMUSSEN, 1992).

##### 4.1. Eventos Previstos x Imprevistos; Familiares x Não familiares

Uma forma de classificar como operadores lidam com um evento (ou um conjunto de eventos) relevante em SHMs complexos é mostrada na Tabela 4-1, em que os eventos podem ser distinguidos ao longo de duas dimensões, uma relacionada aos operadores, a familiaridade, e outra, aos projetistas, a previsibilidade. Os eventos podem ser ou não familiares aos operadores; e podem ou não ter sido previstos pelos projetistas (VICENTE, e RASMUSSEN, 1992):

(a) Eventos familiares: são os que os operadores encontram frequentemente e, portanto, têm a experiência e as habilidades necessárias para lidar com eles. Aqui distinguimos os eventos previstos pelos projetistas (a.1), para os quais pode haver treinamento (formal) para se desenvolver a habilidade, dos eventos não previstos pelos projetistas (a.2), para os quais a habilidade vem com a experiência.



(b) Eventos não familiares para os operadores, mas previstos pelos projetistas: são os eventos que ocorrem com baixa frequência, para os quais existem procedimentos previamente preparados (pelos projetistas), sistemas de suporte à decisão, controles automáticos, etc., e a situação resolve-se com o uso de regras.

(c) Eventos não familiares aos operadores e não previstos pelos projetistas: são os eventos que raramente ocorrem e para os quais não há solução projetada, e os operadores precisam improvisar usando seu conhecimento do processo e da planta.

Tabela 4-1 – Eventos em sistemas complexos, baseado em (VICENTE, e RASMUSSEN, 1992)

<b>Eventos</b>	<b>Familiares aos operadores</b>	<b>Não familiares aos operadores</b>
<b>Previstos pelos projetistas</b>	(a.1) treinamento (habilidades)	(b) procedimentos (regras)
<b>Não previstos pelos projetistas</b>	(a.2) experiência (habilidades)	(c) improvisação (conhecimento)

Idealmente, seria desejável que não ocorressem eventos não previstos. Mas o processamento primário de petróleo numa plataforma tem entrada variável – a vazão de produção e outras variáveis podem variar – e grande quantidade de componentes e funções. Golfadas, mencionadas na seção 3.1, são um exemplo importante de variação na vazão de produção: grandes oscilações que podem até causar transbordamento de líquido nos vasos da planta de processo (PEDERSEN, DURDEVIC, e YANG, 2014). Na prática, o sistema de controle e segurança provoca uma parada de emergência da produção, evitando consequências indesejáveis – mas a parada de emergência também não é desejável, pois interrompe a produção.

Não é viável, por razões econômicas e técnicas, construir um processo em que não haja perturbações não previstas. Na sala de controle, existe a equipe de operação, suas tarefas, e diversos alarmes. Os alarmes servem de apoio aos operadores, indicando anomalias que exigem sua intervenção, mas podem ser também um constrangimento (no sentido ergonômico) importante ao trabalho. O operador terá que tomar suas decisões sob o *stress* que esses alarmes podem provocar e considerando as restrições que esses mesmos alarmes representam, além de considerar os objetivos da produção. É

na sua atividade – no sentido de Guérin et al. (2001), a realização da tarefa no trabalho – que o operador resolve as contradições que surgem entre as tarefas previstas (produzir) e as ocorrências não previstas (representadas pelo conjunto de alarmes, por exemplo). A interface operacional deve ajudá-lo nessa resolução.

O desempenho humano em eventos rotineiros é suscetível a erros do tipo deslize (falhas durante a execução da tarefa), que podem ser reduzidos a partir da aplicação de ergonomia física e visual (tamanho de botões, iluminação, uso de cores etc.).

Já durante eventos não previstos, o desempenho é comprometido por equívocos, erros de intenção, para cuja mitigação é necessário considerar fatores cognitivos. As demandas apresentadas por eventos não previstos não podem ser resolvidas simplesmente por uma correta distribuição e localização dos controles em um monitor. Interfaces tradicionais, nem sempre proveem os operadores com a ajuda que eles precisam para lidar com eventos não previstos.

#### **4.2. Formulação do Problema de Projeto de Interface Operacional**

Um sistema de supervisão e controle é operador por seres humanos por meio de uma interface. O problema de projeto dessa interface operacional pode ser apresentado como duas questões (VICENTE, e RASMUSSEN, 1992):

- (a) Como descrever a complexidade do domínio? (Será requerido um formalismo.)
- (b) Como comunicar a informação? (Será necessário um modelo de como as pessoas lidam cognitivamente com a complexidade.)

Note-se que a primeira questão refere-se ao domínio, e a segunda ao operador, numa estrutura similar à reciprocidade organismo-ambiente, estrutura central na psicologia ecológica (reciprocidade operador-processo: o comportamento de cada um determina e é determinado pelo comportamento do outro). Essa interação entre o

operador e o ambiente de trabalho é razão para chamar esse arcabouço (*framework*) de “ecológico”.

Dois conceitos para responder respectivamente a essas questões se apresentam. A abstração hierarquizada (mantendo a sigla do inglês *abstract hierarchy*, AH) é proposta como uma forma de representar as restrições de um domínio de trabalho; e a taxonomia Habilidades-Regras-Conhecimento (em inglês, *Skills-Rules-Knowledge* – SRK) é proposta como uma estrutura para descrever os mecanismos de processamento da informação por seres humanos.

A EID visa a redução de erros de intenção e trata do conteúdo da interface operacional considerando níveis de processamento cognitivo do operador (ver a seção 4.4). A EID não especifica formas e cores de apresentação dos elementos de uma interface. Esses aspectos podem ser resolvidos pelo projetista da interface (um *designer*, possivelmente, ou alguém fazendo esse papel) com sua experiência e por meio de bibliotecas (comerciais ou corporativas) de elementos de interfaces gráficas. Uma referência geral sobre interface de usuários é Galitz (2007). No domínio de supervisão de processos industriais, Hollifield et al. (2008) apresentam uma proposta abrangente, desde recomendações sobre hierarquia de telas até ícones de equipamentos, e também arranjo de monitores e da sala de controle. A importância da consciência situacional é mencionada, além da taxonomia SRK (no Capítulo 12, de 13), sem relacionar essa taxonomia ao projeto da interface operacional.

As duas próximas seções tratam respectivamente do conceito “abstração hierarquizada” e da taxonomia Habilidades-Regras-Conhecimento.

### **4.3. Abstração Hierarquizada (AH)**

A abstração hierarquizada (AH), em sua definição, é uma estrutura em níveis (ou estratos) em que todos os níveis lidam com o mesmo sistema, mas cada nível leva a uma descrição própria, com seus próprios conceitos, princípios e termos. A AH não é uma representação específica, mas um arcabouço para desenvolver representações em domínios diversos. A seleção dos estratos para um sistema em particular (e a quantidade de estratos) depende do observador e do seu interesse, podendo seguir a

estrutura geral de o nível mais alto representar a finalidade mais abstrata do sistema, os níveis seguintes representarem suas funcionalidades, com detalhamento crescente, de forma que os níveis inferiores sejam menos abstratos e mais concretos (referindo-se até a objetos físicos).

Tabela 4-2 – Abstração hierárquica, exemplo em 5 níveis (JAMIESON, 1998)

		<b>Sistema</b>		<b>Sistema</b>
↑ Abstração (relação meios-finalidades) ↑	<b>Finalidade Funcional</b>	Por quê?		↓
	<b>Função Abstrata</b>	<b>O quê?</b>		Por quê?
	<b>Função Genérica</b>	Como?		<b>O quê?</b>
	<b>Função Física</b>			Como?
	<b>Forma Física</b>			

Na AH, ver Tabela 4-2, o que é requerido em um nível é uma restrição nos níveis inferiores. Os níveis superiores levam a um entendimento de quais são os objetivos, os inferiores detalham as funcionalidades do sistema (ou os meios para que os objetivos sejam atingidos). Dado um nível, nele deve estar descrito “o que” é feito, no nível superior, o “porquê” é feito, e, no nível inferior, deve estar descrito “como” é feito (JAMIESON, 1998).

Por exemplo, sistemas de controle de processos podem ser descritos em cinco níveis:

- (a) a finalidade do sistema (exportar óleo conforme a especificação);
- (b) a estrutura causal pretendida do processo em termos de fluxos de massa e de energia (dos poços para aquecimento, para separação, para exportação), fluxos de informação e fluxos de dados (quais variáveis de processo serão monitoradas);

- (c) as funções básicas da planta (retirar o óleo cru do reservatório, aquecer o óleo, separar o gás do óleo, separar a água do óleo, exportar o óleo, exportar o gás, injetar água no reservatório);
- (d) as funções físicas (poços de produção e de injeção, água de aquecimento, água de resfriamento, bombas de exportação, controle de vazão, de nível); e
- (e) as formas físicas (cada componente dos poços, cada bomba de exportação, cada bomba auxiliar, cada válvula).

Cada nível da AH nos dá uma base de informação sobre o sistema em questão, com maior ou menor detalhamento. A AH tem origem na indústria nuclear, em pesquisas que mostraram que erros causadores de acidentes se originam quando operadores são confrontados com situações não familiares que não tinham sido, e não poderiam ter sido, previstas pelos projetistas. Em ocorrências familiares ou já previstas, um operador experiente e treinado pode compensar eventuais deficiências na interface – seu conhecimento acumulado o ajuda a contornar as deficiências e a resolver o problema.

A questão importante é ajudar os operadores a lidar com ocorrências anormais não familiares a eles e não previstas em projeto. As restrições descrevem as relações entre variáveis de processo. Anomalias resultam em rompimento das restrições, e a detecção de falha (para resolver a anomalia) é equivalente a detectar o rompimento de restrições.

Para detectar tal mudança (indesejada), os estados de todas as variáveis relativas à restrição violada devem ser representados. Não é possível saber *a priori* quais restrições serão violadas. A implicação para o projeto da interface é que as restrições relevantes governando o processo devem ser representadas a fim de auxiliar os operadores no diagnóstico da anomalia e sua resolução. Os níveis mais altos da AH representam informações sobre a finalidade do sistema (ou subsistema).

A EID procura prover a informação para o diagnóstico, ajudando o operador, mas a responsabilidade pela percepção, diagnóstico e solução ainda é do operador.

Porém, se uma pessoa puder estruturar uma situação complexa de acordo com sua necessidade perceptual e conceitual, a complexidade propriamente dita não é impedimento a um desempenho efetivo.

#### 4.4. Níveis de Processamento Cognitivo

A taxonomia SRK (de *Skills, Rules or Knowledge-based behaviour*, comportamento baseados em Habilidades, em Regras, ou em Conhecimento) descreve mecanismos de processamento cognitivo (modos cognitivos), ou, conforme (VICENTE, e RASMUSSEN, 1992), de “controle cognitivo”, que as pessoas usam para processar informação:

- (a) o comportamento baseado em habilidades (SBB), em que a informação é tratada como um sinal (*signal*) a ser rastreado continuamente;
- (b) o comportamento baseado em regras (RBB), em que a informação é tratada como um ícone (*sign*), cujo significado ativará determinadas regras e ações; e
- (c) o comportamento baseado no conhecimento (KBB), em que a informação é tratada como símbolos (*symbols*) que possam ser encaixados em algum modelo mental simbólico do conhecimento acumulado pelo operador (VICENTE, 1999, Cap. 11).

Esses mecanismos não são mutuamente excludentes. No contexto dessa taxonomia (RASMUSSEN, 1983):

- (i) sinais são informações quantitativas contínuas de um comportamento;
- (ii) ícones são uma informação que serve para ativar ou modificar ações predeterminadas; e
- (iii) símbolos são informações referentes a representações conceituais que servem de base para raciocínio e planejamento.

Um exemplo (VICENTE, 1999, Cap. 11) é a leitura de um medidor de vazão a montante de uma válvula, onde se define um valor desejado para a vazão (ver Figura 4-1). No comportamento (a), baseado em habilidades (SBB), o operador controla a abertura de uma válvula de forma a manter a vazão próxima ao desejado, comparando continuamente o valor da variável com o desejado. Toda informação necessária está no mostrador.

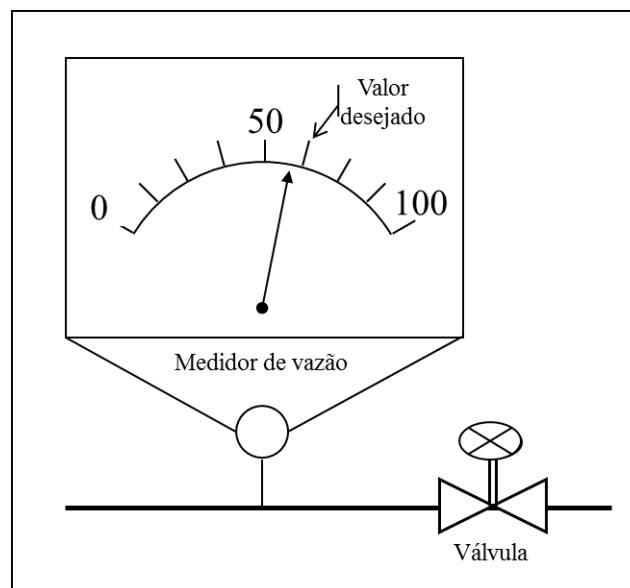


Figura 4-1 – Sinal, ícone ou símbolo na leitura de um medidor (para exemplo no texto)

No comportamento (b), baseado em regras (RBB), ainda no exemplo citado, o operador pode aplicar as regras:

- se a válvula está aberta, e a vazão está próxima à desejada, então nada há a fazer; senão, a vazão deve ser ajustada movimentando a válvula.
- se a válvula está fechada e a vazão é zero, então nada há a fazer.
- se a vazão está acima de zero, então há a necessidade de aferir o medidor de vazão.

Aferir um instrumento faz parte da rotina do operador, ocorre periodicamente, e essa necessidade é uma situação esperada. Além da informação no mostrador, são necessárias regras para a tomada de decisão.

No comportamento (c), baseado em conhecimento (KBB), se a indicação for maior que zero com a válvula fechada e com o medidor aferido, é necessário buscar outro modelo de funcionamento do sistema “válvula-indicador-vazão”. O modelo original não acomoda “indicação maior que zero” e “válvula fechada”. Por seu conhecimento, o operador pode concluir que uma das premissas é falsa. Estando a medição correta, a válvula deve estar em falha, dando passagem (vazamento). Além da informação no mostrador, o operador faz um raciocínio simbólico para acomodar a aparente contradição de “válvula fechada” (um símbolo, ou agregado de símbolos) com “indicação maior que zero” (outro símbolo). O conceito de que a indicação de vazão ocorre por “vazamento” é inferido do conhecimento do operador, pois a válvula está fechada e isso implicaria vazão zero.

Nos três casos, a informação é a mesma, ora é tratada como sinal, ora como ícone, ora como símbolo. Os comportamentos SBB e RBB têm em comum serem perceptuais, isto é, voltam-se para percepção e ação, ao passo que KBB é um mecanismo mais analítico de resolução de problemas, baseado em representação simbólica. Processamentos perceptuais (que não devem ser confundidos com o nível 1 da consciência situacional), em geral, são mais rápidos, ocorrem em paralelo e exigem menor esforço – são eficientes em eventos familiares. Em contraste, o processamento analítico é lento, ocorre em série e é mais trabalhoso – é mais flexível e permite lidar com situações novas.

Pesquisas mostram, conforme (VICENTE, e RASMUSSEN, 1992), que mecanismos analíticos permitem resoluções melhores de problemas, mas também são suscetíveis a ocorrência de erros mais graves (maior desvio-padrão). Mecanismos perceptuais levam a soluções não tão boas, mas são mais rápidas e com menor chance de se cometer um erro grave (menor desvio-padrão).



As interfaces devem tirar vantagem do processamento cognitivo humano mais eficiente em níveis mais baixos (SBB e RBB), sem que isso signifique que o processamento analítico (KBB) seja “pior” ou deva ser evitado pelo operador.

As características de domínios de trabalho complexos podem permitir o processamento SBB e RBB, e isso deve ser levado em conta no projeto de interfaces. (Se a interface puder traduzir a situação numa forma que seja familiar ao operador, torna-se mais fácil ele ter um comportamento por habilidades ou por regras, em vez de por conhecimento, e isso permitiria um desempenho melhor e uma resposta mais rápida.)

Um exemplo é o velocímetro de um automóvel que permite ao motorista (o operador, nesse caso) aplicar regras e habilidades. Se o limite de velocidade é 60km/h, deseja-se manter 50km/h (deixando uma margem de tolerância), a velocidade é monitorada pelo motorista observando o velocímetro, e aplica-se maior ou menor pressão no acelerador conforme a velocidade lida; se a velocidade indicada no velocímetro é menor que 50, então continua acelerando, se for maior que 60, então é necessário frear ou, ao menos, tirar o pé do acelerador. Se houvesse apenas o odômetro (e um relógio), seria necessário aplicar a definição de velocidade e fazer contas (uso de conhecimento) para garantir o respeito à restrição (máximo de 60km/h).

Essa a tendência das pessoas: tentar simplificar tarefas complexas, que exigiriam KBB, tirando vantagem de SBB e de RBB, mapeando situações novas em situações familiares. É como provar um (novo) teorema matemático: exige KBB para as manipulações que permitam chegar a (e reconhecer) um ou mais teoremas demonstrados previamente (familiares), quando o (novo) teorema pode ser considerado resolvido.

O modo de reconhecimento da cognição (isto é, SBB ou RBB) exige menos esforço que o modo analítico. Conforme Miller e Jagacinski (1989)<sup>2</sup>, mesmo especialistas confiam em percepção e ação. Processamento cognitivo (analítico) é

---

<sup>2</sup> O relatório (MILLER, e JAGACINSKI, 1989) é baseado em KIRLIK, A. C. “**The organization of perception and action in complex control skills**”, dissertação não publicada, The Ohio State University, Dept. Ind. Syst. Eng., Columbus, OH, 1989. Vicente, e Rasmussen (1992) citam essa dissertação.

requerido somente quando não há, no ambiente, informação suficiente para selecionar uma ação apropriada.

No entanto, deve-se considerar que é fácil ocorrer o esquecimento de alguma característica do problema, deixando de considerar algum aspecto importante do processo, se a informação para essa característica não for mostrada no monitor. Trata-se de um efeito *out of sight, out of mind*, ou, literalmente, “fora da vista, fora da mente” (VICENTE, e RASMUSSEN, 1992) – ter informação incompleta pode, com efeito, levar a desempenho pior do que se não tiver informação alguma (sem informação alguma, o operador fica obrigado a usar seu conhecimento e buscar a informação completa).

As interfaces devem ser projetadas de forma a permitir que as pessoas possam atender às demandas da tarefa fazendo uso dos níveis mais baixos (e de menor esforço) de processamento cognitivo, ou seja, devem apoiar o comportamento baseado em habilidade e o comportamento baseado em regras. E, para serem efetivas, as interfaces devem também apoiar, sem forçar, o processamento analítico, quando este for necessário. Realisticamente, a execução de uma tarefa complexa exigirá o envolvimento dos três níveis de controle cognitivo (S, R e K).

#### **4.5. Projeto de Interface Ecológica**

Os conceitos apresentados da AH e da taxonomia SRK, além de análises de modos de interação entre seres humanos e sistemas, levam aos postulados para o projeto de interfaces ecológicas (EID): três princípios gerais para um projeto único que simultaneamente suporte os três níveis de processamento cognitivo. Cada princípio corresponde a um nível de processamento cognitivo (VICENTE, e RASMUSSEN, 1992):

- (a) para apoiar o comportamento baseado em habilidades (SBB), que trata a informação como sinais a serem monitorados ao longo do tempo, o operador, que, nesse caso, não atua diretamente sobre o equipamento, deve ser capaz de atuar diretamente nos objetos exibidos pela interface (uso de *mouse*, ou de telas sensíveis ao toque, evitando comandos textuais), e a estrutura da informação

mostrada deve ser isomórfica (deve guardar semelhança) com a estrutura parte-todo de movimentos que permitam acesso a mais informação;

(b) para o comportamento baseado em regras (RBB), em que a informação é tratada como um ícone (*sign*), cujo significado ativará determinadas regras e ações, deve-se prover um mapeamento um-para-um consistente entre as restrições do domínio de trabalho e os significados aparentes na interface – o ícone serve de indicação para selecionar a ação apropriada; e

(c) no comportamento baseado no conhecimento (KBB), a informação é tratada por meio de símbolos que possam ser encaixados em algum modelo mental do conhecimento acumulado pelo operador, e, para isso, a interface deve representar o domínio de trabalho como uma abstração hierarquizada que sirva como modelo mental de apoio à cognição baseada em conhecimento.

Um exemplo do suporte a SBB em interfaces é o uso do dispositivo *trackball* em estações de supervisão de processo com interface gráfica. Similar a um *mouse* de computadores pessoais, o *trackball* é uma esfera montada sobre uma base. Essa esfera pode ser rolada com a mão de forma a movimentar uma seta, o cursor, na tela de operação. Após algumas horas de treino (tal como no uso do *mouse*), o operador, não precisa mais pensar sobre o uso do *trackball*, automatizando o movimento da mão conforme segue o cursor na tela – o operador concentra-se no problema operacional, não em como movimentar o cursor.

Exemplo de suporte a RBB é o uso de desenhos na tela (ícones) que respondem ao comando do usuário (o operador) – objetos virtuais para os quais ações respectivas são pré-definidas. O desenho na tela representando um determinado controlador pode significar que, se o botão do *trackball* for pressionado quando o cursor estiver sobre esse controlador, uma janela se abrirá mostrando o valor desejado (*setpoint*) e outros parâmetros para esse controlador. Se o desenho, ou seja, o objeto (virtual) for uma válvula, comandos para abrir ou fechar a válvula serão apresentados. Ainda, se o desenho for de um coletor (*header*), nada acontecerá, pois não há ações pré-definidas para um coletor.

Suporte a KBB em interfaces pode ser implementado desde pela navegação adequada entre as telas de operação até por interfaces de sistemas de diagnóstico e apoio à decisão. A navegação entre as telas de operação deve mostrar os sistemas e subsistemas do processo de maneira compatível com o modelo mental dos operadores. Ou seja, a hierarquia entre as telas deve refletir a hierarquia entre os sistemas e subsistemas do processo. Sistemas de diagnóstico e apoio à decisão podem ajudar no diagnóstico e na previsão de anomalias, indicando tendências que podem evoluir para um problema. O operador poderá buscar uma solução antes que alarmes sejam acionados (KASZKUREWICZ, *et al.*, 1997).

Em domínios de trabalho complexos, a resolução de problemas se dá em meio a uma rede causal complexa de relações. Portanto, é muito difícil para os operadores garantirem que todas as consequências de uma ação selecionada foram levadas em consideração e avaliadas. A abordagem indicada é revelar o espaço do problema, uma representação relevante do domínio que contenha a informação que os operadores necessitam para lidar com eventos não previstos. (A AH deverá estar visível na interface.)

A representação das variáveis de processo relevantes para o objetivo do sistema (as “propriedades do domínio”) pode beneficiar o desempenho na solução do problema.

A abordagem de projeto de interface ecológica (EID) tem, claro, suas limitações: os projetistas devem ter um entendimento do processo (o sistema) para além do trivial; e depende da existência, tecnologia e qualidade de sensores e instrumentação.

#### **4.6. Origem do Nome**

A referência a “ecológico” alude originalmente à Psicologia Ecológica, apresentada por (BRUNSWIK, 1957, e GIBSON, 1966, apud RASMUSSEN, e VICENTE, 1989), cuja discussão foge ao nosso escopo. No entanto, mencionaremos alguns conceitos, baseados em (RASMUSSEN, e VICENTE, 1989), para justificar a relação.

Brunswik define “variáveis distais” e variáveis proximais”. “Variáveis distais” representam descrições objetivas do ambiente do organismo, e “variáveis proximais” representam os sinais sensoriais que o organismo recebe de seu ambiente. A qualificação de “ecológico” deriva dessa relação entre organismo e ambiente, em oposição ao estudo isolado de um ou de outro.

Nesses termos, a EID (e o sistema de automação) mapeia sinais de variáveis de processo (pressão, temperatura, etc.) em símbolos (numéricos ou gráficos), buscando tornar variáveis distais (distantes, na planta) em proximais (próximas, na interface operacional) que deem indicações perfeitamente coerentes (representando o processo).

Em contraposição, a abordagem de Gibson baseia-se na hipótese de que a percepção é direta, sem processamento da informação, eliminando a necessidade de inferência (as variáveis proximais especificam completamente, ou seja, mapeiam respectivamente as distais). Na abordagem EID, a interface deve ter *affordances* (neologismo referindo-se às possibilidades de ação oferecidas ou sugeridas ao operador pelos objetos de interface (GIBSON, 1986, Cap. 8)) que permitam uma imediata percepção da situação e, conseqüentemente, uma fácil tomada de decisão. *Affordances* representariam atributos do processo relevantes às intenções do operador. Na EID, o conceito de percepção direta é reinterpretado (relaxado), pois sua aplicação não é difícil para fornecer ao operador o estado corrente do processo (supondo que os sensores funcionam perfeitamente), ou, em muitos casos, o estado que se pretende atingir. Isso muda quando se pretende indicar a ação a ser tomada, quando será necessária inferência por parte do operador sobre a ação a ser tomada.

#### **4.7. Interface Ecológica e Consciência Situacional**

O conceito de consciência situacional pode ser visto como um complemento que pode “desafiar” (servindo como critério de avaliação) e direcionar o desenvolvimento de interfaces ecológicas (MINOTRA, e BURNS, 2015). Burns et al. (2008) e Kim et al. (2012) avaliaram interfaces ecológicas sob o critério de consciência situacional.

Burns et al. (2008) avaliou o uso de interfaces ecológicas, frente a interfaces “tradicionais” existentes, e frente a interfaces que seriam de desenvolvimento centrado

no usuário, ditas “avançadas”, baseadas nas interfaces existentes e contendo gráficos adicionais incluídos por especialistas no processo. A avaliação foi feita para o domínio sala de controle de um reator nuclear e contou com um simulador do processo e seis operadores participantes. Nem todas as telas foram redesenvolvidas, mas houve um ambiente híbrido de operação que, ainda que não seja o ideal empiricamente, é o caminho mais comum na indústria, onde a adoção de novas tecnologias de interface (e de novas tecnologias em geral) é gradativa (BURNS *et al.*, 2008).

Outros trabalhos enfatizam medições de desempenho (tempo e exatidão de percepção e de diagnóstico) com resultados promissores para a EID (LAU, *et al.*, 2008) (JAMIESON, 2003). Considerando, porém, os fundamentos cognitivos da EID, medições cognitivas também são necessárias. O conceito de consciência situacional foi escolhido por ser amplamente aceito na comunidade de engenharia cognitiva, havendo uma extensa literatura a respeito, e porque a medição da consciência situacional pode referir aos seus três níveis (percepção, compreensão e projeção), conforme o modelo de (ENDSLEY, 1995) – o prevalente na literatura pertinente (BURNS *et al.*, 2008).

Pode-se, então, fazer um paralelo conceitual entre a taxonomia SRK, fundamento da EID, e os três níveis da consciência situacional, conforme a Tabela 4–3 (baseada em (BURNS *et al.*, 2008)).

Tabela 4–3 – Paralelo entre taxonomia SRK e os níveis da CS, baseado em (BURNS *et al.*, 2008)

<b>Modo Cognitivo (<i>Cognitive Control</i>)</b>	<b>Nível de Consciência Situacional (<i>Situational Awareness</i>)</b>
Comportamento Baseado em <b>Habilidades</b> ( <i>Skill-Based Behaviour</i> , SBB)	<b>Percepção</b> (Nível 1 – CS n1) – a abordagem EID pode tornar visíveis as restrições às ações por meio de objetos gráficos consistentes com a capacidade (habilidade) perceptual dos usuários (operadores).
Comportamento Baseado em <b>Regras</b> ( <i>Rule-Based Behaviour</i> , RBB)	<b>Compreensão</b> (Nível 2 – CS n2) - a abordagem EID pode ajudar a comunicar a finalidade do sistema e mostrar variáveis em um contexto de relações (regras) funcionais.
Comportamento Baseado em <b>Conhecimento</b> ( <i>Knowledge-Based Behaviour</i> , KBB)	<b>Projeção</b> (Nível 3 – CS n3) – a abordagem EID pode apoiar o operador no uso de seu modelo mental (baseado em conhecimento).

Na interação (ou comportamento) baseada em habilidade, há uma relação direta entre percepção e ação (FLACH, e RASMUSSEN, 2000). A abordagem EID pode tornar visíveis as restrições que se aplicam às ações (ver Tabela 4–3), por exemplo, ao exibir setas que mostrem o sentido correto de uma ação, como abrir uma válvula, restringindo a *affordance* do objeto gráfico.

No caso de processamento baseado em regras, a interface pode mostrar relações entre valores máximo e mínimo) de uma variável e o valor corrente da variável, e relações entre diferentes variáveis do processo. Reciprocamente, a interface pode promover um acúmulo de regras práticas que surgem pelas correlações observadas (ou seja, mapeamentos consistentes) durante as condições normais de operação (ver (FLACH, e RASMUSSEN, 2000)).

Simulações mentais para prever e evitar problemas devido a ações operacionais caracterizam o modo baseado em conhecimento. Há uma solução de compromisso envolvida – perder uma oportunidade devido à indecisão ou decidir prematuramente (FLACH, e RASMUSSEN, 2000). A interface deve apoiar o operador no uso do modelo mental (a simulação), permitindo-lhe uma projeção no futuro próximo de como o processo pode evoluir conforme a ação tomada (ou caso não seja tomada ação alguma) (ver Tabela 4–3, linha referente a KBB).

Jamieson (2007) (e (JAMIESON *et al.*, 2007)) não trata de consciência situacional, mas também verifica melhor desempenho de interfaces com abordagem ecológica, em relação a interfaces tradicionais, observado na ocorrência de eventos não previstos ou não familiares, em um experimento com simulação de processo petroquímico.

Criar um ambiente experimental rigorosamente representativo de um sistema industrial complexo é um desafio metodológico (BURNS *et al.*, 2008). A falta de familiaridade dos operadores com as novas interfaces pode explicar, em parte, o desempenho inferior da interface ecológica ante a interface tradicional e a interface “avançada”. Nas situações previstas em projeto (ou familiares ao operador), o operador precisa perceber as indicações da interface que o levam a reconhecer a situação como já vivida ou já prevista (as interfaces conhecidas facilitariam esse processo). Nas situações não previstas, o operador precisa estar consciente dos princípios fundamentais

por trás do processo sendo operado (e a interface ecológica teria melhor desempenho nesses casos, ou seja, propiciariam melhor desempenho no modo cognitivo baseado em conhecimento) (BURNS *et al.*, 2008).

Kim *et al.* (2012) relata um experimento com três participantes: operadores experientes, cada um com ao menos três anos de experiência como operador em sala de controle. Também comparou interfaces tradicionais (mímicos da planta de processo) com interfaces híbridas (interfaces tradicionais e interfaces ecológicas) de supervisão de processos de geração nuclear. A consciência situacional objetiva (medição objetiva) resultou equivalente num caso e noutro, e a subjetiva resultou melhor com o uso de interfaces ecológicas – quando há interfaces ecológicas, além das que apenas imitam diagramas do processo, operadores puderam entender a situação da planta mais corretamente.

Além disso, interfaces ecológicas devem apoiar a percepção rápida e a interpretação correta (níveis 1 e 2 da CS) da informação de tempo-real (SKRAANING JR. *et al.*, 2007), evitando que o operador seja levado a uma “visão-túnel”. Uma interface projetada sob a abordagem EID deve combinar dinamicamente a informação disponível para ajudar a rápida percepção, compreensão e projeção do estado do processo (BURNS *et al.*, 2008) e, conseqüentemente, ajudar no processo de tomada de decisão (JAMIESON, 2007) (JAMIESON, e VICENTE, 2001).

#### **4.8. Síntese do Capítulo**

A abordagem EID surgiu para estender os benefícios da interface de manipulação direta (interfaces gráficas com *mouse*, *trackball*, ou telas de toque) a domínios de trabalho complexos, como a supervisão de processos. Baseando-se na AH e na taxonomia SRK, a EID estabelece princípios sobre como a interface deve ser construída mais em termos da cognição do ser humano do que em termos das opções de manipulação direta oferecidas por determinada biblioteca (VICENTE, e RASMUSSEN, 1992).



A abordagem de projeto de interface ecológica (EID) busca trazer para o operador informações que lhe permitam ter uma visão mais holística das condições do processo, ajudando-o a lidar com situações não previstas no projeto.

O Capítulo 5 descreve uma interface de alarmes desenvolvida com base nos conceitos da EID para o Sistema Avançado de Alarmes Inteligente, que permite exibir os alarmes de processo mais importantes priorizados em tempo-real.

## **5. NOVA INTERFACE DE ALARMES**

Este capítulo apresenta uma nova interface de alarmes que pode ser agregada ao sistema de alarmes com o objetivo de aumentar a consciência situacional do operador. É baseada na abordagem de Projeto de Interface Ecológica, apresentada no Capítulo 4.

Essa nova interface de alarmes faz parte do Sistema Avançado de Alarmes Inteligente (SAAI), também descrito, que visa a apresentar os alarmes de processo mais importantes priorizados em tempo-real.

### **5.1. Nova Aplicação de Alarmes**

O tema em tela neste trabalho é o tratamento da avalanche de alarmes, que dificulta a consciência situacional do operador de processo. Uma grande quantidade de alarmes ativados em um curto intervalo de tempo dificulta o entendimento das condições do processo pelo operador: o sistema de alarmes, em vez de ajudar, atrapalha nessas condições.

Para auxiliar o operador a manter sua consciência da situação durante uma avalanche de alarmes (e, em geral, na ocorrência de alarmes), foi proposta uma nova aplicação de alarmes, o Sistema Avançado de Alarmes Inteligente (SAAI). Esse sistema se agrega ao sistema de supervisão e controle (ao subsistema de alarmes) como uma “aplicação avançada” no nível do sistema de supervisão (ver Seção 2.2, Figura 2-2). O SAAI é dito ser “avançado” por trabalhar como complemento do programa de supervisão e operação (o programa supervisório), e “inteligente” porque pode processar logicamente a informação (variáveis e alarmes) vinda do supervisório (SATUF, *et al.*, 2014).

O principal objetivo do SAAI é exibir, em tempo-real, os alarmes mais importantes com variáveis de processo relacionadas para dar uma visão mais holística das condições do processo. Os alarmes exibidos vêm do supervisório, e são previamente configurados no SAAI. Podem ser apresentados também alarmes gerados

por uma base de conhecimento do próprio SAAI, que pode conter regras configuradas por operadores experientes e engenheiros especialistas no processo em questão. As regras podem ser inseridas manualmente, durante a configuração (engenharia) do sistema. O SAAI, baseado no software AIMS (SCHIRRU, e PEREIRA, 2004), faz a verificação e validação das regras e do banco de conhecimento por meio de uma implementação que atende às diretrizes contidas no guia NUREG/CR-6316, *Guidelines for the Verification and Validation of Expert System Software and Conventional Software* (NRC, 1995).

O SAAI compõe-se basicamente de um sistema de aquisição de dados (SAD), de um processador de variáveis de tempo-real, de um processador de alarmes, de uma base de conhecimentos e de sua interface de alarmes (ver Figura 5-1). O SAD recebe sinais digitais e analógicos do supervisor do processo por um *driver*, programa que realiza a comunicação entre outros dois programas. Esse mesmo SAD converte os valores para unidades de engenharia. O processador de variáveis de tempo-real faz cálculos entre as variáveis digitais e analógicas, e o processador de alarmes executa a lógica de alarmes. A base de conhecimentos contém os alarmes cadastrados e as regras para tratamento dos alarmes. A interface de alarmes é a interface de usuários do SAAI, onde os alarmes são exibidos. O SAAI é instalado em um computador diferente do computador onde é executado o supervisor (o programa VXL no caso das plataformas semissubmersíveis de produção, como a P-26).

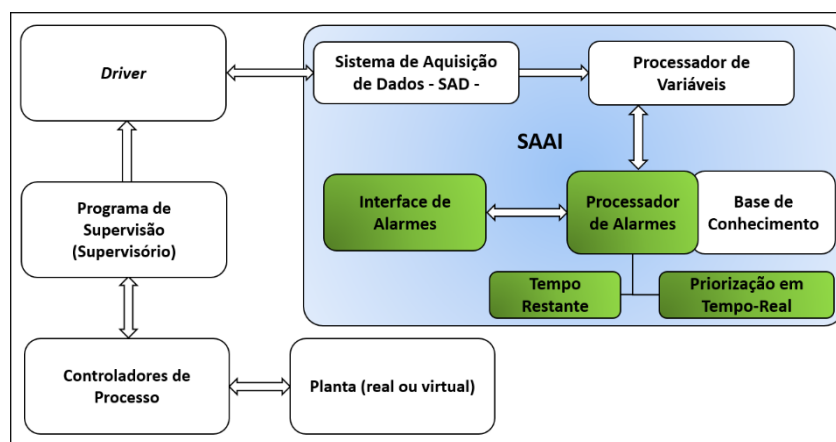


Figura 5-1 – Diagrama de blocos para o SAAI

A interface de exibição dos alarmes foi desenvolvida com conceitos da abordagem de projeto de interfaces ecológicas (EID), com o objetivo de ajudar o operador mesmo em situações que não lhe sejam familiares. Quando um alarme configurado no SAAI é ativado, o processador de alarmes calcula sua respectiva prioridade de tempo-real em função do tempo de resposta disponível (TRD) e da prioridade básica com a qual o alarme foi configurado na base de conhecimento. A partir de então, o processador de alarmes (ver Figura 5-1) mantém atualizado o tempo restante de resposta para cada alarme, recalcula a respectiva prioridade de tempo-real e ordena os alarmes conforme a prioridade calculada. A interface de alarmes exibe os alarmes ordenados pela prioridade.

## **5.2. Priorização Básica de Alarmes**

São configurados no SAAI alarmes próprios dessa aplicação e alarmes existentes no supervisão. Alarmes do sistema supervisão são selecionados dentre os alarmes mais frequentes ou de maior perigo. Uma prioridade e um tempo de resposta disponível (TRD) são atribuídos a cada alarme, individualmente, quando este é configurado no SAAI. Essa prioridade, uma vez atribuída ao alarme, não sofre mudança ao longo do tempo (a não ser por alteração na configuração por parte da engenharia de manutenção), sendo, por isso, chamada de prioridade básica, ou prioridade “estática”, neste trabalho. Essa prioridade estática (possivelmente, a mesma prioridade atribuída no supervisão) servirá de base para o cálculo da prioridade em tempo-real (a prioridade “dinâmica”).

A prioridade básica é função do impacto caso não haja ação pelo operador quando da ativação do alarme, e do tempo de resposta disponível (PETROBRAS, 2011). O tempo de resposta disponível (TRD) é o tempo máximo entre a anúncio do alarme e o momento em que o operador precisa tomar uma ação corretiva para evitar as consequências indesejáveis (ANSI/ISA, 2009). Seguindo a norma N-2900 “Gerenciamento de Alarmes” (PETROBRAS, 2011), a prioridade básica atribuída ao alarme será ou “baixa”, “média”, “alta”, ou “crítica”.

Primeiramente, é estimado o tempo de resposta disponível (TRD). O TRD (valor numérico) pertencerá a uma de três categorias de tempo de resposta (TR): curto,

médio ou longo (Tabela 5–1, (PETROBRAS, 2011)). Se o TRD for menor que 1 minuto, deve ser avaliado se o operador poderá executar a ação adequadamente – alternativamente, pode ser prevista uma atuação automática. Se o TRD for igual a 1 hora ou mais, o alarme deverá ser reclassificado como “alerta” e ter um tratamento específico – via de regra, não estará no escopo do SAAI.

Tabela 5–1 – Tempo de Resposta em função do TRD (PETROBRAS, 2011)

<b>Tempo de Resposta Disponível (TRD)</b>	<b>Categoria de Tempo de Resposta (TR)</b>
A partir de 1 hora	(Nota 1)
Maior que 10 minutos e menor que 1 hora	Longo
De 3 minutos até 10 minutos	Médio
De 1 minuto a 3 minutos	Curto
Menor que 1 minuto	Curto (Nota 2)

Nota 1: TRD a partir de 1 hora leva o alarme a ser reclassificado como alerta.

Nota 2: Para TRD menor que 1 minuto, recomenda-se avaliar se o operador poderá executar a ação prevista ou se se deve implementar um automatismo para tratar da anomalia.

A estimativa do dano é feita considerando as conseqüências para as pessoas, para o meio-ambiente e para os ativos (incluindo perdas de produção). Para cada um desses três critérios de dano, é consultada a respectiva tabela de priorização (reproduzidas nas Tabelas 5–2, 5–3, e 5–4), tomando-se a prioridade relativa ao maior dano (o impacto mais grave) encontrado. Caso não haja dano sob algum critério, o alarme não é enquadrado na respectiva tabela, e serão consideradas as prioridades obtidas nas outras tabelas.

Tabela 5–2 – Priorização conforme danos a pessoas pela N-2900 (PETROBRAS, 2011)

<b>TR</b>	<b>Lesão com ou sem afastamento</b>	<b>Invalidez ou morte</b>
Curto	Crítica	Crítica
Médio	Crítica	Crítica
Longo	Alta	Crítica

Tabela 5-3 – Priorização conforme danos ao meio-ambiente pela N-2900 (PETROBRAS, 2011)

TR	Liberação para dentro dos limites	Liberação para fora dos limites
	geográficos da companhia com consequências ambientais	geográficos da companhia com consequências ambientais
Curto	Alta	Crítica
Médio	Alta	Crítica
Longo	Média	Alta

Tabela 5-4 – Priorização conforme danos a ativos (e a produção) pela N-2900 (PETROBRAS, 2011)

TR	Pequenas	Moderadas	Grandes	Perda de produção
	perturbações operacionais ou danos reduzidos / insignificantes aos equipamentos	perturbações operacionais ou danos moderados aos equipamentos reparáveis e de baixo custo	perturbações operacionais ou danos graves aos equipamentos	associada a dano em equipamento essencial
Curto	Baixa	Média	Alta	Alta
Médio	Baixa	Baixa	Média	Alta
Longo	Baixa	Baixa	Baixa	Média

Por recomendação de (EEMUA, 2007), cerca de 80% dos alarmes devem ter baixa prioridade, 15% deles devem ter prioridade média, e a prioridade alta deve ser atribuída a 5% dos alarmes, no máximo. Além disso, a até 20 alarmes pode ser atribuída a prioridade crítica. Vale notar que a priorização de alarmes é uma tarefa importante, cujo resultado pode afetar a carga de trabalho do operador (WALKER *et al.*, 2014).

Essa mesma priorização pode ser implementada no supervisório, sendo um auxílio importante para o operador – porém, dessa forma, a priorização não se adapta às condições dinâmicas do momento da operação. Ao longo da operação do processo, torna-se (muito) provável que haja empate de prioridades de alarmes – especialmente alarmes de prioridade baixa –, e os operadores não teriam indicação no sumário de

alarmes para decidir quais devem ser atendidos primeiramente. A priorização em tempo-real servirá como essa indicação, “desempatando” as prioridades.

### 5.3. Priorização dos Alarmes em Tempo-Real

O SAAI prioriza os alarmes em tempo-real, evitando empates ao utilizar diferentes faixas numéricas de prioridade de tempo-real associadas às diferentes prioridades básicas (ver a Tabela 5–5). A partir da prioridade básica, é calculada em tempo-real uma prioridade inicial, dentro da respectiva faixa. Esse valor de prioridade de tempo-real aumenta ao longo do tempo, daí ser uma prioridade “dinâmica”. Esta seção descreve essa priorização realizada em tempo-real e é adaptada de (SATUF *et al.*, 2016). O algoritmo é implementado como subrotina do SAAI (UFRJ/COPPE-Nuclear/LMP, 2014).

Tabela 5–5 – Faixas de prioridade de tempo-real

<b>Prioridade Básica</b>	<b>Prioridade de Tempo-Real</b>
Baixa	100-199
Média	200-299
Alta	300-399
Crítica	400-499

A prioridade de tempo-real (PTR) aumenta conforme o tempo passa e o tempo disponível para seu atendimento diminui, podendo passar para uma faixa acima de priorização. Por exemplo, um alarme (“almP”) poderia ser classificado com um tempo de resposta Longo, e não ter impacto significativo para pessoas nem para meio-ambiente. Pela tabela de danos a ativos e produção, sendo o impacto “grandes perturbações operacionais”, seria atribuída a prioridade Baixa ao alarme. Conforme o tempo passa, no entanto, esse alarme deveria ser reclassificado para prioridade Média e Alta, conforme essa mesma tabela.

Em tempo-real, uma vez atribuída ao alarme sua prioridade dentro da faixa correspondente à prioridade básica, o SAAI atualiza a prioridade de tempo-real a cada

ciclo de processamento, e ordena todos os alarmes de acordo com a prioridade de tempo-real, e os alarmes mais prioritários serão exibidos no topo da interface de usuário, como os mais importantes naquele momento.

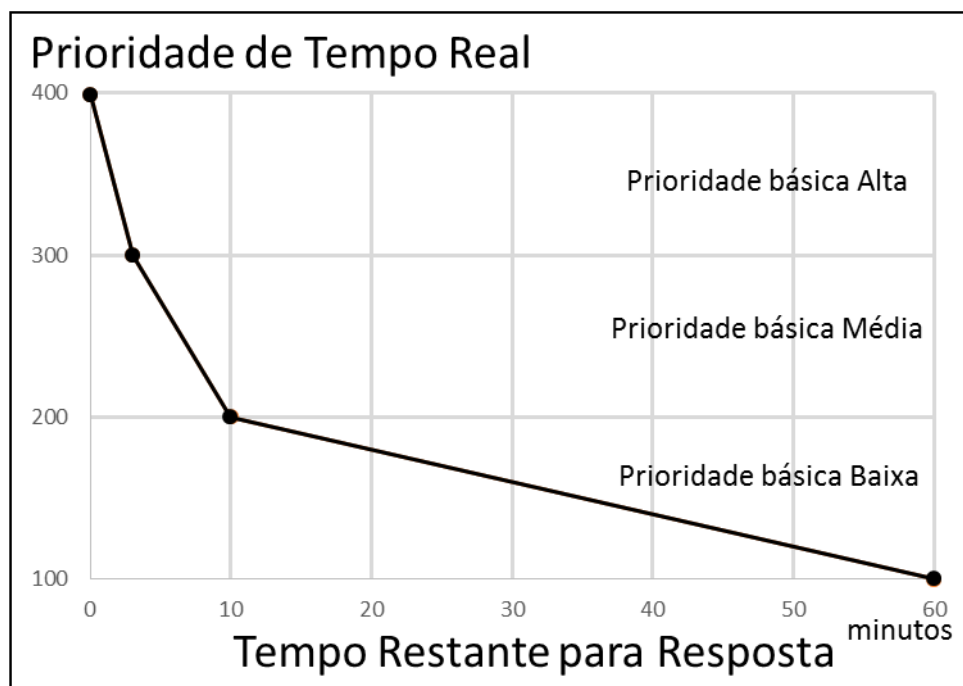


Figura 5-2 – Exemplo de curva de Prioridade em Tempo-Real x Tempo de Resposta Disponível

No SAAI, uma curva de prioridade de tempo-real (PTR) é definida para cada alarme, de acordo com o comportamento desejado da prioridade à medida que o tempo transcorre, e o tempo de resposta restante (TRR) decresce e passa de longo para médio, e de médio para curto. Essa curva reflete, para o alarme, as tabelas de priorização de alarmes vistas na seção 5.2 à medida que decorre o tempo. Um exemplo é visto na Figura 5-2 para alarmes com prioridades (nominais) que devam ir de baixa para média quando o TRR chega a 10 minutos, e de prioridade média para alta quando o tempo restante alcança 3 minutos. Um alarme que tem um tempo de resposta disponível de 59 minutos (no limite) tem inicialmente uma prioridade de tempo-real de 100 quando ativado. Note-se que, inicialmente, TRR equivale a TRD. Um alarme (por exemplo, o “almP”), com TRD de 15 minutos, tem inicialmente a prioridade de tempo real de 190. Conforme TRR decresce, a PTR é incrementada, alcançando 200 quando o tempo



restante é de 10 minutos, alcançando 300 quando o tempo restante chega a 3 minutos, e alcançando 399 quando não resta mais tempo.

Um outro alarme (“almQ”, ver Tabela 5–6), com um TRD de 20 minutos, ativado após almP, teria uma prioridade de tempo-real de 180 – uma prioridade menor que a de almP, pois o TRR é maior que o de almP – e viria após almP na interface SAAI, apesar de o almQ ter sido ativado mais recentemente.

Ainda um outro alarme (almR) poderia também ter um TRD de 20 minutos, mas uma prioridade básica “média” (por causa de um impacto maior de suas consequências), e seguir uma outra curva de prioridade de tempo-real. Sendo ativado após o almP - mas enquanto almP está na faixa “baixa” (Figura 5–2) –, almR teria uma prioridade maior que a de almP (apesar de almR ter um TRR maior) porque este almR iniciaria com uma prioridade de tempo-real maior (e poderia alcançar o topo da lista).

Tabela 5–6 – Alarmes para o exemplo do texto. almR será o de maior prioridade, almQ o de menor

alarme	prioridade básica	TRD	Valor inicial da PTR	Momento de Ativação (tempo decorrido $t$ )	Observações
almP	baixa	15 min	190	0	Ver Figura 5–2. Enquanto $t < 5$ min, $PTR < 200$ . Em $t = 0$ , $TRR = TRD$ . Em $t = 5$ min, $TRR = 15$ min – $t = 10$ min, e $PTR = 200$ .
almQ	baixa	20 min	180	$t \geq 1$ min	A PTR inicial é menor que a de almP, pois o TRD é maior.
almR	média	20 min	$ptr \geq 200$	$5$ min $> t \geq 0$	A PTR inicial mínima é 200 (ver Tabela 5–5), maior que a de almP e que a de almR.

Neste exemplo, seriam ativados, na ordem, o almP, depois, o almQ, com prioridade de tempo-real menor, e, finalmente, o almR com prioridade de tempo-real maior que a do almP (ver Tabela 5–6). Caso a anomalia correspondente a um alarme seja resolvida, o alarme é desativado. Portanto, ele sai da lista de alarmes ativos e não prossegue sua evolução na curva de prioridade em tempo-real.

## 5.4. Funcionalidades da Interface SAAI

Operadores frente uma avalanche de alarmes podem não atentar para o sumário de alarmes e voltarem-se para as telas de operação, navegando pelo processo, tentando entender o cenário e manter ou recuperar sua consciência situacional. A Tabela 5–7 mostra um modelo de abstração hierárquica (AH) para uma interface cujo objetivo seja a manutenção da consciência situacional frente a avalanche de alarmes. Para manter a CS, cada nível (percepção, compreensão e projeção) da CS deve ser tratado pela interface, e aspectos da exibição dos alarmes referem-se a cada nível da CS.

A exibição destacada dos alarmes mais importantes, após serem priorizados em tempo-real, facilita a percepção desses alarmes. A exibição, na mesma tela (facilitando a percepção), de gráficos de variáveis de processo associadas à variável monitorada pelo alarme permite uma visão mais holística do processo no momento em que o alarme ocorre. Informação além de que a variável do alarme ultrapassou o limite de sua faixa de operação normal promove a compreensão do contexto em que o alarme ocorre. Os gráficos de variáveis, especialmente os gráficos de tendência de variáveis acopladas entre si (que tenham relações de causa e efeito), buscam permitir o operador a projetar a evolução do processo no futuro próximo.

Tabela 5–7 – Modelo de abstração hierárquica (AH) para a interface de alarmes do SAAI

<b>Finalidade</b>		Consciência situacional frente a avalanche de alarmes		
		CS nível 1	CS nível 2	CS nível 3
<b>Função</b>		Percepção dos alarmes mais importantes	Compreensão da anomalia	Projeção da evolução do processo (futuro próx.)
<b>Forma</b>		Exibição destacada dos alarmes mais importantes (prioridades calculadas em tempo-real).	Exibição de outras variáveis de processo associadas à variável do alarme, em gráficos.	Gráficos (especialmente de tendência) das variáveis de processo com relações de causa e efeito, conforme o mapa mental de operadores.

A interface SAAI é projetada para ajudar operadores nessa situação de avalanche de alarmes, uma vez que podem consultar uma única janela e ver a informação

necessária para entender as condições do processo e tomar uma decisão. O texto seguinte nesta seção descreve a interface do SAAI e é adaptação de (SATUF, *et al.*, 2016).

O sistema SAAI exibe os alarmes priorizados e gráficos associados. Sua interface gráfica, mostrada na Figura 5-3, abrange três seções principais (SATUF *et al.*, 2014):

a) A seção superior, mostrando os sete alarmes mais importantes no momento, priorizados em tempo-real. Note-se que esses alarmes são ordenados pela prioridade de tempo-real e não cronologicamente: um alarme recém ativado pode ganhar a posição de topo ou não, dependendo de sua prioridade calculada em tempo-real (como no exemplo da seção 5.3).

b) A seção central, que mostra informação gráfica, especialmente gráficos de tendência, relacionada ao alarme mais prioritário (o alarme de topo).

c) A seção inferior, mostrando a lista completa de alarmes ativos no SAAI.

Uma avalanche de alarmes significa que várias anomalias, correlacionadas ou não, estão ocorrendo quase simultaneamente. Uma avalanche é um momento de *stress* para o operador que precisa de decidir o que fazer a fim de trazer o processo de volta à condição normal e/ou evitar maiores consequências. A seção superior mostra apenas os sete alarmes com maior prioridade para diminuir o *stress* do operador, ajudando-o a selecionar a qual alarme responder primeiramente. Os alarmes são mostrados em ordem de prioridade de tempo-real, não pela ordem cronológica do momento de ativação.

A interface mostra também informação auxiliar no topo: a quantidade de alarmes ativos no SAAI, por quanto tempo o alarme mais prioritário está no topo, e a data e hora correntes. Os alarmes podem ser agrupados por algum critério, por exemplo, cada grupo pode ser uma área da planta. No alto à direita, um sumário gráfico de alarmes por grupo é mostrado.

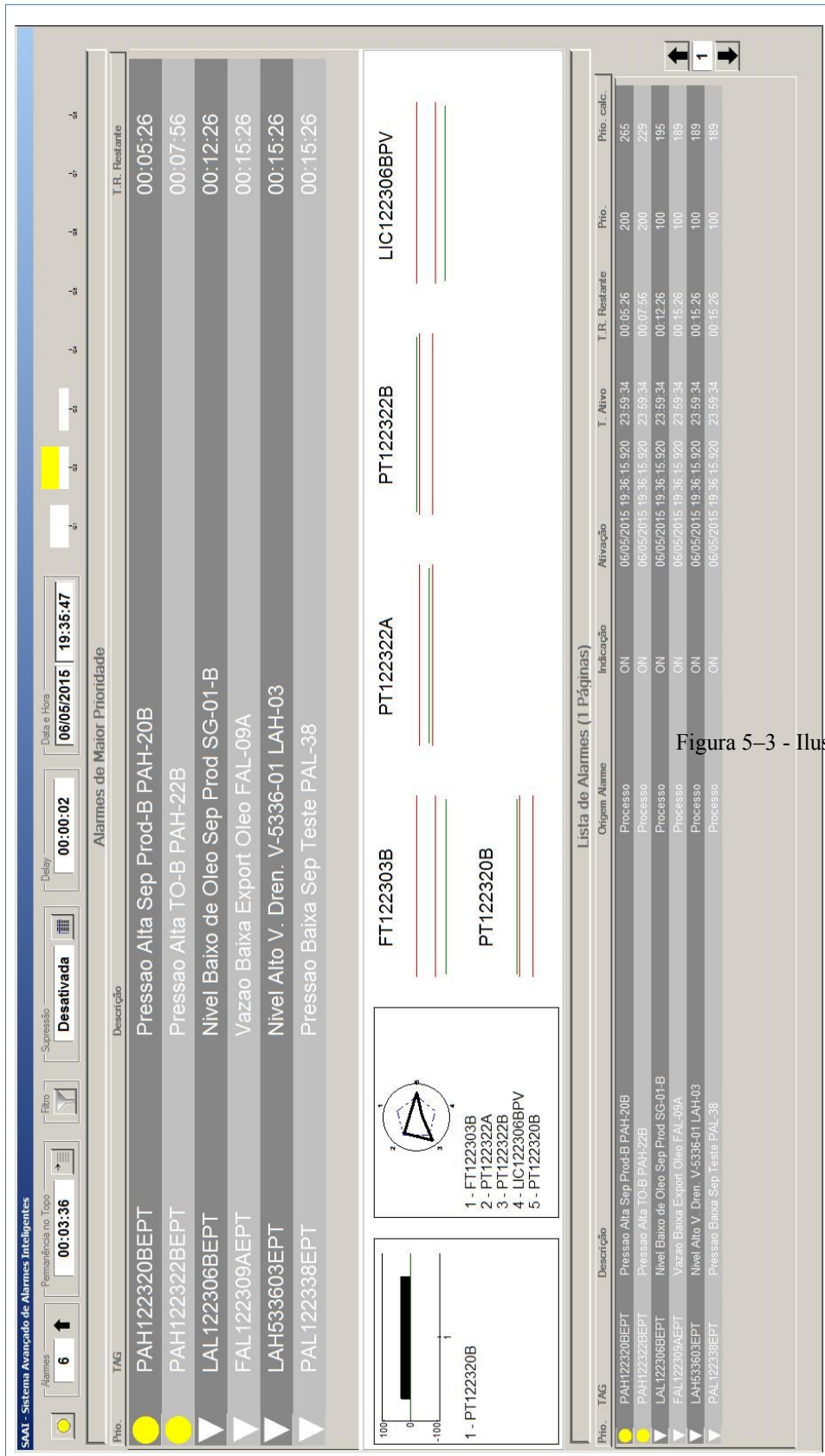


Figura 5-3 - Ilustração da interface SAAI

Cada linha de alarme mostra o ícone para a prioridade de alarme (indicando se é um alarme de prioridade crítica, alta, média ou baixa), o código (*tag*) do alarme a descrição textual do alarme e o tempo restante para responder ao alarme (isto é, o tempo de resposta restante, TRR). Na seção inferior, a prioridade numérica de tempo-real e outros detalhes são mostrados. Também nessa seção, a ordenação não é cronológica pelo momento de ativação do alarme, mas em relação à PTR.

Não há comando de reconhecimento. Um alarme é exibido enquanto está ativo, isto é, enquanto a respectiva condição não está normal. Uma vez que as condições do alarme sejam normalizadas, o alarme é apagado da interface SAAI (mesmo que ainda conste do sumário de alarmes por não ter sido ainda reconhecido). Dessa forma, os operadores não precisam reconhecer alarmes duas vezes, e a interface SAAI somente exhibe alarmes ativos. Vale notar que o SAAI foi concebido para trabalhar conectado ao programa de supervisão existente – o SAAI não é uma interface de operação, é uma interface de monitoramento para exibir alarmes de processo.

É também possível mostrar informação gráfica para qualquer alarme, além do alarme de topo. Quando algum alarme é selecionado pelo operador (pelo *trackball*, ou pelo *mouse*), a informação gráfica desse alarme é exibida ao lado da janela principal, sem esconder qualquer informação importante. Também pode ser exibida informação textual associada ao alarme, como, por exemplo, possíveis causas iniciadoras ou ações a serem tomadas.

A interface do SAAI busca sintetizar a informação necessária como gráficos numa única tela, dando, tanto quanto possível, uma visão holística para o operador, provendo apoio à sua tomada de decisão. As propriedades relevantes do processo (as variáveis) são visíveis mostrando sua relação com o alarme de topo, tentando tornar explícito um modelo de referência de variáveis relacionadas que ajude o operador a atualizar seu modelo mental. Essas são características importantes na perspectiva EID.

## **5.5. A Interface SAAI, a Taxonomia SRK e a Consciência Situacional**

A Tabela 5-8 mapeia como a interface SAAI relaciona-se com a taxonomia SRK e com os níveis de consciência situacional. A eficiência da interface SAAI depende de

como os alarmes são configurados. O registro de cada alarme deve conter as variáveis relevantes para seu entendimento. Devem ser respeitadas relações de causa-efeito com a variável sendo monitorada pelo alarme. Os gráficos exibidos podem ajudar o operador a, por exemplo, acompanhar e prever o balanço de massa em um vaso. Podem ser utilizados gráficos de tendência de variáveis (*sparklines*), ou gráficos polares, que mostram polígonos cujos vértices correspondem, cada um, a uma variável de um conjunto de variáveis relacionadas entre si: a situação normal é mostrada aproximadamente como um polígono regular; uma situação anormal mostrará uma distorção acentuada do polígono.

Tabela 5-8 – Níveis de Consciência Situacional x Taxonomia SRK x Interface SAAI

Nível de Consciência Situacional	Taxonomia SRK	Interface SAAI
A <b>percepção</b> (nível 1 da CS) de cada alarme, e de sua prioridade, deve ser simples, consistente com a capacidade dos operadores.	<i>(Skills, Habilidades)</i> A interface deve evitar esforço cognitivo do operador para seu uso: seus comandos devem basear-se nas habilidades do operador.	Evita a “perda” de alarmes importantes destacando-os na seção superior. Exibe conjuntamente os gráficos para o alarme mais prioritário, prescindindo de comando para isso, facilitando sua percepção. O operador comanda a interface pelo <i>mouse</i> ou <i>trackball</i> – dispositivos já de seu conhecimento.
A interface deve permitir a <b>compreensão</b> da situação (nível 2 da CS), do contexto de relações entre variáveis, além do entendimento do alarme em si (determinada VP ultrapassou o limite da faixa normal).	<i>(Rules, Regras)</i> A interface deve mostrar relações funcionais (variáveis de processo relacionadas entre si) de forma que o operador possa tomar decisões baseando-se em regras (manter os valores nas faixas normais de operação).	São mostradas variáveis de processo relacionadas entre si, permitindo uma compreensão do contexto em que ocorre o alarme. Essas variáveis são exibidas em gráficos (polares ou de tendência) associados a cada alarme (especialmente os associados ao alarme mais prioritário, exibidos por padrão).
A interface deve permitir ao operador <b>projetar</b> , no futuro próximo, as consequências de se selecionar uma ou outra ação para o processo.	<i>(Knowledge, Conhecimento)</i> A interface deve propiciar ao operador que use seu conhecimento ao fazer uma análise mais aprofundada da situação. Deve ajudar o operador a atualizar seu mapa mental e, a partir dele, a chegar a um diagnóstico da situação.	Os gráficos (especialmente os de tendência), exibidos numa única tela, permitem uma visualização da evolução das variáveis de processo envolvidas, permitindo uma projeção. Devem ser incluídos gráficos de variáveis de processo acopladas entre si (relações de causa e efeito), de acordo com o modelo do processo que serve de base para o mapa mental do operador.

A associação entre o alarme e as variáveis nos gráficos mostrados deve ser feita por especialistas com base no conhecimento do processo e no acoplamento entre as variáveis. A associação deve ser feita de forma a explicitar propriedades do processo

(relevantes naquele momento), e a facilitar a compreensão das possibilidades de ação, provendo suporte a inferências baseadas no conhecimento do processo. Portanto, a associação entre o alarme e as variáveis a serem exibidas na interface do SAAI não deve ser feita visando determinada tarefa a ser desempenhada pelo operador, que deverá ser incidentalmente favorecida. A interface, uma vez configurada, deverá auxiliar o operador a entender o que se passa com o processo e, assim, a decidir qual a ação operacional será tomada, incluindo se (e como) deve ser executada a determinada tarefa prevista.

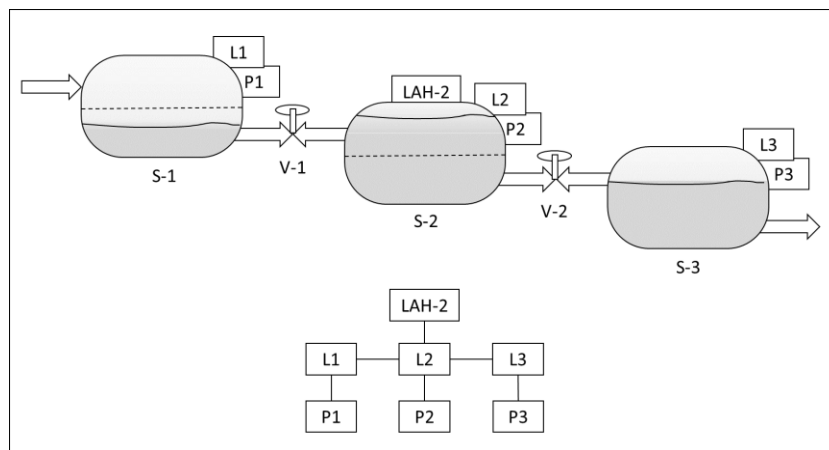


Figura 5-4 – Exemplo de associação entre alarme e variáveis (ver texto)

Num exemplo hipotético, seja uma sequência de três vasos de um processo (Figura 5-4). Na ocorrência de um alarme de nível alto no vaso central (LAH-2), as variáveis de interesse seriam o próprio nível no vaso (L2), e os níveis nos outros vasos (L1 e L3). Havendo gás, as pressões também seriam de interesse (P1, P2 e P3). A configuração de LAH-2 poderia incluir a exibição dos níveis de líquido nos vasos a montante (L1) e a jusante (L3), além do nível no vaso central (L2), e também as respectivas pressões. A interface ajudaria o operador a decidir se restringe mais a entrada no vaso central ou se abre mais sua saída de líquido. Se o vaso a montante puder absorver a entrada de líquido até o nível central normalizar-se, pode usar a primeira opção. Se o vaso a jusante puder suportar o volume extra de líquido, pode ser melhor abrir mais a saída do vaso central. Nesse exemplo, a interface estaria exibindo as informações relevantes para o operador considerando que este tem o conhecimento do modelo desse processo de o líquido fluir de um vaso para outro (e a relação entre

nível e pressão). Na Figura 5-4, O vaso S-1 está com nível abaixo da metade (nível desejado), e o vaso S-3 está com nível acima da metade. Seria o caso de restringir a entrada em S-2, para que os vasos 2 e 3 tenham tempo de descarregar o líquido.

A implementação do SAAI prevê que a interface sempre esteja visível, em um monitor dedicado, sem interferir na operação do sistema de supervisão pré-existente, recebendo deste os sinais de alarmes e de variáveis. Nesse aspecto, o SAAI, sempre visível, assemelha-se a um painel anunciador de alarmes (*alarm panel*), com uma pequena lista de 7 alarmes (priorizados no momento) e informações gráficas.

## 5.6. Síntese do Capítulo

A interface do Sistema Avançado de Alarmes Inteligente (SAAI) baseia-se nos conceitos da abordagem EID, objetivando apoiar o operador em sua resposta aos alarmes. O SAAI prioriza os alarmes em tempo-real e apresenta os alarmes mais importantes com informações que ajudem o operador a entender a situação do processo.

Um experimento de avaliação da interface de alarmes do SAAI, comparando-a com a interface tradicional de sumário de alarmes, é relatado e discutido no Capítulo 7.

Para a avaliação da interface de alarmes do SAAI e da interface de sumário de alarmes segundo a consciência situacional, são necessárias métricas de consciência situacional. As métricas utilizadas são descritas no Capítulo 6.

Esse protótipo é uma interface que busca solucionar as questões apresentadas no Capítulo 2. A interface destaca os alarmes prioritários, indicando aos operadores os alarmes com os quais devem lidar prioritariamente; provê o operador de uma visão tão holística quanto possível (nessa única tela) do comportamento da parte do processo relevante na ativação do alarme de topo (conforme configuração prévia das variáveis associadas). Nessa tela, são exibidos gráficos de tendência de variáveis que guardam relações de causa-efeito com a variável sendo monitorada pelo alarme de topo. Esses gráficos ajudam o operador a, por exemplo, acompanhar e prever o balanço de massa em um vaso.



## 6. MÉTRICAS PARA CONSCIÊNCIA SITUACIONAL

Este capítulo apresenta, resumidamente, diferentes medidas de consciência situacional e é baseado em (GAWRON, 2008, cap. 4). Existem diversas técnicas de medição da consciência situacional. Salmon et al. (2006) apresentam um sumário de 17 métodos, de mais de trinta existentes (SALMON *et al.*, 2009).

A existência de tantas formas propostas deve-se ao fato de que é difícil, se de todo possível, obter uma medida objetiva da CS (ROUSSEAU *et al.*, 2010) (STANTON, 2010) – como de resto é difícil medir propriedades cognitivas em geral.

Porém, alguns métodos se destacam e têm diversos estudos de validação (SALMON *et al.*, 2006). Além disso, mesmo que o valor obtido não seja exato, importa analisar as variações da medida de consciência situacional, que podem indicar qual interface provê melhor suporte à CS e ao processo de tomada de decisão, e podem sugerir quais características uma interface deve ter.

As quatro técnicas utilizadas na avaliação da interface de alarmes do SAAI e da interface de sumário de alarmes são apresentadas nas próximas seções. Algumas outras técnicas são descritas no Apêndice II, à guisa de ilustrar a variedade existente.

### 6.1. Situational Awareness Global Assessment Technique (SAGAT)

A *Situational Awareness Global Assessment Technique* (SAGAT) é a métrica de consciência situacional mais citada na literatura. É considerada uma medição objetiva, em que questões sobre a situação do processo são respondidas pelos participantes e corrigidas, resultando em um grau objetivo de consciência situacional. (Em segundo lugar, poderíamos colocar a medida subjetiva SART, descrita na Seção 6.2.)

A SAGAT baseia-se na definição de consciência situacional mais citada na literatura pertinente: “A percepção dos elementos em um ambiente dentro de um volume (espaço) e de um intervalo de tempo, a compreensão do significado desses

elementos, e a projeção do estado desses elementos no futuro próximo” (ENDSLEY, 1988).

A SAGAT (ENDSLEY, 1988) (ENDSLEY, 2000) foi concebida para ser realizada em simulação com operadores (ou pilotos, em sua origem na aviação militar), e é compatível com o modelo de três níveis (ver subseção 3.3.1). Durante a medição, a simulação é interrompida e o operador responde a questões para determinar sua consciência situacional naquele momento em particular. As respostas do operador são comparadas com as respostas corretas (isto é, as de alguém com completa consciência da situação), e essa comparação é considerada uma medida objetiva da consciência situacional, baseada no desempenho do operador ao responder o questionário. A técnica pode ser usada com qualquer sistema complexo simulado, seja uma sala de controle de um reator nuclear (ou de uma plataforma de petróleo), seja a sala de máquinas de um navio.

A medição SAGAT é uma técnica de sondagem durante uma suspensão da tarefa, baseada em parar uma simulação do processo (*freeze-probe*), “congelando” o processo e submetendo um questionário aos operadores, avaliando todos os níveis de consciência situacional (SALMON *et al.*, 2009) (SALMON *et al.*, 2006). Os operadores não devem consultar a interface enquanto respondem ao questionário. Eles respondem com base em sua consciência situacional tal como esta estava imediatamente antes da parada da simulação. Depois de os operadores completarem o questionário (ou depois de um tempo determinado), a simulação é retomada. Vários pontos de parada (“congelamentos”) ao acaso podem ser usados.

Estudos indicam que a intervenção que a SAGAT provoca ao interromper a simulação (daí ser considerada uma técnica “intrusiva”) não causa impacto no desempenho dos participantes, que seriam capazes de responder ao questionário de maneira confiável, mesmo até 6 minutos após a interrupção (ENDSLEY, 1995b).

A SAGAT, já foi questionada porque mediria lembrança em vez de consciência situacional propriamente dita (DURSO *et al.*, 1999) (SARTER, e WOODS, 1991). Durso et al. (1999) propõem uma alternativa, *Situation Present Assessment Method* (SPAM, ou Método de Avaliação Presente da Situação) em que os participantes podem consultar a interface operacional, e, em vez de se contar o número de respostas corretas,

a latência ao responder é medida. Porém, trabalhos como (LOFT *et al.*, 2015), comparando SAGAT e SPAM, mostram que a SAGAT continua sendo uma referência importante quando está disponível um ambiente de simulação de processo.

Uma variação da SAGAT, a *Situation Awareness Control Room Inventory* (SACRI, Inventário de Consciência Situacional de Sala de Controle) (SALMON *et al.*, 2006), foi desenvolvida para avaliar a CS de operadores de usina nuclear, aplicando questionários adaptados para a sala de controle, durante uma simulação.

## **6.2. Situational Awareness Rating Technique (SART)**

A *Situational Awareness Rating Technique* (SART, Técnica de Avaliação de Consciência Situacional) é provavelmente a medida subjetiva mais citada na literatura: os participantes respondem a um questionário padronizado, em que não há respostas “certas” ou “erradas”.

O questionário mede o conhecimento do operador segundo três componentes: (1) demandas (D) sobre seus recursos atencionais; (2) suprimento (S) de recursos atencionais; e (3) entendimento (U, de *understanding*) da situação. A SART mede esses três componentes pelo entendimento de que a consciência situacional é uma construção complexa, então, para medi-la, são necessárias medidas separadas (TAYLOR, 1990).

A SART, foi desenvolvida baseada na definição de consciência situacional como “o conhecimento, a cognição e a previsão de eventos, fatores e variáveis que afetem a condução segura, expedita e efetiva de uma missão” (TAYLOR, *et al.*, 1996).

Os três componentes básicos – demanda atencional, suprimento atencional, e entendimento da situação – podem ser mapeados em 10 dimensões, avaliadas, cada uma, pelo próprio indivíduo, numa escala de “baixo” a “alto” (de 1 a 7), após a atividade ou simulação dessa atividade:

D (*demand*):

Instabilidade da situação,  
Variabilidade da situação,  
Complexidade da situação;

S (*supply*):

Vigilância,  
Capacidade mental disponível (processamento de outras informações),  
Concentração da atenção (na tarefa),  
Divisão da atenção (entre os elementos da tarefa);

U (*understanding*):

Quantidade de informação,  
Qualidade da informação, e  
Familiaridade com a situação.

É proposto que a consciência situacional dependeria da diferença entre a demanda e o suprimento atencional, subtraída do entendimento, isto é, se a demanda é maior que o suprimento, esse valor seria subtraído do entendimento, resultando em menor consciência situacional (e vice-versa). A Fórmula 6.1 expressa a consciência situacional, sendo  $U$  o somatório do entendimento,  $D$ , o somatório da demanda, e  $S$ , o somatório do suprimento (KENNEDY, e DURBIN, 2005).

$$SA = U - (D - S) \quad (6.1)$$

SART é uma medida subjetiva e, portanto, compromete a sua confiabilidade. Por outro lado, é de fácil aplicação e tem sido validada por diversos estudos (SALMON *et al.*, 2006).

### **6.3. Cognitive Compatibility Situation Awareness Rating Technique (CC-SART)**

A *Cognitive Compatibility Situation Awareness Rating Technique* (CC-SART, Técnica de Avaliação de Consciência Situacional – Compatibilidade Cognitiva)

(TAYLOR, 1996) é também uma técnica de autodeclaração subjetiva. “Compatibilidade cognitiva” (CC) é a exibição de informação de uma forma que seja consistente com os processos mentais, no sentido mais amplo (TAYLOR, 1996): a exibição deve ser compatível com a cognição do operador.

Existem três dimensões principais para a compatibilidade cognitiva (TAYLOR, 1996):

- a) Nível de Processamento (*Level of Processing – LoP*): um grau entre “baixo” para processamento mental natural e automático, e “alto” para o processamento analítico e abstrato;
- b) Facilitação do Raciocínio (*Ease of Reasoning – EoR*): um grau entre confuso e contraditório (“baixo”), ou direto e claro (“alto”); e
- c) Ativação do Conhecimento (*Activation of Knowledge – AoK*): um grau entre incomum (“baixo”) e familiar (“alto”).

A Fórmula (6.2) é usada para encontrar CC, de uma maneira similar à SART, e pode ser traduzida como a compatibilidade cognitiva sendo “facilitação de raciocínio com expectativas apropriadas” (TAYLOR, 1996).

$$CC = AoK + EoR - LoP \tag{6.2}$$

Tabela 6-1 – As três dimensões da CC-SART e o modelo SRK.

CC-SART	SRK
<p><b>Nível de Processamento</b> O grau com que a situação envolve processamento mental natural, automático, intuitivo e associativo.</p>	<p><b>Comportamento baseado em Habilidade</b> Atividades ocorrem sem controle consciente, como padrões de comportamento regulares, automáticos e altamente integrados.</p>
<p><b>Facilitação de Raciocínio</b> O grau com que a situação é direta e clara e não contraditória. Depende também do grau de <i>affordance</i> da interface (e da situação).</p>	<p><b>Comportamento baseado em Regra</b> Uma situação de trabalho conhecida é tipicamente controlada por regras armazenadas ou por um procedimento, que podem ter evoluído empiricamente ao longo de ocasiões anteriores.</p>
<p><b>Ativação do Conhecimento</b> O grau com que a situação é reconhecida e familiar, ou incomum e estranha.</p>	<p><b>Comportamento baseado em Conhecimento</b> Em situações inéditas, em ambiente para o qual não há regras aplicáveis, a operação precisa ir para um nível conceitual mais alto, e a atuação baseia-se em conhecimento e é controlada pelos objetivos</p>

Pode ser feito um paralelo (TAYLOR, 1996) (STEPHANE, 2007) entre os componentes da CC-SART e o modelo de comportamentos baseados em Habilidade/Regra/Conhecimento (ou, em inglês, *Skill/Rule/Knowledge-based behaviors* – SRK) de Rasmussen (1983) e Rasmussen, e Vicente (1989). A Tabela 6–1 mostra tal paralelo. A tabela faz referência a *affordance*: conforme (MICHAELS, e CARELLO, 1981), são os atos e comportamentos permitidos pelos objetos e eventos (da interface ou da situação, no caso presente). Quanto mais *affordance* houver, mais facilmente será deduzir a forma de interação com um objeto (de interface) – por exemplo, um objeto circular sugere que deve ser girado para haver interação (ver também a Seção 4.6).

#### 6.4. Consciência situacional – três níveis (cs3)

É proposto (e usado) para avaliação da interface objeto deste trabalho um questionário sobre os três níveis de consciência situacional. A técnica proposta, o questionário cs3, é também subjetiva e autodeclaratória. As questões do cs3 fazem um paralelo com às de CARS (*Crew Awareness Rating Scale*, ver Apêndice II) (GAWRON, 2008), mas a técnica cs3 foi desenvolvida de maneira independente e foi respondida numa escala diferente. O questionário cs3 é voltado para interfaces de alarmes.

As quatro questões do cs3 pretendem apreender o quanto o operador concorda que uma dada interface ajudaria na percepção de novos alarmes, e na percepção de variáveis relevantes (as duas primeiras questões), o quanto ajudaria na compreensão da situação, e na capacidade de prever a evolução do processo (projeção). Cada questão seguinte foi respondida duas vezes: sem considerar uma avalanche de alarmes, e considerando a ocorrência de uma avalanche.

##### **Percepção**

- 1) A interface utilizada ajuda a perceber **cada nova** ativação de alarme.
- 2) A interface ajuda a perceber os valores das **variáveis relevantes** em relação aos alarmes ativos.

## **Compreensão**

3) A interface ajuda a entender o **significado** de cada alarme (as causas do alarme e à qual anomalia o alarme se refere).

## **Projeção**

4) A interface utilizada ajuda a **prever** a evolução do processo (normalização da situação ou seu agravamento).

Duas pontuações cs3 de utilidade da interface podem ser calculadas, então: a pontuação cs3 para a operação normal, e a pontuação cs3 para a operação sob avalanche de alarmes. Cada pontuação cs3 é a respectiva média dos pontos para o nível 1 (que é uma média entre as duas primeiras questões), para o nível 2 e para o nível 3 da consciência da situação. A pontuação foi normalizada.

## **6.5. Síntese do Capítulo**

As técnicas SAGAT e SART são as mais citadas na literatura e foram utilizadas – com adaptações ao ambiente de testes – para avaliação da interface de alarmes proposta. Um questionário SAGAT para ser aplicado foi preparado, e o questionário padronizado SART foi traduzido e adaptado.

Adicionalmente, a CC-SART foi adaptada e aplicada, e, naturalmente, também o questionário proposto cs3. O experimento de avaliação da interface do SAAI, comparando-a com a interface tradicional de sumário de alarmes, é relatado e discutido no próximo capítulo.

## **7. EXPERIMENTO – AVALIAÇÃO, RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Foi feito um experimento num ambiente de simulação dinâmica, onde operadores profissionais de produção em plataformas de petróleo executavam determinado cenário para avaliar a interface do Sistema Avançado de Alarmes Inteligente (SAAI, ver Cap. 5) e compará-la com a tradicional lista do sumário de alarmes (ver Cap. 2). A consciência situacional (ver Cap. 3 e Cap. 6) foi medida, o que fornece uma figura de mérito sobre o quanto a interface ajudou a entender o cenário e, assim, a tomar decisões. Os resultados mostram que, na média, a nova interface permite uma melhor consciência situacional, o que pode significar uma operação mais segura e eficiente.

### **7.1. Objetivo**

Com o objetivo de avaliar a consciência situacional de operadores usando as duas diferentes interfaces de alarmes – a interface existente de sumário de alarmes (tal como é usada em plataformas de produção de óleo), e o protótipo da interface de alarmes do SAAI – foi realizado um experimento em ambiente de simulação. Diversas sessões de execução de um cenário com uma ou outra interface foram realizadas.

O principal objetivo do SAAI, cuja interface é mostrada na Figura 7-1 (reprodução com anotações da Fig. 5-3, Capítulo 5), é priorizar dinamicamente os alarmes, em tempo-real, à medida que os alarmes ocorrem, e exibir esses alarmes com variáveis de processo relacionadas para dar uma visão mais holística das condições do processo. A interface mostra os alarmes e suas respectivas prioridades calculadas em tempo-real. Os alarmes mais importantes são destacados na seção superior; gráficos (de desvio, polar e de tendência) associados ao alarme mais prioritário são exibidos na seção central; e a lista completa de alarmes ativos no SAAI é mostrada na seção inferior. Informações auxiliares, como a hora corrente e um resumo gráfico de agrupamento de alarmes, são mostradas no topo da interface.



## 7.2. Medição de Consciência Situacional

Versões adaptadas de duas técnicas de medição de consciência situacional foram usadas para avaliação de um protótipo da interface do SAAI e da interface de sumário de alarmes. A Técnica de Avaliação Global de Consciência Situacional – SAGAT (ENDSLEY, 1995b), e a Técnica de Avaliação de Consciência Situacional – SART (TAYLOR, 1990). Essas são os dois métodos mais populares na literatura pertinente para medir a consciência situacional (SALMON *et al.*, 2009). Esses métodos foram adaptados e traduzidos para o português para serem aplicados durante treinamentos de reciclagem de cinco dias de duração, ao longo de três horas de uma manhã de um dia de aula.

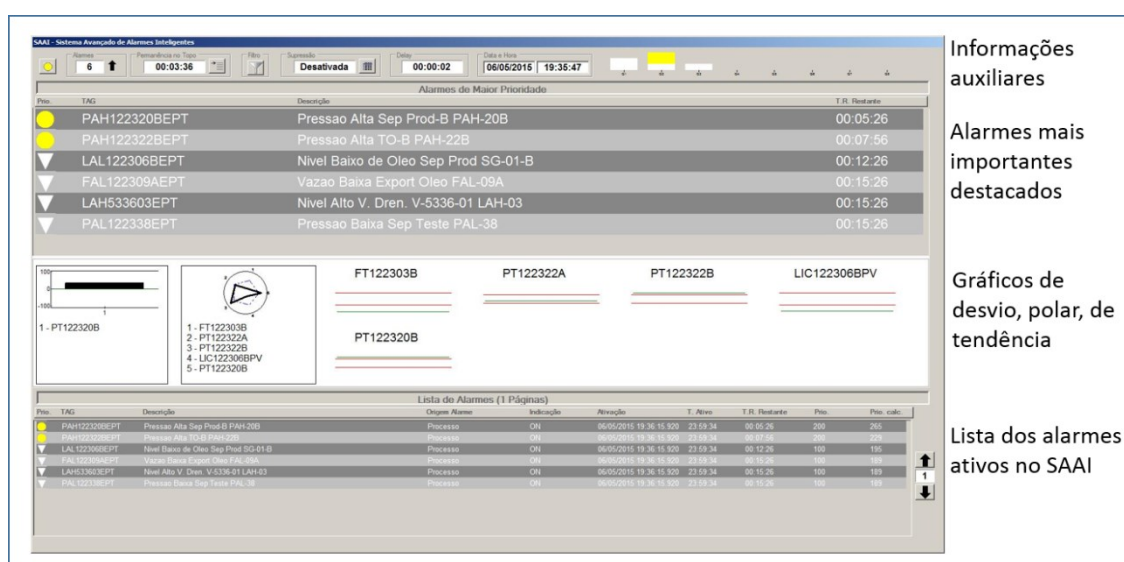


Figura 7-1 – Ilustração da interface do SAAI (reprodução da Fig. 5-3, anotada)

Adicionalmente, dois questionários para avaliar a interface propriamente dita foram submetidos aos operadores: SART de Compatibilidade Cognitiva – CC-SART (TAYLOR, *et al.*, 1996), e um questionário proposto, “cs3” (abreviatura de questionário de consciência situacional três níveis).

Sendo uma técnica de “sondagem durante congelamento”, a SAGAT é considerada direta e objetiva, mas intrusiva no desempenho da tarefa (SALMON *et al.*, 2009). Neste trabalho, uma variante simplificada da SAGAT foi usada: a simulação foi

interrompida somente uma vez, isto é, não houve congelamento e retomada, e o questionário foi submetido logo após a interrupção.

Os métodos SART, SART de Compatibilidade Cognitiva (CC-SART) e o método proposto, cs3 são subjetivos e autodeclaratórios, e completam o conjunto de técnicas usadas na avaliação da interface.

O Apêndice I apresenta os questionários aplicados para cada técnica.

### 7.3. Ambiente do Experimento

Esse experimento teve lugar durante cursos de reciclagem dados ao longo de cinco dias em uma instalação de simulação dinâmica chamada AmbTrei (Ambiente de Treinamento para Operadores de Processo de Produção) (PEREIRA *et al.*, 2009). A manhã do quarto dia foi escolhida para garantir que todos os operadores já estivessem familiarizados como o ambiente do simulador. No AmbTrei (ver Figura 7-2), há uma sala de controle central, emulando o arranjo e as estações de operação (incluindo equipamento de comunicação) de uma sala de controle de uma plataforma de produção, e uma sala do instrutor, com computadores para executar o programa de simulação e a estação do instrutor para iniciar e controlar a sessão de simulação.

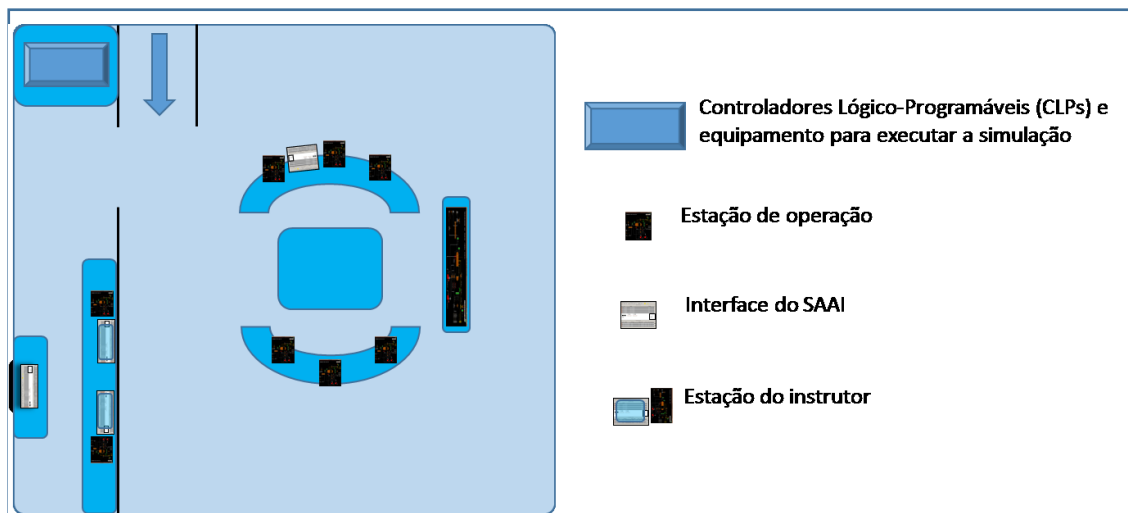
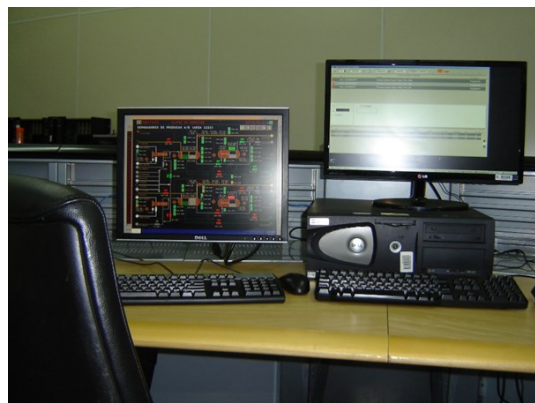


Figura 7-2 – Esquema do ambiente de treinamento (AmbTrei)

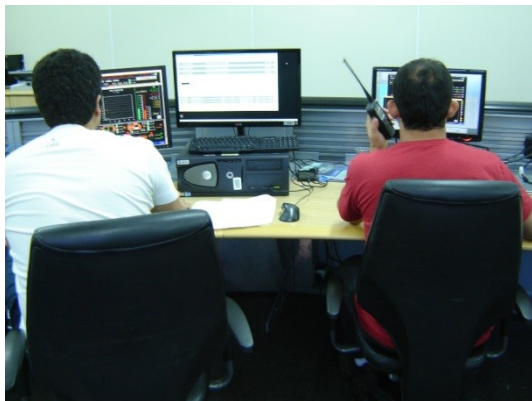
A Figura 7-3 mostra o ambiente e o aparato usado nos experimentos.



(a) “Sala de controle”



(b) Supervisório e SAAI



(c) Console de operação



(d) Estação do instrutor



(e) Servidor de simulação dinâmica



(f) Controladores lógico-programáveis

Figura 7-3 – Aparato usado nos experimentos

O modelo de simulação é conectado a controladores lógico-programáveis (CLPs ou PLCs, do inglês) que executam o programa de controle de processo, exatamente como na plataforma real (equipamento real, não são CLPs virtuais). As consoles de operação são conectadas aos CLPs, de novo, tal como na plataforma real. Dessa forma, a interface de operação é a interface real de operação, não uma emulação. O instrutor também faz o papel de operador de campo – por exemplo, o instrutor pode abrir e fechar válvulas manuais na planta.

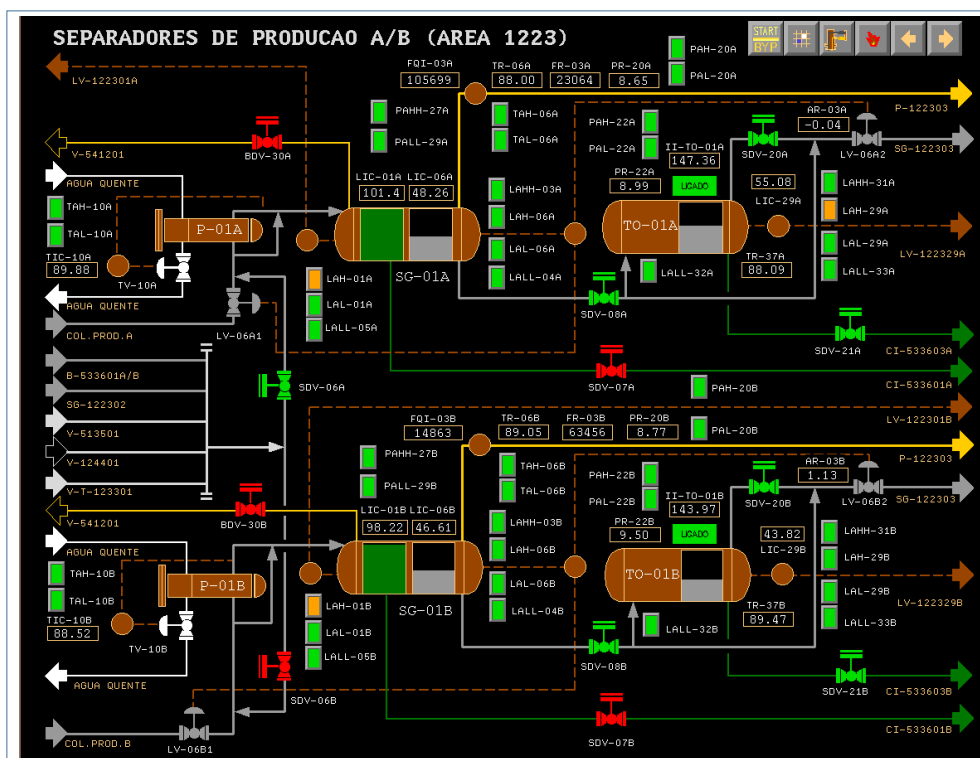


Figure 7-4 – Interface de monitoramento para os trens de produção

Resumidamente, a planta modelada inclui poços de produção, duas baterias ou trens de produção – um separador de produção (SG-01) e um tratador eletrostático de óleo (TO-01) no trem A e no trem B. Ambos os trens A e B convergem para um separador de pressão atmosférica (SG-03) e bombas de exportação. O gás é separado do óleo cru nos SG-01 (A/B); a água é separada nos TO-01 (A/B); e o gás residual é removido no SG-03, antes de o óleo ser exportado. A Figura 7-4 mostra uma das telas de operação, a interface operacional para os trens de produção.

#### 7.4. Participantes do Experimento

Os operadores de processo que participaram dessa pesquisa estavam no AmbTrei para o curso de reciclagem e se voluntariaram a responder os questionários. Os operadores poderiam participar do experimento somente uma vez, não haveria oportunidade de ter uma nova sessão com a mesma equipe de operação. Os questionários foram respondidos anonimamente.

Considerando os operadores experientes (isto é, os que tinham ao menos três anos de experiência em supervisão de processo em unidades de produção marítimas), vinte operadores responderam individualmente aos questionários: dez deles responderam para a interface de sumário de alarmes; os outros dez, para a interface do SAAI. O grupo do sumário de alarmes tinha uma média de 14,2 anos de experiência profissional em geral e 11,8 anos com programas de supervisão (experiência com o supervisor); e o grupo do SAAI tinha médias de 17,5 e 9 anos respectivamente (Tabela 7-1).

Tabela 7-1 – Dados dos participantes do experimento (dp: desvio-padrão)

Grupo	Número de Participantes	Experiência profissional		Experiência de supervisor	
		média	dp	média	dp
Interface Sumário de Alarmes	10	14,2	10,0	11,8	6,4
interface SAAI	10	17,5	9,5	9,0	5,9

#### 7.5. Projeto do Experimento

Um cenário específico, similar a um usado durante o treinamento de operadores (PEREIRA, *et al.*, 2010), foi escolhido para realizar a avaliação. Instrutores do AmbTrei ajudaram a definir o cenário a ser usado. O SAAI foi configurado de acordo com o cenário escolhido. O sumário de alarmes já estava configurado, pois é a interface usada no treinamento.

Seis operadores são treinados de cada vez no AmbTrei. O cenário foi operado por grupos de três participantes, operando o programa de supervisão ou como o sumário de alarmes, ou com a interface do SAAI.

O cenário consistia de iniciar a produção pelo trem B da planta da plataforma (ver a Figura 7-5). Inicialmente, o separador de produção do trem B (SG-01B) estava despressurizado, como que retornando de manutenção. A saída de gás estava (parcial ou totalmente) fechada, sem o conhecimento dos operadores, para provocar um alarme de pressão alta (PAH, o alarme focado nesse cenário) no SG-01B, pois eram as interfaces de alarmes que estavam sob avaliação. Vários outros alarmes estavam ativos pelas condições iniciais do processo, mais do que caberia numa única tela do sumário de alarmes. Quando os operadores reconheciam o alarme de pressão alta e contactavam o “operador de campo” para verificar, o cenário era interrompido, e os quatro questionários (as versões adaptadas de SAGAT, SART, CC-SART e o cs3, nesta ordem) eram submetidos aos operadores. Os operadores usaram o sumário de alarmes ou a interface do SAAI e responderam para sua respectiva interface.

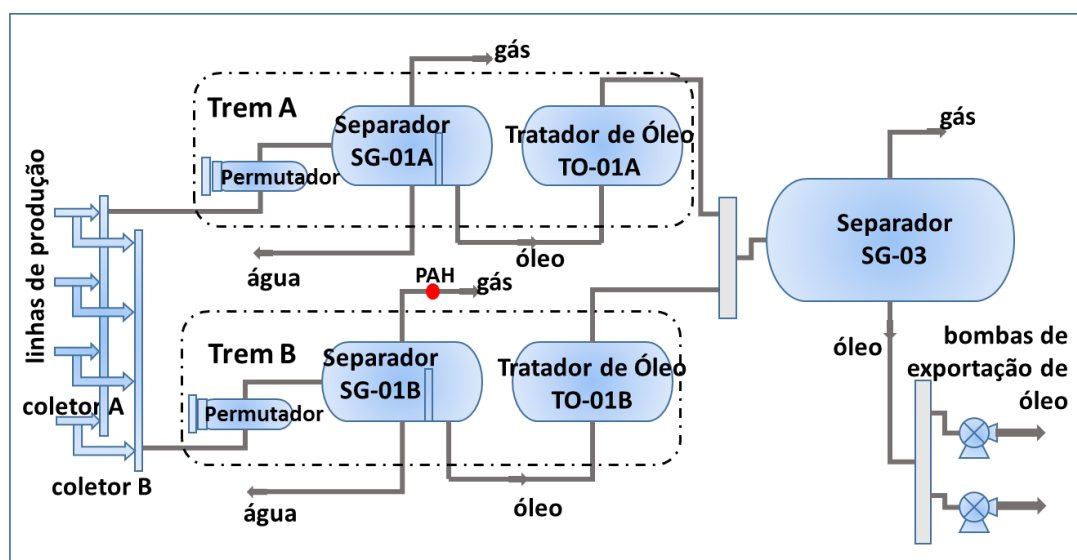


Figura 7-5 – Processo de produção de óleo

O procedimento de partida do cenário incluía abrir os poços e esperar que a pressão no SG-01B se aproximasse do valor da pressão no TO-01B, e, depois, abrir a vazão de óleo do separador de produção para o tratador eletrostático. Como a saída de

gás estava restringida, a pressão no SG-01B continuaria a aumentar, sem aumento do nível de óleo no separador – o óleo seria empurrado para o tratador eletrostático devido ao aumento de pressão no SG-01B, o que eventualmente levaria ao alarme de pressão alta (PAH). O volume de óleo indo para o tratador eletrostático fluiria para o separador atmosférico sem restrições.

O alarme PAH foi configurado no SAAI de forma a exibir as variáveis referidas no respectivo cenário: a pressão no SG-01B (a variável do alarme) e no TO-01B, o nível de óleo no SG-01B e a vazão de gás saindo desse separador de produção. Outros alarmes foram configurados de maneira equivalente, considerando as respectivas variáveis associadas.

## **7.6. Procedimento do Experimento**

Três horas (na manhã do quarto dia de cada curso de reciclagem) estavam disponíveis para a sessão de avaliação no AmbTrei. Antes de cada sessão experimental (ver Figura 7-6), uma breve apresentação era feita aos operadores da turma em andamento para mostrar o escopo da pesquisa e os objetivos do experimento, o modelo de três níveis de consciência situacional, a interface do SAAI e uma explicação sobre os questionários a serem respondidos. Era enfatizado que a participação deles era voluntária e anônima, e que o experimento não iria medir o desempenho deles próprios (não era para “nota”), mas avaliar o desempenho da interface sendo usada.

Depois da apresentação, os operadores eram divididos em dois grupos. O cenário era iniciado e operado por cada grupo até a ocorrência do PAH e de alguma evidência de seu reconhecimento (tipicamente, o operador da sala de controle chamar o “operador de campo” para verificar as condições da linha de gás), quando o cenário era interrompido. Depois da interrupção, os operadores ficavam de costas para os monitores e respondiam aos questionários aplicados SAGAT, SART, CC-SART e cs3, nessa ordem. Embora a interface de sumário de alarmes estivesse sempre disponível, já que é parte do programa supervisorio, era pedido aos operadores que não a usassem e mantivessem a respectiva janela fechada quando o SAAI estava ativo, de forma a não dispersar a atenção. O questionário SAGAT é respondido primeiramente por ser mais

dependente da memória do operador. O SART foi colocado em seguida como um complemento subjetivo ao questionário objetivo que é o SAGAT. O CC-SART foi desenvolvido complementarmente ao SART, e é respondido logo após este. O cs3 é o último a ser respondido por ser uma nova proposta, evitando uma possível influência sobre as respostas aos outros questionários.

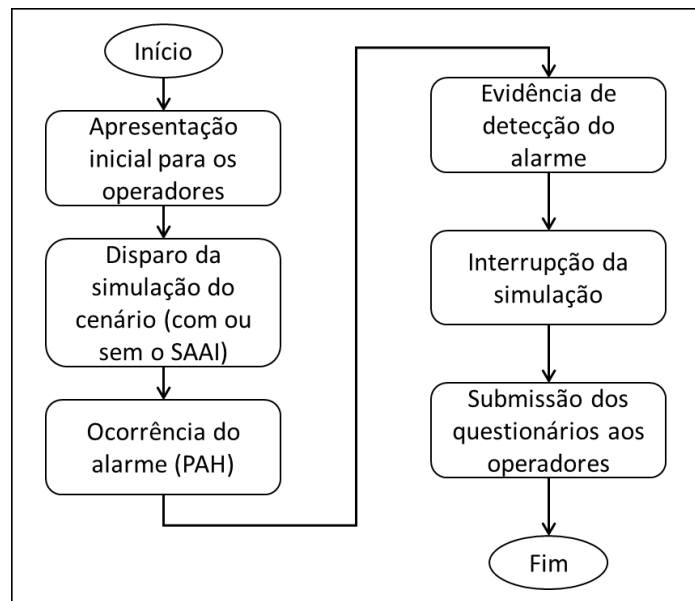


Figura 7-6 – Diagrama dos passos de cada experimento

Foi aplicada a versão do SAGAT sem congelamento do cenário, mas com uma única interrupção. Cinco questões de SAGAT foram feitas, duas para o nível 1 da consciência situacional, percepção, duas para o nível 2, compreensão, e uma para o nível de projeção. O questionário contém a orientação de que as respostas sejam conforme as informações disponíveis na interface de supervisão, de forma a não associar erros ou acertos ao desempenho do operador, mas à interface. Um “grau” (normalizado entre 0-100%) foi atribuído a cada questionário de acordo com o número de respostas corretas. Cada resposta foi considerada ou correta ou incorreta.

As questões do SART e do CC-SART foram traduzidas para o português. O título de cada questão não foi traduzido para diminuir a possibilidade de mal-entendidos no caso de uma palavra mal escolhida. Para a versão aplicada desses questionários, as respostas foram dadas numa escala de cinco pontos desde “baixo” até “alto”, porque



sabia-se que os operadores estavam mais acostumados com escalas de cinco pontos em seu ambiente profissional em pesquisas com o mesmo tipo de respostas (pesquisas de “clima organizacional”, por exemplo). As pontuações SART e CC foram normalizadas na escala 0-100% para serem comparáveis a outros relatórios.

O questionário cs3 era respondido por último numa escala de “1-discordo” a “5-concordo” (em quatro dos vinte questionários, por uma diferença de edição, foi usada uma escala de 1 a 7, com a mesma orientação). Sua pontuação também foi normalizada.

Para normalizar as respostas, a Fórmula (7.1) foi usada (adaptada de (AGUIAR, CORREIA, e CAMPOS, 2011)).

$$v_n = \frac{v - v_{min}}{(v_{max} - v_{min})} * 100\% \quad (7.1)$$

Onde  $v_n$  é o valor normalizado,  $v$  é o valor original,  $v_{min}$  é o valor mínimo na respectiva escala, e  $v_{max}$  é o valor máximo na respectiva escala.

Para o SART e o CC-SART, poderia ser dito que um valor de 50% a 60% de CS seria uma boa meta inicial para uma interface em desenvolvimento – valores acima de 50% garantem que o componente negativo é superado.

## 7.7. Resultados

### 7.7.1. Resultados para o questionário SAGAT aplicado

Para o questionário SAGAT aplicado, os resultados foram próximos entre ambas as interfaces: uma média de 56% de correção para o grupo do SAAI, e de 44% no grupo do sumário de alarmes – ou seja, a interface SAAI teve um desempenho 27% superior – veja a Figura 7-7, onde as barras representam um desvio-padrão acima e um abaixo. No grupo do SAAI, 6 participantes (60%) responderam corretamente ao menos três questões (resultando em consciência situacional global acima de 50%); enquanto 4 participantes (40%) do grupo do sumário de alarmes responderam corretamente um mínimo de três questões, como mostra a Figura 7-8.

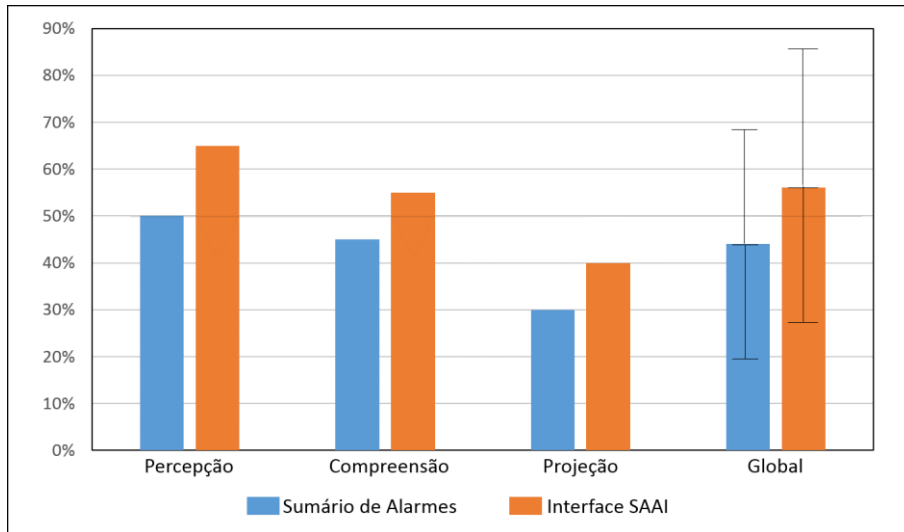


Figura 7-7 – Resultados para SAGAT por nível de CS e global

Tabela 7-2 – Resultados do questionário SAGAT. (DP: Desvio-Padrão.)

CS	CSn1	CSn2	CSn3	CS Global	DP Global
<b>Sumário de Alarmes</b>	50%	45%	30%	44%	25%
<b>Interface SAAI</b>	65%	55%	40%	56%	30%

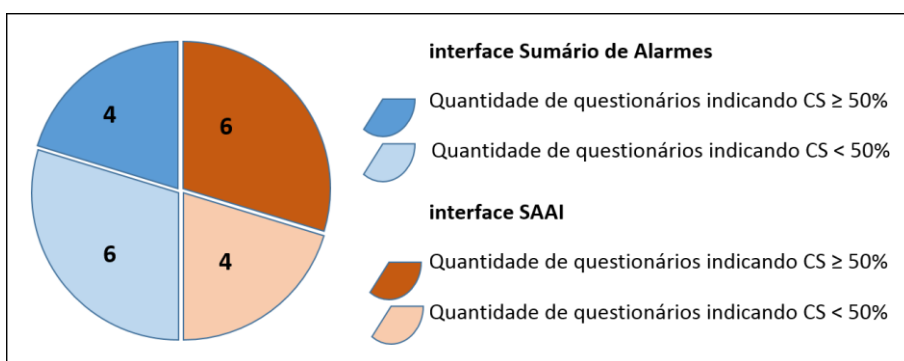


Figure 7-8 – SAGAT – Quantidade de pontuações acima e abaixo do valor de corte de 50% de CS

Para os participantes do experimento, o questionário SAGAT aplicado mediou uma melhor consciência situacional para a interface SAAI em cada nível (Figura 7-7 e Tabela 7-2). A média do grupo de sumário de alarmes foi 50% de CS nível 1 (CSn1 –

percepção), enquanto o grupo do SAAI apresentou 65% CSn1. Para a compreensão (CSn2, duas questões), a diferença foi equivalente a 10 pontos percentuais (45% e 55% de CSn2 respectivamente, 10pp). Para a projeção (CSn3), o grupo SAAI pontuou uma média de 40%, e o grupo de sumário de alarmes pontuou 30% de CSn3.

### **7.7.2. Resultados para o questionário SART aplicado**

A menor diferença entre pontuações das duas interfaces foi encontrada nos resultados da aplicação do método SART 10-Dimensões: 7pp, 58% CS x 51% CS (que podem ser mapeadas para médias de 20,8 a 16,6 na escala tradicional de sete pontos do SART 10-D). Por outro lado, 8 participantes do grupo do SAAI apontaram um mínimo de 50% CS no questionário SART, enquanto 4 participantes do grupo do sumário de alarmes o fizeram. Esses resultados estão mostrados nas Figuras 7–9 (as barras representam um desvio-padrão acima e um abaixo) e 7–10, e na Tabela 7–3.

Para os componentes Demanda Atencional (D), Suprimento Atencional (S) e Entendimento (U), o SAAI pontuou 60%, 66% e 63% cada um respectivamente. O sumário de alarmes pontuou 55%, 54% e 51%. Vale notar que a menor diferença foi encontrada no componente negativo, Demanda (lembrando que a pontuação  $SART = U - (D - S) = U + S - D$ ), para o qual o sumário de alarmes teve desempenho um pouco melhor (menos negativo).

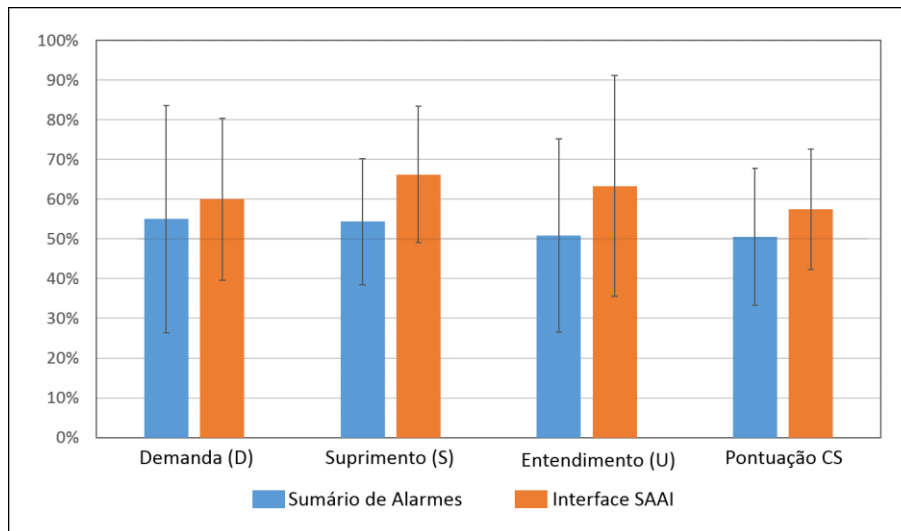


Figure 7-9 – Resultados para SART por componente e para CS

Tabela 7-3 – Resultados do questionário SART

interface	Demanda	dp	Suprimento	dp	Entendimento	dp	CS	dp
<b>Sumário de Alarmes</b>	55%	29%	54%	16%	51%	24%	51%	17%
<b>Interface SAAI</b>	60%	20%	66%	17%	63%	28%	58%	15%

Nota: dp – desvio-padrão.

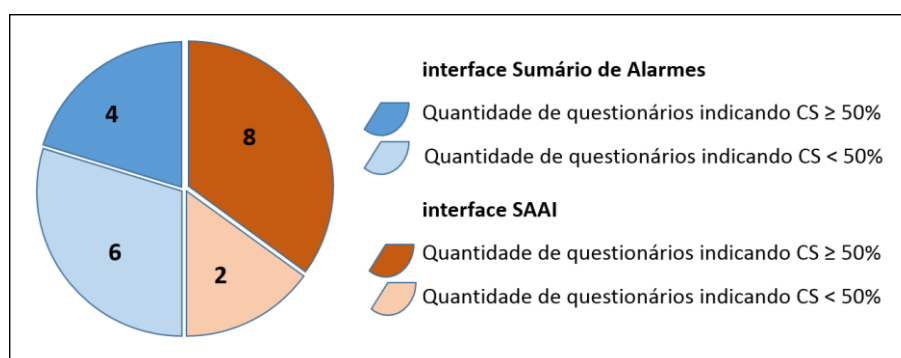


Figura 7-10 – SART – Quantidade de questionários com ao menos 50% de CS

### 7.7.3. Resultados para o questionário CC-SART aplicado

Para o método CC-SART 3-Dimensões aplicado (ver a Figura 7–11, as barras representam um desvio-padrão acima e um abaixo, e a Tabela 7–4), o SAAI pontuou 61% de compatibilidade cognitiva (CC) e o sumário de alarmes pontuou 45% de CC (que podem ser mapeadas respectivamente para médias de 16,0 CC e 13,1 CC na escala usual de respostas em sete pontos). Um mínimo de 50% CC foi atribuído ao SAAI por nove participantes do respectivo grupo, ao passo que seis operadores o fizeram no grupo de sumário de alarmes (Figura 7–12).

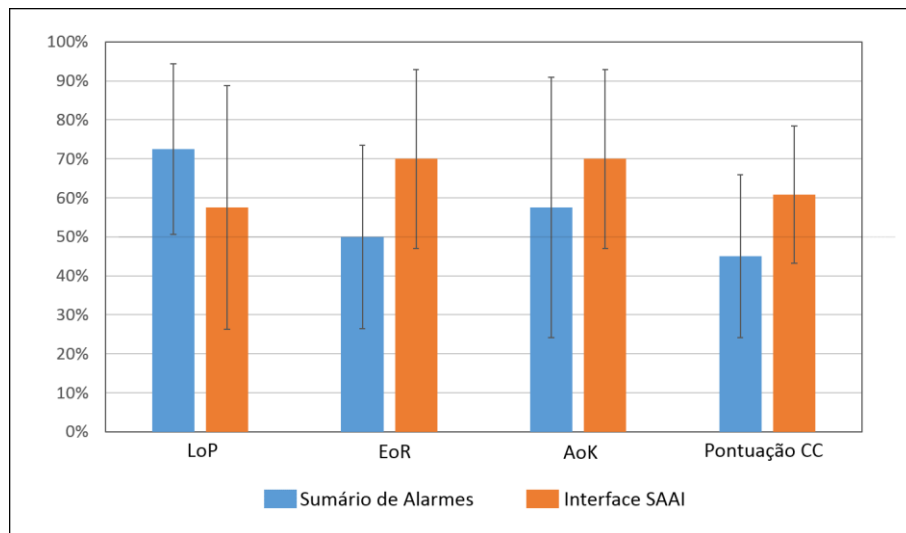


Figura 7–11 – Pontuação por componente e para CC-SART

Nota: LoP: Nível de Processamento  
 EoR: Facilitação do Raciocínio  
 AoK: Ativação do Conhecimento  
 CC: Compatibilidade Cognitiva

Tabela 7–4 – Resultados do questionário CC-SART

interface	LoP	dp	EoR	dp	AoK	dp	CC	dp
<b>Sumário de Alarmes</b>	73%	22%	50%	24%	58%	33%	45%	21%
<b>Interface SAAI</b>	58%	31%	70%	23%	70%	23%	61%	18%

Nota: dp – desvio-padrão.

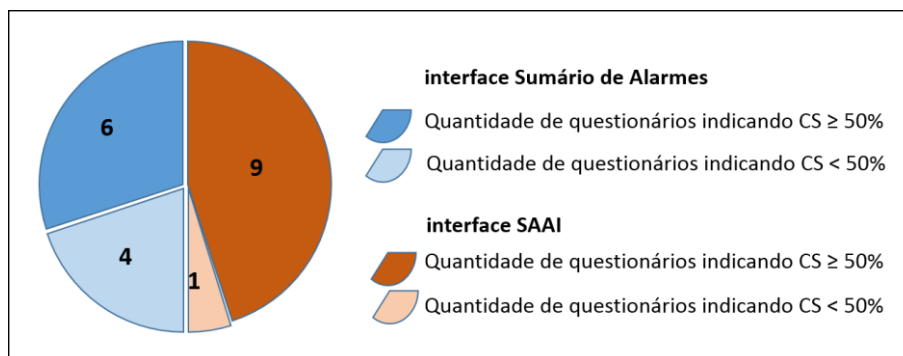


Figura 7-12 – Quantidade de resultados com ao menos 50% de CC

O método CC-SART mostrou maior compatibilidade cognitiva para a interface SAAI, dimensão por dimensão, o Nível de Processamento (LoP, o componente negativo) para o SAAI foi, na média, 58%, a Facilitação do Raciocínio (EoR) e a Ativação do Conhecimento (AoK) foram de 70% cada; a interface de sumário de alarmes pontuou 73%, 50% e 58%.

#### 7.7.4. Resultados para o questionário cs3 aplicado

O questionário cs3 é composto de quatro questões, as primeiras duas se referem ao nível 1 da CS, as outras (q.3 e q.4) se referem aos níveis 2 e 3. O participante responde cada questão para a condição de operação normal e para a operação sob avalanche de alarmes. Os resultados médios do cs3 são mostrados na Figura 7-13 e na Tabela 7-5, para cada questão e nível de CS.

Sob operação normal, o sumário de alarmes teve uma média de 46% de “utilidade para a consciência situacional” (uCS), recebendo um mínimo de 50% de cinco participantes dos 10 do grupo, e a interface SAAI teve uma média de 62% uCS, recebendo um mínimo de 50% de sete participantes dos 10 do respectivo grupo (ver a Figura 7-14).

Para a operação sob avalanche de alarmes, os participantes apontaram uma média de 55% uCS para a interface SAAI. A metade dos participantes atribuiu um mínimo de 50% uCS para o SAAI. Para essa condição de avalanche, a interface de sumário de alarmes pontuou 15% uCS em média. Nenhum dos participantes do

respectivo grupo atribuiu ao sumário de alarmes um mínimo de 50% uCS na condição de avalanche.

Para cada nível de consciência situacional e sob operação normal, a técnica cs3, proposta neste trabalho, mostrou maior potencial de CS para a interface SAAI: 65%, 64% e 58%, respectivamente. Foram atribuídos ao sumário de alarmes os valores de 51%, 48% e 40% (ver Tabela 7-5).

Sob avalanche de alarmes, os operadores consideraram a utilidade em cada nível de CS da seguinte forma: 53%, 60% e 53% para a interface SAAI; e 14%, 18% e 15% para o sumário de alarmes (Tabela 7-5).

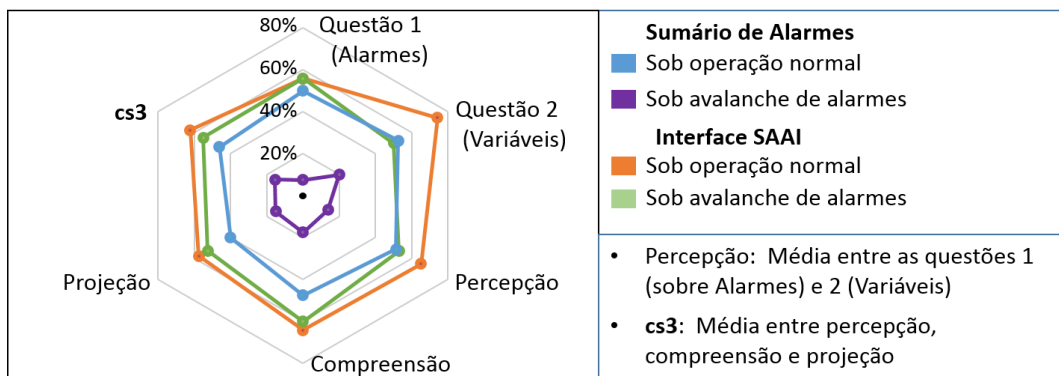


Figura 7-13 – Resultados do cs3 por nível de CS e geral

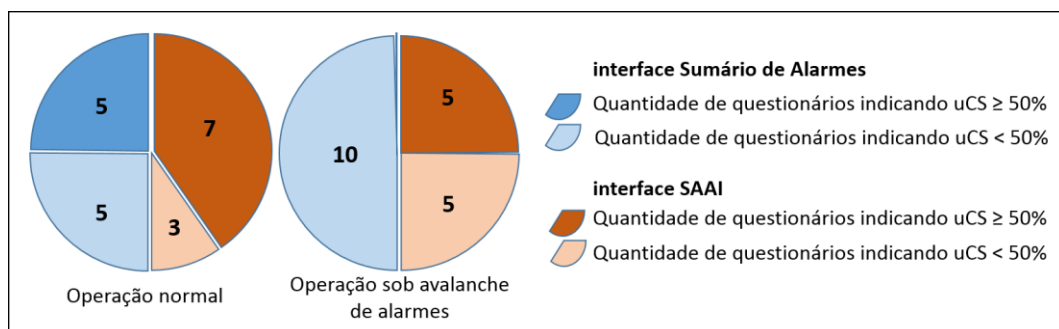


Figura 7-14 – Quantidade de questionários acima e abaixo do valor de corte de 50% uCS

Tabela 7-5 – Resultados para cs3

	q.1	q.2	CSn1	CSn2	CSn3	cs3 média
<b>Interface sob operação normal</b>						
<b>Sumário de alarmes (média)</b>	50%	53%	51%	48%	40%	46%
<b>Sumário de alarmes (desvio-padrão)</b>	33%	30%	16%	28%	36%	19%
<b>SAAI (média)</b>	56%	74%	65%	64%	58%	62%
<b>SAAI (desvio-padrão)</b>	32%	31%	29%	39%	32%	30%
<b>Interface sob avalanche de alarmes</b>						
<b>Sumário de alarmes (média)</b>	8%	20%	14%	18%	15%	15%
<b>Sumário de alarmes (desvio-padrão)</b>	17%	26%	16%	21%	21%	15%
<b>SAAI (média)</b>	56%	50%	53%	60%	53%	55%
<b>SAAI (desvio-padrão)</b>	29%	39%	31%	37%	34%	30%

## 7.8. Comparação com Valores da Literatura

Foi possível encontrar alguns resultados na literatura para as técnicas SAGAT e SART. Para a CC-SART, não foram encontrados relatos com detalhes suficientes.

### 7.8.1. Questionário SAGAT

Os valores para o questionário SAGAT naturalmente dependem das questões formuladas. Para comparação numérica, estão disponíveis os resultados de Burns *et al.* (2008) e Skraaning Jr. *et al.* (2007) em um experimento no domínio de geração nuclear. Nesses trabalhos, a técnica *Process Overview*, uma variação da SAGAT, foi usada para medir a CS no uso de três estilos de interface (Tradicional, Ecológica e Avançada). Apresentam valores percentuais médios entre 49% e 52% para a consciência situacional



global. Para o nível 1 da CS (percepção), a aplicação da técnica resultou em torno de 64%. Para os níveis 2 e 3 (compreensão e projeção, avaliados conjuntamente), os resultados ficaram entre 40% e 46%.

Salmon et al. (2009) usaram 24 questões para medir a consciência situacional num experimento envolvendo programa de aplicação militar. Encontrou médias de 7,00, 3,95 e 0,40 acertos para os níveis 1, 2, e 3, respectivamente, e 11,35 (ou 47%) para a CS global. Tanto no primeiro caso, como nesse, e também no AmbTrei, os valores para o nível 1 foram maiores. Os valores encontrados no AmbTrei estão na faixa de valores da literatura consultada. Os resultados podem ser comparados na Tabela 7–6.

Tabela 7–6 – Comparação para SAGAT. (BURNS et al., 2008) avaliou níveis 2 e 3 conjuntamente

SAGAT	AmbTrei		(BURNS <i>et al.</i> , 2008)			(SALMON <i>et al.</i> , 2009)	
	Sumário Alarmes	SAAI	Interface Tradicional	Interface Ecológica	Interface Avançada	Valor Absoluto	Valor Percentual
Global	44%	56%	51%	52%	49%	11,35	47%
Nível 1	50%	65%	63%	63%	65%	7,00	-
Nível 2	45%	55%	45%	46%	40%	3,95	-
Nível 3	30%	40%				0,40	-
Máximo	80%	100%	-	-	-	19	79%
Mínimo	20%	20%	-	-	-	5	21%

### 7.8.2. Questionário SART

Para o questionário SART, padronizado, os valores encontrados no AmbTrei também podem ser comparados aos de (ROUSSEAU *et al.*, 2010), (SALMON *et al.*, 2009) e de (KENNEDY, e DURBIN, 2005), embora sejam trabalhos em outros domínios (aplicações militares de comando e controle, e de pilotagem de dois modelos de helicópteros militares). A Tabela 7–7 apresenta valores absolutos e normalizados para comparação com os dados do AmbTrei.

Tabela 7-7 – Comparações da técnica

	AmbiTrei		(Rousseau, 2010)				(Salmon et al., 2009)			(Kennedy, e Durbin, 2005)				
	Sum. Alrm.	SAAI	dia 1	abs. (1a7)	dia 2	abs. (1a7)	méda	CS_%	modelo_al	modelo_m	m_Esq	m_Dir	m_Esq	m_Dir
<b>SART</b>	51%	58%	59%	5,58	59%	5,32	19,75	56%	21,83	21,92	60%	20,17	23,67	63%
<b>d</b>	55%	60%	65%	4,30	67%	5,03	13,90	61%	10,50	11,17	45%	10,83	11,50	47%
<b>s</b>	54%	66%	66%	4,95	71%	5,25	20,15	67%	17,83	20,00	67%	19,67	20,83	70%
<b>u</b>	51%	63%	66%	4,93	68%	5,10	13,50	58%	14,50	13,08	56%	11,33	14,83	66%
<b>Max</b>	80%	78%					35,00	82%	32,00	33,00	78%	33,00	32,00	77%
<b>min</b>	25%	28%					9,00	38%	15,00	6,00	33%	6,00	17,00	52%

### 7.8.3. Questionário CC-SART

Embora haja diversos artigos citando a CC-SART, apenas em um relatório sobre aplicação militar em veículos não tripulados (COSENZO *et al.*, 2009), que não detalha todos os resultados encontrados, foram citados valores para o nível de processamento (componente LoP da compatibilidade cognitiva) de 48% e 37% (usando ou não um sistema de reconhecimento de alvos), frente a 73% e 58% no AmbTrei. Vale lembrar que, para esse componente, quanto menor o valor, melhor em termos de consciência situacional.

### 7.9. Discussão

A Figura 7–15 e a Tabela 7–8 apresentam um sumário dos resultados no AmbTrei para as médias de consciência situacional (Figura 7–15.a) e o número de graus de ao menos 50% para cada interface em cada técnica utilizada (Figura 7–15.b). Os valores atribuídos à interface SAAI envolvem os valores para a interface de sumário de alarmes (tanto na Figura 7–15.a quanto na Figura 7–15.b). A interface SAAI apresentou desempenho melhor em todos os métodos, o que dá consistência aos resultados.

Os resultados poderiam ser atribuídos ao fato de que a interface era um fator intergrupos. Como mencionado na Seção 7.4, todos os participantes tinham uma experiência de ao menos três anos de profissão e com o programa de supervisão (o supervisor), o qual inclui a interface de sumário de alarmes. O grupo da interface SAAI apresentava uma média de experiência profissional de 3,3 anos mais que o grupo de sumário de alarmes. Este último, entretanto, tinha uma média de 2,8 anos de experiência com o supervisor mais que o grupo da interface SAAI (ver Tabela 7–1 na Seção 7.4).

Os resultados do SAGAT podem ser afetados pelo tempo de experiência do participante, pois o conhecimento acumulado do participante pode ter um papel significativo ao responder o questionário SAGAT. De fato, o questionário SAGAT

aplicado mostrou uma maior consciência situacional para o grupo que tinha mais tempo de experiência profissional, isto é, o grupo da interface SAAI. No entanto, esse mesmo grupo tinha menos experiência com o programa de supervisão, o que pode sugerir que esse grupo (o grupo da interface SAAI) beneficiou-se de seu conhecimento acumulado graças à consciência situacional provida pela interface SAAI.

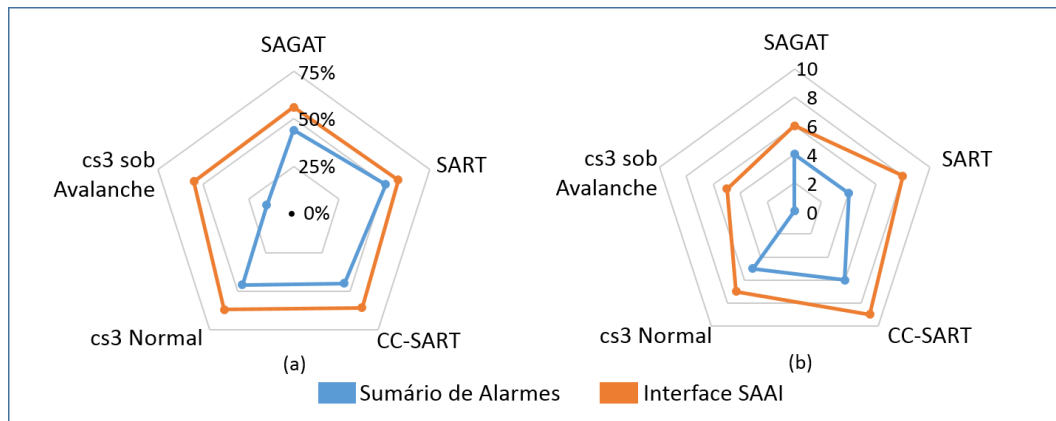


Figura 7-15 – Sumário dos resultados: (a) médias CS; e (b) quantidade de resultados  $\geq 50\%$  CS

Presumivelmente, os resultados para as outras técnicas (SART, CC-SART e cs3) não foram significativamente afetados pelo conhecimento acumulado dos participantes. Essas técnicas são essencialmente baseadas em questionários padronizados, para os quais são dadas respostas subjetivas.

A consciência situacional para a interface de sumário de alarmes poderia ter um viés positivo, pois os operadores já estavam familiarizados com essa interface (especialmente o grupo de sumário de alarmes). De acordo com os valores obtidos por meio do conjunto de operadores que participaram, entretanto, esse viés não foi suficiente para afetar os resultados significativamente.

Um desempenho melhor da interface SAAI era esperado até certo ponto, pois foi projetada com os conceitos de consciência situacional e de interface ecológica em mente, ao passo que a interface de sumário de alarmes é (pelo menos) trinta anos mais antiga e não tem informação gráfica para o operador. No entanto, não era possível

prever a influência de um monitor extra ou da novidade que a interface SAAI representava.

Tabela 7–8 – Pontuação para cada medição da consciência situacional

Técnica	Interface Sumário de Alarmes			Interface SAAI		
	Média	DP	#Min50%	Média	DP	#Min50%
<b>SAGAT aplicado</b>	44%	25%	4	56%	30%	6
<b>SART aplicado</b>	51%	17%	4	58%	15%	8
<b>CC-SART aplicado</b>	45%	21%	6	61%	18%	9
<b>cs3 Operação Normal</b>	46%	19%	5	62%	30%	7
<b>cs3 Avalanche de Alarmes</b>	15%	15%	0	55%	30%	5

Nota: DP = desvio-padrão; #Min50% = quantidade de resultados  $\geq 50\%$ .

O questionário SAGAT aplicado, a versão simplificada de uma única interrupção, mostrou uma melhor consciência situacional global para a interface SAAI, e também em cada nível (percepção, compreensão e projeção). Para ambas as interfaces, entretanto, os valores mais baixos foram encontrados para o nível 3 da CS, projeção (Figura 7–7 na Subseção 7.7.1). Isso pode ser devido à própria interface (apesar da intenção do projeto da interface SAAI), ou pode ser uma confirmação de que a atenção dos operadores (e a consciência situacional, por consequência) é ativada e direcionada pelos alarmes (LI, *et al.*, 2012) (LI *et al.*, 2011), e que a operação tende (ou é induzida) a ser mais reativa (aos alarmes e eventos) do que a ser proativa (prevendo a evolução do processo).

A menor diferença relativa foi encontrada para o nível 2 da CS, compreensão, o que pode ser interpretado como o conhecimento do processo tendo um papel importante nesse nível – enquanto se está respondendo (ou avaliando) o questionário SAGAT, pode ser difícil distinguir consciência situacional de conhecimento anterior (se possível for).

O SART adaptado mostrou melhor desempenho para interface SAAI na média geral. No entanto, a interface de sumário de alarmes teve melhor desempenho para o componente “*D* – demanda atencional” (Figura 7–9 na Subseção 7.7.2). Isto pode ser creditado à novidade da interface SAAI, apresentada aos participantes no início da sessão experimental, e o sumário de alarmes, por sua vez, já era conhecido.

Para a adaptação do método CC-SART, todos os três componentes (Ativação do Conhecimento, Facilitação do Raciocínio, e Nível de Processamento) mostraram melhor pontuação para a interface SAAI. Essa interface desempenhou-se especialmente melhor para o componente Facilitação do Raciocínio (Figura 7–11 na Subseção 7.7.3).

O melhor desempenho da interface SAAI sob o CC-SART (e sob as outras técnicas) pode ser creditado à aplicação de conceitos de Projeto Ecológico de Interface (EID), entre outros fatores. Interfaces ecológicas podem melhorar a consciência situacional durante situações não previstas (BURNS *et al.*, 2008). Embora cada alarme seja ativado para uma situação prevista, o contexto da situação não pode ser completamente conhecido previamente, nem a combinação de alarmes. Assim, conceitos de EID são de particular interesse.

A diferença em favor da interface SAAI na pontuação CC-SART foi maior que a diferença encontrada ao aplicar o SART. Isso pode ser efeito do objetivo do CC-SART, que é medir propriedades da interface (a compatibilidade cognitiva da interface com os processos mentais do operador, em oposição à consciência situacional do operador propriamente dita). A diferença menor entre o sumário de alarme e a interface SAAI encontrada com o SART sugerem que a familiaridade do operador com o cenário tem um peso significativo nessa medição, comparada a sua familiaridade com a interface.

Os resultados para o questionário cs3 (Figura 7–13 e Tabela 7–5, na Subseção 7.7.4) são coerentes com os resultados das outras técnicas, e em particular com os resultados da CC-SART: a interface SAAI teve desempenho melhor. Os resultados do cs3 mostram que a interface SAAI pode evitar uma significativa perda de consciência situacional que ocorre durante a operação sob uma avalanche de alarmes, que é exatamente o objetivo do SAAI. Entretanto, a segunda questão (“Questão 2” na Figura 7–13), que se refere à interface ajudando a perceber variáveis relevantes,

mostrou uma significativa redução entre a operação normal e a operação sob avalanche para a interface SAAI. Isso pode ter duas interpretações:

- a) Os operadores não esperam realmente que a interface SAAI os ajude a perceber as variáveis relevantes sob uma avalanche de alarmes (não tanto quanto em operação normal).
- b) Os operadores identificaram a exibição de variáveis relevantes (em operação normal) como uma propriedade especialmente útil da interface – e a questão 2 pontuou muito melhor para operação normal por causa disso.

A interpretação “a” é verdadeira como uma interpretação crua das respostas. Porém, para a interface SAAI, a redução da pontuação de “sob operação normal” para “sob avalanche de alarmes” na q.2 é maior porque a pontuação média da primeira é a maior (ver Tabela 7–8). De acordo com isso, parece que a hipótese “b” é aceitável: os operadores esperam que a interface SAAI os ajude a perceber variáveis relevantes sob uma avalanche de alarmes e também, e em especial, sob operação normal.

A nova interface pontua melhor apesar do fato de o sumário de alarmes já ser conhecido pelos operadores (tem sido usado por mais de duas décadas em plataformas de produção), e de os operadores não terem sido treinados previamente para usar o SAAI. Alguns operadores apontaram essa falta de treinamento como uma razão para explicar as dificuldades em usar o SAAI. Outros, no entanto, consideraram a nova interface fácil e amigável. O foco deste experimento foi medir a consciência situacional dos operadores ao usarem a interface SAAI, e testes adicionais propriamente de usabilidade devem ser executados antes de implantar o SAAI em um ambiente de produção. Na implantação em produção, seria necessário treinar os operadores no uso da interface e nos conceitos envolvidos no uso do SAAI.

Houve comentários sobre a relevância do alarme quando é ativado no SAAI: deveria chamar a atenção para si, piscando, tal como no supervisório. Tal comentário pode indicar a necessidade de melhoria na interface. Porém, ao mesmo tempo que um alarme ativo no SAAI merece atenção especial, o SAAI não substitui o supervisório, foi projetado para ser complementar.

A percepção dos alarmes no SAAI deve ser consciente. Espera-se que o operador olhe para o SAAI quando em dúvida quanto a qual alarme responder primeiramente, ou para ter mais informações (gráficas) sobre os alarmes priorizados naquele momento. A ativação de um alarme no SAAI, a princípio, não deveria concorrer com a ativação no supervisório (onde o alarme pisca até ser reconhecido).

Em determinados casos, porém, poderia ser útil dar maior relevância a um alarme recém-ativado no SAAI. Por exemplo, quando um alarme recente tivesse prioridade de tempo-real próxima a de vários outros já ativos, pode ser importante ele piscar algumas vezes ao ser ativado, indicando que a quantidade de alarmes de alta prioridade (ou com TRR muito baixo) está além do considerado aceitável.

Esse experimento trata de um determinado cenário, com uma dada configuração da nova interface, em uma determinada planta com um determinado grupo de operadores de processo. A consciência situacional é avaliada nessas condições, outro cenário ou outra planta exigiriam uma outra configuração da nova interface (e outro questionário SAGAT). Em que pese o realismo emprestado a esse experimento pela participação de operadores profissionais e pela utilização de simulação dinâmica de processo para a execução do cenário, a repetição é necessária (inclusive variando a planta e o cenário) para garantir a generalidade dos resultados.

Ademais, o tamanho da amostra desta pesquisa é pequeno ( $n=10$  para cada interface). No entanto, os resultados indicam uma tendência qualitativa de melhoria da consciência situacional ao usar a interface SAAI. Isso significa que a interface SAAI pode vir a ajudar operadores a entender o estado do processo e a manter sua consciência situacional sob uma avalanche de alarmes.

## **7.10. Síntese do Capítulo**

Os quatro métodos utilizados no experimento mostraram melhor consciência situacional para a interface SAAI. Adicionalmente, em cada um desses quatro métodos, um maior número de participantes no grupo SAAI atribuiu-lhe um mínimo de 50% CS. Um monitor extra para exibir os alarmes mais importantes associados a gráficos de



tendência, como a interface do SAAI, pode aumentar significativamente a consciência situacional dos operadores.

Portanto, nesse experimento, houve ganho na consciência situacional dos operadores participantes com a interface ecológica. Os valores encontrados foram próximos a valores relatados na literatura consultada. Porém, o ganho de desempenho da nova interface de alarmes foi maior que o relatado na literatura, em experimentos com interfaces de operação (não especificamente interfaces de alarmes). Isso pode ser uma indicação de que a EID é uma abordagem promissora especialmente no caso particular de interfaces de alarmes.

Em todo o caso, é importante validar uma nova interface antes de sua implantação em salas de controle reais. Outras avaliações, como de usabilidade, devem ser feitas.

O reduzido número de participantes (n=10 para cada interface) não permite afirmações estatisticamente conclusivas. Porém, os resultados apresentados indicam uma melhoria qualitativa, e o projeto ecológico de interface (EID) parece ser uma abordagem promissora.

O próximo capítulo encerra este trabalho e inclui sugestões de trabalhos futuros.

## 8. CONCLUSÃO E SUGESTÕES DE TRABALHOS

O controle e a supervisão de processos complexos, tais como o tratamento do petróleo produzido em plataformas de produção, o refino de petróleo ou os processos petroquímicos, enfrentam o problema de avalanche de alarmes: alarmes sendo anunciados mais rapidamente que a capacidade de os operadores responderem. Isso pode levar os operadores a não terem entendimento suficiente do estado do processo e, assim, prejudicar sua capacidade de tomar decisões, comprometendo a eficiência e a segurança.

Um exemplo é o acidente da plataforma P-36, em 2001. Não havia um sistema que priorizasse os alarmes ou ajudasse os operadores a lidar com a avalanche de alarmes que ocorreu: 1723 alarmes em 17 minutos, ou seja, mais de 100 por minuto. Não foi causa do afundamento, mas a falta de priorização de alarmes foi considerada um problema subjacente na planta (NASA, 2008). Os alarmes, parte da interface de operação, tornaram-se ruído na comunicação entre o sistema de supervisão e o operador. Esse ruído faz com que a informação que os alarmes carregam se perca, e pode prejudicar o raciocínio do operador, provocar-lhe cansaço (ou até o stress), e ser, inclusive, fator contributivo de acidentes.

Por esses motivos, sistemas que priorizem alarmes e que ajudem os operadores a lidar com avalanches de alarmes se fazem necessários, de forma que os alarmes sejam informação, e não ruído, para o operador. Esses sistemas devem levar em consideração a capacidade cognitiva do operador.

Esta pesquisa objetiva contribuir no desenvolvimento desses sistemas, especificando, configurando e avaliando, segundo uma propriedade cognitiva (a consciência situacional, CS), uma nova interface de alarmes.

Para tanto, neste trabalho, um novo sistema que endereça o problema de avalanche de alarmes, o SAAI, foi instalado em um ambiente de simulação dinâmica para treinamento (AmbTrei). A interface do SAAI, projetada sob a abordagem de “interface ecológica” (*ecological interface design*, EID), foi configurada e submetida à avaliação com a participação de operadores de processo profissionais executando um

cenário realista. Nessa interface SAAI, os alarmes são apresentados com suas respectivas prioridades calculadas em tempo-real.

Foi desenvolvido um método procedimental para a avaliação pelo critério de “consciência situacional”, uma figura de mérito para o grau de entendimento dos operadores sobre as condições do processo. Outras aplicações e suas interfaces podem vir a ser avaliadas sob uma adaptação desse mesmo método.

Para a avaliação da nova interface, foram utilizadas 4 técnicas para medição da “consciência situacional” dos operadores. Três dessas técnicas são das mais citadas na literatura pertinente: SAGAT, SART e CC-SART. Essas técnicas foram adaptadas para o AmbTrei, e os questionários aplicados pelas técnicas SART e CC-SART foram traduzidos para o português. É proposta uma quarta técnica, “cs3”, para medir o potencial de utilidade de uma interface de alarmes quanto à consciência situacional, na situação de uma avalanche de alarmes, confrontada com a operação normal. A combinação dessas técnicas, incluindo os questionários traduzidos, pode vir a ser utilizada na avaliação de outras interfaces.

A interface de sumário de alarmes, de uso disseminado em plataformas de petróleo, foi avaliada quanto à consciência situacional, utilizando-se o mesmo cenário e as mesmas técnicas. Até onde vai nosso conhecimento, não temos notícia de avaliação anterior de interface do tipo sumário de alarmes para a consciência situacional. Foi possível confrontar uma interface mais tradicional, uma lista textual de alarmes em sequência temporal, com uma interface que inclui informações gráficas, além de textuais, para os alarmes priorizados em tempo-real. Os resultados foram normalizados, facilitando a comparação com outros relatórios.

Na média, os resultados mostram que a nova interface permite uma melhor consciência situacional. Isso indica que investimentos em novos sistemas que tratem avalanches de alarmes justificam-se, pois uma interface como a SAAI, trazendo melhoria à CS, pode significar melhorias na segurança operacional e na eficiência.

Sumarizando, são contribuições desta pesquisa:

- (a) A aplicação do conceito de “consciência situacional” e da abordagem ecológica de projeto de interfaces utilizados como uma solução para o problema de avalanche de alarmes;
- (b) O desenvolvimento de um método para avaliação de interface segundo a consciência situacional;
- (c) A adaptação da técnica SAGAT de medição da CS;
- (d) A adaptação das técnicas e a tradução dos questionários SART e CC-SART (para medição da CS) para o português;
- (e) O desenvolvimento de uma técnica, a cs3, para avaliar a utilidade de uma interface de alarmes quanto à CS;
- (f) A avaliação por operadores profissionais de uma nova interface gráfica de alarmes, com priorização em tempo-real, comparando-a com a tradicional interface de sumário de alarmes.

Por outro lado, esta tese evidencia limitações a serem consideradas em trabalhos futuros. Reconhecidamente, a avaliação de projetos de interface não é uma tarefa fácil (WU *et al.*, 2016). A simulação, envolvendo operadores, de situações representativas traz alguns desafios próprios (MINOTRA, *et al.*, 2015). Em que pese a vontade dos operadores em participar, mostrando que há bastante espaço para a melhoria de interfaces de alarmes, não foi possível ter os mesmos operadores em várias sessões de avaliação. A amostra final de cada grupo (“sumário de alarmes”, e “interface SAAI”) foi pequena, permitindo apenas conclusões qualitativas, que apontam ganhos na CS e a validade do investimento, mas não são conclusivas estatisticamente. Embora os operadores tenham tido oportunidade de se expressar, esta pesquisa concentrou-se nos resultados relativos à consciência situacional. Perguntas com respostas abertas poderiam ser aproveitadas em futuras pesquisas. A técnica SAGAT foi usada numa versão simplificada, com uma única parada para responder ao questionário, e a

abordagem EID ainda pode ser explorada em maior profundidade. Além disso, talvez a avaliação de CS pudesse ser conjugada com testes de usabilidade.

A aplicação da técnica SAGAT é dependente da escolha e da forma em que as questões são redigidas, além do experimento em si – a simulação e a aplicação dos questionários também influenciam. Em que pese os resultados deste trabalho serem coerentes com outros relatados na literatura, sempre há o risco da ocorrência de erros, ao responder o questionário, que sejam consequências da dificuldade da questão ou de sua interpretação, e não necessariamente de uma baixa consciência situacional. A seguida repetição desse tipo de experimento, com outros cenários e questões, pode aprimorar a aplicação da técnica.

Os questionários SART e CC-SART são padronizados, mas, no presente caso, envolveram tradução dos formulários, e existe a máxima “tradução é traição”. Para evitar essa armadilha, outras pesquisas que envolvessem esses questionários poderiam servir para validá-los na língua portuguesa.

O questionário proposto cs3 certamente pode ser aprimorado. Os resultados obtidos pela sua aplicação são coerentes com os demais. Esses experimentos no AmbTrei apontam a potencial diferença entre a consciência situacional em operação sem avalanche daquela sob avalanche de alarmes. A situação de avalanche de alarmes merece ser investigada com destaque, quanto a interfaces próprias e quanto a consciência situacional. Outros experimentos são necessários para validar o questionário cs3 de forma conclusiva.

Esta pesquisa inclui a medição da consciência situacional individual de operadores de processo, em um ambiente emulando uma sala de controle de plataforma. Estão sendo montadas em terra salas de controle que podem estar da ordem de 100 km de distância da respectiva plataforma (ou mais, no caso do “pré-sal”), onde estarão a planta de processo e a equipe de campo. Essas salas de controle remotas (SCRs) permitem ganhos econômicas e menor exposição aos riscos do processo. Cabe investigar interfaces que promovam a consciência situacional (distribuída e remota) de equipes nas SCRs.

Entende-se que trabalhos futuros no tema de interfaces de supervisão devem enfatizar aspectos cognitivos do operador, além de aspectos relativos à tarefa ou à tecnologia de interface utilizada. Desdobramentos sugeridos para esta pesquisa incluem:

- (1) medições da consciência situacional, com outros cenários e outros questionários SAGAT, com outras interfaces (ecológicas, inclusive), além da própria interface SAAI;
- (2) a aplicação a outros grupos de operadores da adaptação dos questionários SART e CC-SART, de forma a comparar resultados com os desta pesquisa;
- (3) a aplicação e aperfeiçoamento do questionário cs3 a grupos maiores de operadores, e desenvolvimento de alternativas na avaliação de interfaces, considerando em particular a situação de avalanche de alarmes;
- (4) o estudo da consciência situacional na equipe de operação de sala de controle e de campo (NAZIR, et al., 2015) (MAN et al., 2015) (SALMON, 2008) e de interfaces ecológicas que promovam o aprendizado (JAMIESON, e VICENTE, 2001) visando especialmente salas de controle remotas.

Sistemas de alarmes são críticos na operação de processos como o de produção de petróleo em alto mar, e avalanches de alarmes podem prejudicar a consciência situacional e, por consequência, o processo de tomada de decisão dos operadores. A nova interface de alarmes, projetada para manter a consciência situacional dos operadores sob uma avalanche de alarmes, pode significar mais segurança operacional e maior eficiência. A expectativa, após a presente pesquisa, é que o SAAI continue evoluindo e seja instalado em plataformas e refinarias, onde os operadores seriam formalmente treinados na interface de uso dessa aplicação.

A interface de usuário em geral deve ser transparente e mostrar toda a informação de interesse da maneira mais simples. De preferência, o usuário não deve pensar na interface ao usá-la. O usuário ser obrigado a pensar na interface é como sermos obrigados a pensar nos detalhes de uma torneira quando apenas queremos água.

Um objetivo do projeto de interface, ecológica ou não, deve ser evitar que a interface operacional, incluindo a interface de alarmes, apareça para o operador mais do que o necessário para que ele obtenha a informação precisa. Não é a interface que deve aparecer, mas a informação. Esta deve ser selecionada, estruturada e exibida de forma a contribuir com o processo cognitivo do operador, sua consciência situacional, ajudando no processo de tomada de decisão, sem ruídos de comunicação. A interface deve ser efetiva e ter o menor impacto possível na carga cognitiva do operador.

## REFERÊNCIAS

ANSI/ISA - American National Standards Institute/International Society of Automation. **ANSI/ISA 18.2 - Management of Alarm Systems for the Process Industries**. 2009.

AGUIAR, B.; CORREIA, W.; CAMPOS, F. Uso da Escala Likert na Análise de Jogos. **Anais do X Simpósio Brasileiro de Games e Entretenimento Digital, 07-09 de novembro de 2011 Salvador**, 2011.

BAINBRIDGE, L. Ironies of Automation. **Automatica**, **19**, 775-779. 1983. Reimpressão in: (1987) Rasmussen, J., Duncan, K. and Leplat, J. (eds.) **New Technology and Human Error**, Wiley, Chichester, pp. 276-283. (Disponível em <http://www.bainbrdg.demon.co.uk/Papers/Ironies.html>, acesso em 15-Abr-2010).

BRUNSWIK, E. Scope and aspects of the cognitive problem. In: H. GRUBER, R. JESSOR & K. R. HAMMOND, Eds. **Contemporary Approaches to Cognition**, pp. S-31. Cambridge, MA: Harvard University Press, 1957 apud RASMUSSEN, e VICENTE, 1989.

BULLEMER, P. et al. **ASM Consortium Guidelines – Effective Operator Display Design**. ASM Consortium. 2008.

BURNS, C.M. et al. Evaluation of Ecological Interface Design for Nuclear Process Control: Situation Awareness Effects. **Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society**, v. 50, n. 4, p. 663-679, August 2008.

CARDOSO, V.; e CUKIERMAN, H. A abordagem sociotécnica na investigação e na prevenção de acidentes aéreos: o caso do voo RG-254. **Revista Brasileira de Saúde Ocupacional**, vol. 32, n. 115, p. 79-98, 2007. (Disponível em <http://www.scielo.br/pdf/rbso/v32n115/08.pdf>, acesso em 08-Dez-2015.>



CARVALHO, P.V.R.; SANTOS, I.L. DOS; GOMES, J.O.; BORGES, M.R.S.; e GUERLAIN, S. Human factors approach for evaluation and redesign of human–system interfaces of a nuclear power plant simulator. **Displays**, v. 29, n. 3, p. 273-284, 2008. (DOI:10.1016/j.displa.2007.08.010. Disponível em [http://bart.sys.virginia.edu/hci/HCI%20Website/NPP\\_Displays.pdf](http://bart.sys.virginia.edu/hci/HCI%20Website/NPP_Displays.pdf), acesso em 05-Nov-2015.)

CCPS – Center for Chemical Process Safety of the American Institute of Chemical Engineers. **Layer of protection analysis: simplified process risk assessment** (Cap. 6, Seção 6.5). 2001.

CHARETTE, R.N. Automated to death. Disponível no servidor de **IEEE Spectrum** em <http://spectrum.ieee.org/computing/software/automated-to-death>, publicado em 15-Dez-2009 - 5:00GMT, acesso em 25-Jun-2015.

COSENZO, K.; PARASURAMAN, R.; PILLALAMARRI, K.; e FENG, T. **The Effect of Appropriately and Inappropriately Applied Automation for the Control of Unmanned Systems on Operator Performance**. ARMY RESEARCH LAB ABERDEEN PROVING GROUND MD HUMAN RESEARCH AND ENGINEERING DIRECTORATE, 2009.

DURSO, F.T. et al. Situation Awareness As a Predictor of Performance in En Route Air Traffic Controllers. OKLAHOMA UNIV NORMAN DEPT OF PSYCHOLOGY, 1999. (Disponível em <http://www.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a360807.pdf>)

EDWARDS, A. R.; e GORDON, B. Using Unmanned Principles and Integrated Operations to Enable Operational Efficiency and Reduce Capex and OPEX Costs. In: **SPE Middle East Intelligent Oil and Gas Conference and Exhibition**. Society of Petroleum Engineers, 2015.

EEMUA - Engineering Equipment and Materials Users Association. **EEMUA 191 – Alarms Systems – A Guide to Design, Management and Procurement**. 2 ed., 2007.

ENDSLEY, M.R. Situation awareness global assessment technique (SAGAT). In: **Aerospace and Electronics Conference, 1988. NAECON 1988., Proceedings of the IEEE 1988 National**, p. 789-795. IEEE, 1988.

ENDSLEY, M.R. Toward a theory of situation awareness in dynamic systems. **Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society**, v. 37, n. 1, p. 32-64, 1995.

ENDSLEY, M.R. Measurement of Situation Awareness in Dynamic Systems. **Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society**, v. 37, n. 1, p. 65-84, 1995b.

ENDSLEY, M.R. Situation awareness misconceptions and misunderstandings. **Journal of Cognitive Engineering and Decision Making**, v. 9, n. 1 (*Special Issue: Reflections and Commentaries on Situation Awareness*), p. 4-32, 2015.

ENDSLEY, M.R.; e JONES, D.G. **Designing for Situational Awareness – An Approach to User-Centered Design**, 2 ed. CRC-Taylor&Francis, 2012.

FLACH, J.M.; e RASMUSSEN, J. “Cognitive engineering: Designing for situation awareness”. In SARTER, Nadine B.; e AMALBERTI, R. (Ed.). **Cognitive engineering in the aviation domain**. CRC Press, 2000. (pp. 153–179).

GALITZ, W.O. **The essential guide to user interface design: an introduction to GUI design principles and techniques**. 2<sup>a</sup> Edição. John Wiley & Sons, 2007.

GAWRON, V.J. **Human performance, workload, and situational awareness measures handbook**. CRC Press, 2008.

GIBSON; J.J. **The Senses Considered as Perceptual Systems**. Boston: Houghton-Mifflin, 1966 apud RASMUSSEN, e VICENTE, 1989.

GIBSON, J.J. **The Ecological Approach to Visual Perception**. Psychology Press, (1a. edição em 1979). Edição de 1986. (Cap. 8)

GUÉRIN, F.; LAVILLE, A.; DANIELLOU, F.; DURAFFOURG, J.; e KERGUÉLEN, A. **Comprender o trabalho para transformá-lo: a prática da Ergonomia**. São Paulo, Editora Edgard Blücher, 2001.

HENRIQSON, E. et al. Consciência Situacional, tomada de decisão e modos de controle cognitivo em ambientes complexos. **Produção**, v. 19 n. 3, p. 433-444, set/dez 2009.

HOLLIFIELD, B.; HABIBI, E.; NIMMO, I.; e OLIVER, D. **The high performance HMI handbook**. Plant Automation Services (PAS), 2008.

HOLLNAGEL, E.; e WOODS, D.D. **Joint Cognitive Systems – Foundations of Cognitive Systems Engineering**. Boca Raton (FL, USA): CRC-Taylor&Francis, 2005.

JAMIESON, G.A.. **Ecological interface design for petrochemical processing applications**. Dissertação de Mestrado. Orientador: Kim J. Vicente. 1998. (Disponível em <[cel.mie.utoronto.ca/wp-content/uploads/CEL98-04.pdf](http://cel.mie.utoronto.ca/wp-content/uploads/CEL98-04.pdf)>, acesso em 10-Set-2015.)

JAMIESON, G.A. **Ecological interface design for petrochemical process control: Integrating task-and system-based approaches**. Tese de Doutorado. Orientador: Kim J. Vicente. University of Toronto, 2003. (Disponível em <[cel.mie.utoronto.ca/wp-content/uploads/CEL02-01.pdf](http://cel.mie.utoronto.ca/wp-content/uploads/CEL02-01.pdf)>, acesso em 10-Set-2015.)

JAMIESON, G.A. Ecological Interface Design for Petrochemical Process Control: An Empirical Assessment. **IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics – Part A: Systems and Humans**, vol. 37, no. 6, November 2007.

JAMIESON, G. A.; MILLER, C. A.; HO, W. H.; e VICENTE, K.J. Integrating Task- and Work Domain-Based Work Analyses in Ecological Interface Design: A Process Control Case Study. **IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics – Part A: Systems and Humans**, vol. 37, no. 6, November 2007.

JAMIESON, G.A.; e VICENTE, K.J. Ecological interface design for petrochemical applications: supporting operator adaptation, continuous learning, and distributed, collaborative work. **Computers & Chemical Engineering**, v. 25, n. 7, p. 1055-1074, 2001.

JONES, D. G.; e ENDSLEY, M. R. Sources of situation awareness errors in aviation. **Aviation, Space, and Environmental Medicine**, v. 67, n. 6 p.507-512, Jun-1996. (Disponível em < [https://www.researchgate.net/profile/Mica\\_Endsley/publications?sorting=newest&page=6](https://www.researchgate.net/profile/Mica_Endsley/publications?sorting=newest&page=6) >, acesso em 4-Mar-2016.)

KASZKUREWICZ, E.; BHAYA, A.; e EBECKEN, N.F.F. A fault detection and diagnosis module for oil production plants in offshore platforms. **Expert Systems with Applications**, v. 12, n. 2, p. 189-194, 1997.

KENNEDY, J.S.; e DURBIN, D.B. **Human Factors Assessment of the UH-60M Crew Station During the Early User Demonstration No. 2 (EUD2)**. Army Research Laboratory, February 2005.

KIM, S.K. et al. Empirical research on an ecological interface design for improving situation awareness of operators in an advanced control room. **Nuclear Engineering and Design**, v. 253, p. 226-237, 2012.

KLEIN, G.A. A recognition-primed decision (RPD) model of rapid decision making. In: KLEIN, G.A.; ORASANU, J.; CALDERWOOD, R.; e ZSAMBOK, C.E. (Eds.) **Decision making in action: models and methods**, pp.138-147. Norwood, CT: Ablex Publishing Corporation, 1993.

LABERGE, J.C. et al. Addressing alarm flood situations in the process industries through alarm summary display design and alarm response strategy. **International Journal of Industrial Ergonomics**, v. 44, n. 3, p. 395-406, 2014. ([doi:10.1016/j.ergon.2013.11.008](https://doi.org/10.1016/j.ergon.2013.11.008)).

LARSSON, J.E.; e DEBOR, J. Real-Time Root Cause Analysis for Complex Technical Systems. **Joint 8<sup>th</sup> IEEE HFPP / 13<sup>th</sup> HPRCT**. 2007.

LAU, N.; SKRAANING JR., G.; JAMIESON, G. A.; e BURNS, C.M. Enhancing operator task performance during monitoring for unanticipated events through ecological interface design. In: **Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting**. SAGE Publications, 2008. p. 448-452.

LEE, S.W. et al. Measuring situation awareness of operation teams in NPPs using a verbal protocol analysis. **Annals of Nuclear Energy**, v. 43, p. 167-175, 2012.

LEITÃO, G.; GUEDES, L. A.; SAITO, K.; QUÉLHAS, M.F.; e ALMEIDA, A.L. DE. Gerenciamento de Alarmes: Experiências e Resultados na Indústria do Petróleo. **Anais do XX Congresso Brasileiro de Automática**, Belo Horizonte, Brasil, 20 a 24 de Setembro de 2014.

LI, X.; MCKEE, D. J.; HORBERRY, T.; e POWELL, M.S.. The control room operator: The forgotten element in mineral process control. **Minerals Engineering**. v. 24, n. 8, p. 894-902. DOI: 10.1016/j.mineng.2011.04.001. 2011.

LI, X.; POWELL, M.S.; e HORBERRY, T. Human factors in control room operations in mineral processing: Elevating control from reactive to proactive. **Journal of Cognitive Engineering and Decision Making**, v.6, n.1, p. 88-111, DOI: 10.1177/1555343411432340, 2012.

LIPSHITZ, R.; KLEIN, G.; ORASANU, J.; e SALAS, E. Taking stock of naturalistic decision making. **Journal of behavioral decision making**, v. 14, n. 5, p. 331-352, 2001.

LIU, P.; e LI, Z. “Task complexity: a review and conceptualization framework”. **International Journal of Industrial Ergonomics**, v. 42, n. 6, p. 553-568, 2012. (doi: 10.1016/j.ergon.2012.09.001)

LOFT, S. et al. Situation awareness measures for simulated submarine track management. **Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society**, v. 57, n. 2, p. 298-310, DOI: 10.1177/0018720814545515, 2015.

MAIA, N. DE C. **O projeto de Ambientes Colaborativos: a Dimensão Coletiva do Trabalho na Integração Operacional na Indústria do Petróleo.** Tese de doutorado, orientação prof. Francisco José de Castro Moura Duarte, UFRJ, 2015.

MAN, Y. et al. From Desk to Field-Human Factor Issues in Remote Monitoring and Controlling of Autonomous Unmanned Vessels. 6th International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics (AHFE 2015) and the Affiliated Conferences, AHFE 2015. In: **Procedia Manufacturing**, v. 3, p. 2674-2681, 2015.

MATHY, F.; e FELDMAN, J. What's magic about magic numbers? Chunking and data compression in short-term memory. **Cognition**, vol. 122, p. 346-362, 2012.

MCGUINNESS, B. **Quantitative analysis of situational awareness (QUASA): Applying signal detection theory to true/false probes and self-ratings.** BAE SYSTEMS BRISTOL (UNITED KINGDOM) ADVANCED TECHNOLOGY CENTRE, 2004.

MCGUINNESS, B.; e EBBAGE, L. **Assessing human factors in command and control: workload and situational awareness metrics.** BAE SYSTEMS BRISTOL (UNITED KINGDOM) ADVANCED TECHNOLOGY CENTRE, 2002. Disponível em <http://www.dtic.mil/cgi-bin/GetTRDoc?AD=ADA467497>, acesso em 18-Fev-2014.

MICHAELS, C.F.; e CARELLO, C. **Direct perception.** Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1981.

MILLER, G.A. "The magical number seven, plus or minus two: some limits on our capacity for processing information". **Psychological review**, v. 63, n. 2, p. 81, 1956. (Disponível em [http://www.homepage.psy.utexas.edu/HomePage/Class/Psy341K/Gilden/readings/MagicNumberSeven-Miller\(1956\).pdf](http://www.homepage.psy.utexas.edu/HomePage/Class/Psy341K/Gilden/readings/MagicNumberSeven-Miller(1956).pdf)). Acesso em 02-Mar-2016.)

MILLER, R.A.; e JAGACINSKI, R.J. The organization of perception and action in complex control skills (baseado em dissertação não publicada de Alex Kirlik), The Ohio State University, Dept. Ind. Syst. Eng., Columbus, OH, 1989.

MINOTRA, D.; e BURNS, C.M. Finding Common Ground Situation Awareness and Cognitive Work Analysis. **Journal of Cognitive Engineering and Decision Making**, v. 9, n. 1 (Special Issue: Reflections and Commentaries on Situation Awareness), p. 87-89, 2015.

MINOTRA, D.; DIKMEN, M.; BURNS, C.M.; e MCNEESE M.D.. Guidelines and Caveats for Manipulating Expectancies in Experiments Involving Human Participants. Trabalho aceito para **Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting**. 2015. (Disponível em <[https://www.researchgate.net/publication/277666532\\_Guidelines\\_and\\_Caveats\\_for\\_Manipulating\\_Expectancies\\_in\\_Experiments\\_Involving\\_Human\\_Participants](https://www.researchgate.net/publication/277666532_Guidelines_and_Caveats_for_Manipulating_Expectancies_in_Experiments_Involving_Human_Participants)>, acesso em 27-Jul-2015.)

MYERS, P.M. Layer of Protection Analysis—Quantifying human performance in initiating events and independent protection layers. **Journal of Loss Prevention in the Process Industries**, v. 26, n. 3, p. 534-546, 2013 (in press). (doi: 10.1016/j.jlp.2012.07.003)

NASA – National Aeronautics and Space Administration. That Sinking Feeling. **System Failure Case Studies**, Steve Wander, ed. Volume 2 Issue 8, October 2008. (Disponível em <<http://nsc.nasa.gov/SFCS/SystemFailureCaseStudy/Details/11>>. Acesso em 23-Jul-2015.)

NAZIR, S.; CARVALHO, P.; ØVERGÅRD, K.; *et al.* Distributed Situation Awareness in Nuclear, Chemical, and Maritime Domains. **CHEMICAL ENGINEERING**, v. 43, 2015 (DOI: 10.3303/CET1543333).

NAZIR, S.; COLOMBO, S.; e MANCA, D. The role of situation awareness for the operators of process industry. **Chemical Engineering Transactions**, v. 26, 2012. (DOI: 10.3303/CET1226051).

NRC – United States Nuclear Regulatory Commission. **NUREG/CR-6316, Guidelines for the Verification and Validation of Expert System Software and Conventional Software**, 1995.

ORASANU, J. M. Flight crew decision-making. In: KANKL, B.G.; HELMREICH, R.L.; e ANCA, J. (Eds.) **Crew resource management**, Amsterdam; Boston: Academic Press/Elsevier, p.147-179, 2010.

PEDERSEN, S.; DURDEVIC, P.; YANG, Z. Learning control for riser-slug elimination and production-rate optimization for an offshore oil and gas production process. In: **19th World Congress of the International Federation of Automatic Control**, IFAC 2014. p. 8522-8527. 2014. (Disponível em [www.nt.ntnu.no/users/skoge/prost/proceedings/ifac2014/media/files/2499.pdf](http://www.nt.ntnu.no/users/skoge/prost/proceedings/ifac2014/media/files/2499.pdf), acesso em 30-Ago-2015.)

PEREIRA, A. C.; ALVES, J. L. L.; e BUCCAIZIO, P. E. **Simulação de Operação de Produção de Petróleo**. Ed. SENAI. (Apostila de curso.) Rio de Janeiro, 2010.

PEREIRA, A.C. et al. Operator Trainer System for the Petrobras P-26 Semi-Submersible Oil and Gas Production Unit. (10th International Symposium on Process Systems Engineering, October, 2009) **Computer Aided Chemical Engineering**, v. 27, p. 1959-1964, 2009.

PETROBRAS – Petróleo Brasileiro S.A. **Gerenciamento de Alarmes**. Norma técnica Petrobras N-2900, 2011.

PLUCÊNIO, A.; CAMPOS, M.M.; TEIXEIRA, A.F. “New Developments in the Control of Fluid Dynamics of wells and risers in oil production systems”. **2nd IFAC Workshop on Automatic Control in Offshore Oil and Gas Production**, Florianópolis, Brasil. 27-29 de Maio, 2015. (Disponível em [www.nt.ntnu.no/users/skoge/prost/proceedings/offshore-control-2015/papers/0031.pdf](http://www.nt.ntnu.no/users/skoge/prost/proceedings/offshore-control-2015/papers/0031.pdf)), acesso em 30-Ago-2015.)

PORTALCOMUNICADORES do Youtube.com. Propaganda ensinando a usar o telefone de disco. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=KZErO6AWzN8>. Autoria e data de produção desconhecidas. Enviado em 13-Jan-2011 pelo canal PortalComunicadores. (1’08”) Acesso em 23-Jun-2015.



RASMUSSEN, J. Skills, rules, and knowledge; signals, signs, and symbols, and other distinctions in human performance models. **Systems, Man and Cybernetics, IEEE Transactions on**, n. 3, p. 257-266, 1983.

RASMUSSEN, J.; VICENTE, K.J. Coping with human errors through system design: implications for ecological interface design. **International Journal of Man-Machine Studies**, v. 31, n. 5, p. 517-534, 1989.

ROUSE, W. B.; e MORRIS, N. M. On looking into the black box: Prospects and limits in the search for mental models. (Relatório **DTIC #AD-A159080**) Atlanta, GA: Center for Man-Machine Systems Research, Georgia Institute of Technology, 1985. (Disponível em < <http://www.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a159080.pdf> >, acesso em 04-Mar-2016.)

ROUSSEAU, R. et al. The role of metacognition in the relationship between objective and subjective measures of situation awareness. **Theoretical Issues in Ergonomics Science**, v. 11, n. 1-2, p. 119-130, 2010.

SALMON, P.; STANTON, N.; WALKER, G.; e GREEN, D. Situation awareness measurement: A review of applicability for C4i environments. **Applied Ergonomics**, v. 37, n. 2, p. 225-238, 2006.

SALMON, P.; STANTON, N.; WALKER, G.; JENKINS, D.; LADVA, D.; RAFFERTY, L.; e YOUNG, M. Measuring Situation Awareness in complex systems: Comparison of measures study. **International Journal of Industrial Ergonomics**, v. 39, n. 3, p. 490-500, 2009.

SARTER, N.B; e WOODS, D.D. Situation Awareness: A Critical But Ill-Defined Phenomenon. **The International Journal Journal of Aviation Psychology**, v. 1, n. 1, p. 45-57, 1991. (Disponível em <[https://www.researchgate.net/profile/David\\_Woods11/publication/23818885\\_Situation\\_awareness\\_-\\_A\\_critical\\_but\\_ill-defined\\_phenomenon/links/0a85e53beec5b563c1000000.pdf](https://www.researchgate.net/profile/David_Woods11/publication/23818885_Situation_awareness_-_A_critical_but_ill-defined_phenomenon/links/0a85e53beec5b563c1000000.pdf)>.)

SATUF, E.N. **Fatores Humanos e Ergonomia Cognitiva em Supervisão e Automação de Plantas de Processamento de Petróleo.** Monografia (pós-graduação *lato sensu* em Engenharia de *Software*), orientador prof. Sergio Medeiros, Poli-UFRJ. 2008.

SATUF, E.N.; CAMPOS, M.C.M.M. DE; e SCHIRRU, R. Filtrando e Priorizando Alarmes em Tempo-Real: Sistema Avançado de Alarmes Inteligentes (SAAI). **Anais do XX Congresso Brasileiro de Automática**, Belo Horizonte, Brasil, 20 a 24 de Setembro de 2014.

SATUF, E.N.; KASZKUREWICZ, E.; SCHIRRU, R.; e CAMPOS, M.C.M.M. DE. Situation awareness measurement of an ecological interface designed to operator support during alarm floods. **International Journal of Industrial Ergonomics**, v. 53, p. 179-192, 2016. (doi: [10.1016/j.ergon.2016.01.002](https://doi.org/10.1016/j.ergon.2016.01.002))

SCHIRRU, R.; PEREIRA, C.M.N.A. A Real-Time Artificially Intelligent Monitoring System for Nuclear Power Plants Operators Support. **Real-Time Systems**, v. 27, n. 1, p. 71-83, 2004.

SILVA JR., N.C. DA; ARRUDA, L.A.B.; e CHULEK, M.J. Considerações sobre interfaces gráficas de sistemas supervisórios em instalações *offshore*. In: **Rio Oil&Gas Conference**, Instituto Brasileiro do Petróleo – IBP, Rio de Janeiro, 2014.

SKRAANING JR, G. et al. **The ecological interface design experiment (2005).** University of Toronto, Toronto, ON, Canada. Tech. Rep. CEL, p. 07-02, 2007. Disponível em <http://cel.mie.utoronto.ca/wp-content/uploads/CEL07-02.pdf>. acesso em 4-Ago-2015.

SORENSEN, L.J.; e STANTON, N. A. Is SA shared or distributed in team work? An exploratory study in an intelligence analysis task. **International Journal of Industrial Ergonomics**, v. 41, n. 6, p. 677-687, 2011.

STANTON, N.A. Situation awareness: where have we been, where are we now and where are we going?. **Theoretical Issues in Ergonomics Science**. 2010. V. 11, issues 1-2, p. 1-6. 2010.

STANTON, N.; CHAMBERS, P.R.G.; e PIGGOTT, J. Situational awareness and safety. **Safety Science**, vol. 39, p. 189-2094, 2001.

STEPHANE, L. Cognitive and emotional human models within a multi-agent framework. In: **Proceedings of the 7th international conference on Engineering psychology and cognitive ergonomics**. p. 609-618. Springer-Verlag, 2007. DOI: 10.1007/978-3-540-73331-7\_67. (Disponível em <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.101.8105&rep=rep1&type=pdf>), acesso em 4-Mar-2016).

TAYLOR, R.M. Situational Awareness Rating Technique(SART): The development of a tool for aircrew systems design. **AGARD, Situational Awareness in Aerospace Operations 17 p (SEE N 90-28972 23-53)**, 1990.

TAYLOR, R.M. Cognitive requirements in aircrew systems design. In: Hayward, Brent J.; Lowe, Andrew R. (Eds.). **Applied aviation psychology: Achievement, change and challenge. Proceedings of the Third Australian Aviation Psychology Symposium**. Gower Technical. Aldershot: Avebury. 1996.

TAYLOR, R.M et al. Situational Awareness, Trust, and Compatibility: Using Cognitive Mapping Techniques to Investigate the Relationships Between Important Cognitive Systems Variables. In: **AGARD Conference Proceedings – AGARD-CP-575**. AGARD, 1996.

THOMAS, J.E. (org.). **Fundamentos de Engenharia de Petróleo**. Rio de Janeiro, Brasil: Interciência, 2001.

UFRJ/COPPE-Nuclear/LMP – Laboratório de Monitoramento e Processamento. Fontes (privativos) em linguagem Fortran do **Sistema Avançado de Alarmes Inteligente** (subrotina PrioridadeDinamica e subrotina CalculaPrioridadeDinamica). Desenvolvido em convênio com a Petrobras. [Programa de computador] Rio de Janeiro, 2014.

URUGUAY, A.L.P.; e HIRATA, C.M. A Entropia de Shannon como Métrica de Consciência Situacional em Organizações de Agentes. **Instituto Tecnológico de Aeronáutica**, 2008. (Disponível em <[http://www.cos.ufrj.br/~ines/enia07\\_html/pdf/28004.pdf](http://www.cos.ufrj.br/~ines/enia07_html/pdf/28004.pdf)>, acesso em 4-Mar-2016.)

VEJA. O Mergulho na Selva. Revista **Veja**. (Acervo digital). Disponível por meio de <[veja.abril.com.br/acervodigital](http://veja.abril.com.br/acervodigital)>, edição de 13-Set-1989. Acesso em 29-Jun-2015.

VICENTE, K.J. **Cognitive work analysis: Toward safe, productive, and healthy computer-based work**. CRC Press, 1999.

VICENTE, K.J.; e RASMUSSEN, J. Ecological interface design: Theoretical foundations. **Systems, Man and Cybernetics, IEEE Transactions on**, v. 22, n. 4, p. 589-606, 1992.

WAAG, W.L.; e HOUCK, M.R. Development of criterion measures of situation awareness for use in operational fighter squadrons. **Situation Awareness: Limitations and Enhancement in the Aviation Environment**, p. 5, 1996.

WALKER, G.H.; WATERFIELD, S.; e THOMPSON, P. All at sea: An ergonomic analysis of oil production platform control rooms. **International Journal of Industrial Ergonomics**, v. 44, n. 5, p. 723-731, 2014. (doi: 10.1016/j.ergon.2014.08.001)

WICKENS, C.D.; MAVOR, A.S.; e MCGEE, J.P. (Eds.) **Flight to the Future**, National Academic Press, Washington, D.C., 1997. (Disponível em <<http://www.nap.edu/catalog/5493/flight-to-the-future-human-factors-in-air-traffic-control>>, acesso em 4-Mar-2016.)

WIENER, E. L. Human Factors of advanced technology (“glass cockpit”) transport aircraft. (NASA Contractor Report No. 177528.) Moffett Field, CA: NASA-Ames Research Center, 1989. (Disponível em <<http://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/19890016609.pdf>>, acesso em 4-Mar-2016.)

WU, X. et al. Validation of “alarm bar” alternative interface for digital control panel design: A preliminary experimental study. **International Journal of Industrial Ergonomics**, v. 51, p. 43-51, 2016. (doi: 10.1016/j.ergon.2014.11.002.)

XIAO, Y.; HUNTER, W.A.; MACKENZIE, C.F.; *et al.* Task complexity in emergency medical care and its implications for team coordination. **Human Factors** 38 (4), p. 636-645, 1996, apud LIU, e LI, 2012.

## APÊNDICE I – QUESTIONÁRIOS APLICADOS

### **Avaliação de Interface de Supervisão/Interface de Alarmes**

Esse questionário é parte de um projeto de pesquisa para avaliar diferentes tipos de interface operacional, ou seja, o supervísório (VXL, InTouch, etc.) com o objetivo de promover novos estilos de interface.

Há perguntas gerais, mas, em particular, estamos avaliando a **interface de alarmes**. Pedimos que responda a esse questionário de maneira franca.

Enfatizamos que é o **supervísório** que está sendo avaliado - não a operação. Não existem respostas “certas” nem “erradas”.

Para qualquer esclarecimento, você pode entrar em contacto com Eduardo **Satuf**, chave b002, t. **(21) 2162-6255** (ou ramal 712-6255, na Petrobras/CENPES), a quem o questionário deve ser devolvido.

As respostas são voluntárias e anônimas, mas pedimos que preencha a lista de participação.

Muito obrigado por sua colaboração!

### **Caracterização da População**

A1) Qual a sua função atual? (Campo? Sala de controle? Outro?)

A2) Quanto tempo de experiência na profissão?

A3) Conhece o supervísório VXL? Há quanto tempo?

A4) Qual o tipo de sua unidade (plataforma fixa, SS, FPSO, planta de tratamento)? Qual a produção aproximada de sua unidade? (Favor indicar quanto de gás e/ou de óleo.)

## Avaliação de Interface de Supervisão/Interface de Alarmes

[SAGAT]

(quest. I) Exercício: Partida do Trem B Despressurizado

Responda ao questionário **conforme as informações que você tinha** pela interface de supervisão durante o exercício.

Lembre-se que não é seu conhecimento de operação que está sendo avaliado, mas a interface.

1) Quando ocorreu o alarme devido à pressão alta (PAH) no separador de produção B, qual era a vazão aproximada na saída de gás desse separador?

- (a) Entre 35.000 e 50.000
- (b) Maior que 50 mil
- (c) Menor que 35 mil
- (d) Fluxo reverso ou fluxo nulo
- (e) NRA (ou Valor não observado)

2) Como se comportou o nível no **TO-B** ao longo do exercício?

- (a) Sempre dentro da faixa normal
- (b) Subiu e ficou em nível alto (LAH)
- (c) Subiu ativando o alarme (LAH) e normalizou em seguida
- (d) Muito instável (LAH e LAL)
- (e) Outro (favor especificar): \_\_\_\_\_

3) Como estava a pressão no **TO-B** ( $pTO$ ) em relação à pressão no separador de produção **B** ( $pSep$ ) quando houve o PAH no separador de produção B? Qual a implicação em relação ao objetivo do exercício?

- (a)  $pSep - pTO < 0$ , e era necessário que  $pTO$  diminuisse
- (b)  $pSep - pTO > 2,0$ , e era necessário que  $pSep$  diminuisse
- (c)  $|pSep - pTO| < 1,0$ , e era possível seguir com a manobra
- (d)  $|pSep - pTO| < 1,0$ , e era necessário parar com a manobra
- (e) NRA (ou valor não observado)

4) Qual a causa mais provável para o alarme de pressão alta ocorrido no separador de produção B?

5) Caso nada fosse feito, o que provavelmente ocorreria com o nível da interface água-óleo no **TO-B**?

- (a) Permaneceria na faixa normal de operação
- (b) Subiria indefinidamente
- (c) Subiria até o intertravamento atuar
- (d) Desceria até o intertravamento atuar
- (e) NRA (ou impossível prever)



## Avaliação da Interface de Alarmes

[SART]

(quest. II-A) Exercício: Partida do Trem B Despressurizado

Responda ao questionário marcando o número que melhor represente sua resposta.

1.

O quão instável é a situação? A situação é altamente instável e tende a mudar repentinamente (Alta) ou é bastante estável e clara (Baixa)?

Baixa      1      2      3      4      5      Alta

2.

O quão complicada é a situação? É complexa com muitos componentes inter-relacionados (Alta) ou é simples e direta (Baixa)?

Baixa      1      2      3      4      5      Alta

3.

Quantas variáveis estão tendo seus valores alterados na situação? Há um grande número de fatores variando (Alta) ou há poucas variáveis sendo alteradas?

Baixa      1      2      3      4      5      Alta

4.

A interface de alarmes permitiu a você estar vigilante? Permitiu acompanhar a seqüência de eventos, prever a evolução da situação e estar pronto para atuar (Alta), ou a interface de alarmes induzia um baixo estado de alerta sobre a situação (Baixa)?

Baixa      1      2      3      4      5      Alta

**5.**

Como sua atenção estava concentrada na situação? Você estava concentrado na situação e acompanhando a evolução (Alta) ou disperso entre a situação e outras ocorrências ao seu redor (Baixa)?

Baixa      1      2      3      4      5      Alta

**6.**

Como sua atenção estava distribuída na situação? A interface de alarmes permitia você concentrar-se nos aspectos mais relevantes da situação (Alta) ou induzia a concentrar-se em apenas um (Baixa)?

Baixa      1      2      3      4      5      Alta

**7.**

O quanto de (outras) novas informações seria possível tratar na situação? Seria possível atender a muito mais (3, 4) variáveis (Alta) ou não era mais possível atender para mais algumas variáveis (Baixa)?

Baixa      1      2      3      4      5      Alta

**8.**

Quanta informação você ganhou sobre a situação? Você recebeu uma boa quantidade de informação e a entendeu (Alta) ou pouca informação (Baixa)?

Baixa      1      2      3      4      5      Alta

**9.**

O quão familiar lhe era a situação? Você tinha bastante experiência com a situação, já a vira várias vezes (Alta) ou era uma situação inédita (Baixa)?

Baixa      1      2      3      4      5      Alta

**10.**

O quão útil foi a informação recebida? Ajudou a resolver a situação (Alta) ou você usou pouca ou nenhuma da informação recebida (Baixa)?

Baixa      1      2      3      4      5      Alta

Segue... ==>

**[SART-CC]**

**11.**

Ao usar a interface de alarmes, resolver a situação mostrou-se natural, automático, intuitivo e coerente (Baixo), ou necessitou de muita análise, raciocínio, conceituações ou pensamento muito abstrato (Alto)?

Baixa      1      2      3      4      5      Alta

**12.**

Ao usar a interface de alarmes, resolver a situação mostrou-se confuso e contraditório (Baixo), ou direto e compreensível (Alto)?

Baixa      1      2      3      4      5      Alta

**13.**

Ao usar a interface de alarmes, resolver a situação mostrou-se estranho e incomum (Baixa), ou fácil de reconhecer e familiar (Alta)?

Baixa      1      2      3      4      5      Alta

## Avaliação da Interface de Alarmes

[cs3]

(quest. III) Exercício: Partida do Trem B Despressurizado

Responda ao questionário marcando o número que melhor represente sua resposta.

1 = discordo fortemente

2 = tendo a discordar ou discordo parcialmente

3 = neutro

4 = tendo a concordar ou concordo parcialmente

5 = concordo fortemente

Segue... ==>

## Percepção

1) A interface utilizada ajuda a perceber **cada nova** ativação de alarme.

(a) Sem avalanche:

discordo    1    2    3    4    5    concordo

(b) Em avalanche:

discordo    1    2    3    4    5    concordo

2) A interface ajuda a perceber os valores das **variáveis relevantes** em relação aos alarmes ativos.

(a) Sem avalanche:

discordo    1    2    3    4    5    concordo

(b) Em avalanche:

discordo    1    2    3    4    5    concordo

## Compreensão

3) A interface ajuda a entender o **significado** de cada alarme (as causas do alarme, à qual anomalia o alarme se refere).

(a) Sem avalanche:

discordo    1    2    3    4    5    concordo

(b) Em avalanche:

discordo    1    2    3    4    5    concordo

## Projeção

4) A interface utilizada ajuda a **prever** a evolução do processo (normalização da situação ou seu agravamento).

(a) Sem avalanche:

discordo    1    2    3    4    5    concordo

(b) Em avalanche:

discordo    1    2    3    4    5    concordo

## APÊNDICE II – OUTRAS TÉCNICAS PARA AVALIAR A CONSCIÊNCIA SITUACIONAL

### II.1. Situational Awareness-Linked Instances Adapted to Novel Tasks (SALIENT)

A *Situational Awareness-Linked Instances Adapted to Novel Tasks (SALIENT)* é voltada para medir a CS de equipes. A metodologia requer cinco fases: os comportamentos da equipe em relação à CS; desenvolver os cenários; definir as respostas aceitáveis; escrever um roteiro; e criar um formulário estruturado com colunas para cenários e respostas.

Cenários, respostas, roteiros e formulários para essa metodologia devem ser desenvolvidos para cada tarefa da equipe.

### II.2. China Lake Situational Awareness (CLSA)

A *China Lake Situational Awareness (Consciência Situacional à China Lake, Califórnia, EUA)* é uma escala de cinco pontos projetada para medir (subjetivamente) a CS de pilotos durante o voo. A escala contém os pontos: muito ruim (*very poor*, 5), ruim, adequado, bom e muito bom (*very good*, 1). A escala é apresentada na Tabela II.1.

Tabela II.1 – Escala CLSA (GAWRON, 2008)

Valor	Significado
1 MB	Conhecimento completo do ambiente tático e da missão. Habilidade plena de prever e acomodar tendências. (Sem necessidade de descartar tarefas.)
2 Bom	Conhecimento completo do ambiente tático e da missão. Habilidade parcial de prever e acomodar tendências. (Sem necessidade de descartar tarefas.)
3 Adeq.	Conhecimento completo do ambiente tático e da missão. Habilidade saturada de prever e acomodar tendências. (Descarte de algumas tarefas de menor importância.)
4 Ruim	Conhecimento razoável do ambiente tático e da missão. Habilidade saturada de prever e acomodar tendências. (Descarte de todas as tarefas de menor importância.)
5 MR	Conhecimento mínimo do ambiente tático e da missão. Habilidade supersaturada de prever e acomodar tendências. (Descarte de todas as tarefas não essenciais à missão.)

### II.3. Crew Awareness Rating Scale (CARS)

A *Crew Awareness Rating Scale* (CARS, Escala de Avaliação de Consciência de Tripulação) é uma medida subjetiva com oito escalas que são avaliadas entre 1 (melhor valor) e 4 (pior valor). O próprio participante responde ao questionário, mostrado na Tabela II.2.

Tabela II.2 – CARS (GAWRON, 2008) – editado

<b>Percepção</b> A assimilação de informação nova.	<b>Valor</b> (1=ideal; 4=pior caso)
1. O conteúdo da percepção – é confiável e acurado?	
2. O processamento da percepção – é fácil de manter?	
<b>Compreensão</b> O entendimento da informação no contexto.	<b>Valor</b> (1=ideal; 4=pior caso)
3. O conteúdo da compreensão – é confiável e acurado?	
4. O processamento da compreensão – é fácil de manter?	
<b>Projeção</b> A previsão de possíveis evoluções futuras.	<b>Valor</b> (1=ideal; 4=pior caso)
5. O conteúdo da projeção – é confiável e acurado?	
6. O processamento da projeção – é fácil de manter?	
<b>Integração</b> A síntese dos itens anteriores com o curso da própria ação.	<b>Valor</b> (1=ideal; 4=pior caso)
7. O conteúdo da integração – é confiável e acurado?	
8. O processamento da integração – é fácil de manter?	

McGuinness, e Ebbage (2002) apresentam uma aplicação dessa técnica de medição subjetiva para comparar a utilização de uma nova tecnologia digital (mapa computadorizado e mensagens de texto) com a utilização de comunicação por voz por um rádio comum, em um exercício militar de reconhecimento de terreno. O questionário foi respondido pelos participantes (militares) a cada 40 minutos ao longo de uma simulação, com duração de 2 horas, de uma missão de reconhecimento.



#### **II.4. Situational Awareness Supervisory Rating Form**

A *Situational Awareness Supervisory Rating Form* (Formulário de Avaliação Supervisória de Consciência Situacional) ou *Situation Awareness Rating Scales* (SARS) foi desenvolvida para medir subjetivamente a CS de pilotos de caça. O formulário tem itens abrangendo desde características gerais (disciplina, habilidade de raciocínio) até detalhes táticos (reação defensiva, avaliação de ameaças). A avaliação de cada item é feita numa escala de 1 a 6 (1, 2, aceitável; 3, 4, bom; 5, 6, excepcional) por supervisores e por pares. É relatado que a correlação entre a avaliação dos supervisores e dos pares é alta (+0,85) (WAAG, e HOUCK, 1996).

#### **II.5. Quantitative Analysis of Situational Awareness (QUASA)**

A *Quantitative Analysis of Situational Awareness* (QUASA, Análise Quantitativa da Consciência Situacional) (MCGUINNESS, 2004) (SALMON *et al.*, 2006) combina auto-avaliação com questionamento ao longo do teste a fim de avaliar a consciência situacional real e a percebida num ambiente militar de controle e comando.

Os participantes são questionados sobre sua CS durante o desenrolar da tarefa, com respostas “Verdadeiro” ou “Falso”, e, simultaneamente, sobre sua confiança em suas respostas (“muito baixa” a “muito alta”). É uma medida subjetiva.

#### **II.6. Process Indices**

Salmon *et al.* (2006) define ainda a categoria *Process Indices* (Índices de Processo) abrangendo métodos que envolvam o registro do processo que os participantes utilizam para desenvolver a consciência situacional.

Um exemplo é o emprego de um dispositivo de rastreamento visual (*eye-tracker*), que registra e mede os movimentos dos olhos do participante durante a execução de uma tarefa, permitindo verificar onde os olhos se fixam e por quanto tempo, o que daria uma estimativa de como o participante divide sua atenção. São citadas desvantagens como a sua natureza de medição indireta, dificuldades na

utilização do dispositivo e a ocorrência de “olhar sem ver”, quando o participante fixa os olhos em um elemento, mas, na realidade, não com atenção.

Outro método de índice de processo é a análise de protocolo verbal (Verbal Protocol Analysis, VPA), que envolve a transcrição do comportamento do operador enquanto executa a tarefa e pensa “em voz alta”. Lee (2012) propõe um caso particular de VPA e sua aplicação.

**ANEXO – ARTIGO PUBLICADO**

**Situation awareness measurement of an ecological interface designed  
to operator support during alarm floods**

Eduardo Navarra Satuf

Eugenius Kaszkurewicz,

Roberto Schirru

Mario Cesar Mello Massa de Campos

**International Journal of Industrial Ergonomics, v. 53, p. 179-192, 2016.**

<http://dx.doi.org/10.1016/j.ergon.2016.01.002>

Reconhecimento: Incluído por permissão de Elsevier B.V.  
(*Acknowledgement: Included by permission of Elsevier B.V.*)



## Situation awareness measurement of an ecological interface designed to operator support during alarm floods



Eduardo Navarra Satuf <sup>a,\*</sup>, Eugenius Kaszkurewicz <sup>b</sup>, Roberto Schirru <sup>b</sup>,  
Mario Cesar Mello Massa de Campos <sup>a</sup>

<sup>a</sup> Petrobras Research and Development Centre, Rio de Janeiro 21941-915, Brazil

<sup>b</sup> Alberto Luiz Coimbra Institute for Graduate Studies and Research in Engineering, Federal University of Rio de Janeiro, Rio de Janeiro 21941-972, Brazil

### ARTICLE INFO

#### Article history:

Received 19 June 2015

Received in revised form

14 December 2015

Accepted 6 January 2016

Available online xxx

#### Keywords:

Alarm flood

Alarm interface

Situation awareness

Ecological interface design

### ABSTRACT

Alarm summary interfaces are lists of chronologically sorted alarms used in oil producing supervision programs for decades. When a great number of alarms are activated in a small interval of time – that is, an alarm flood – alarm summary ceases to be as useful to understand the process situation. New alarm systems and interfaces are necessary to support operators' decision when dealing with such alarm floods. Situational awareness is an important concept for process operators when making decisions. The application of Ecological Interface Design concepts can lead to better interface designs, especially in unanticipated situations. The aim of this work is to verify the usefulness of a new ecological alarm interface, called Advanced System of Intelligent Alarms (SAAI, the Portuguese acronym). SAAI displays alarms prioritised in real-time with relevant graphical information on process conditions. Professional operators' situational awareness is measured when using either the SAAI interface, or the alarm summary interface, connected to a dynamic simulator running a model of an oil production process. Measurement techniques used include objective and subjective rating approaches, and a proposed technique. Operators' situational awareness for SAAI interface has shown greater values under all techniques used, compared to alarm summary interface. Although the new interface implied that operators would have to look also at an extra monitor, results show that their situational awareness improved on average, and that situational awareness might be less impaired under alarm floods.

*Relevance to industry:* Situation awareness plays an important role in operators' decision-making process. Alarm systems are critical in complex process operation, and alarm floods may impair operators' decisions. A new alarm ecological interface designed to maintain operators' situational awareness under alarm floods may mean an improvement in operation safety and efficiency.

© 2016 Elsevier B.V. All rights reserved.

## 1. Introduction

Operators are a line of defence when anomalies occur within processes like oil production or oil refining. A typical way of resorting to operators is alarming: when the supervision and control system detects an anomaly that might lead to a loss of control, it activates an alarm to call operators' attention. Operators, then, should have been trained to react accordingly to that alarm – and an alarm only makes sense if operators have enough time to respond to it (EEMUA, 2007). Technical conditions satisfied, operators can be accounted as a layer of protection for the process, as

defined in risk assessment methodologies (CCPS, 2001) (Myers, 2013).

### 1.1. Alarm summary and alarm system interface

A common interface to see the active alarms is the alarm summary (Fig. 1): a window containing a list of alarms, sorted by time with the most recent one at the top. A priority may be assigned to each alarm, during the design process, and may be represented by a respective colour.

Sometimes, many anomalies occur concurrently – some independently of others, and some of them as a consequence of the others. In that situation, the activation of alarms may be faster than the operators' ability to respond to them – that is an alarm flood (EEMUA, 2007).

\* Corresponding author.

E-mail address: [satuf@petrobras.com.br](mailto:satuf@petrobras.com.br) (E.N. Satuf).

PAH123318	GLICOL NO REBOILER	14:38:20,72	12-FEB-2015
PALL122329B	LL - SG-122301-B	14:29:37,64	12-FEB-2015
ALM_QUEIMAGAS	VALVULA PVI22377 ABRINDO.QUEMA DE GAS	14:29:36,63	12-FEB-2015
YLHB51102A	BOMBA DA DESABRADORÁ B51102A PARADA	14:29:35,63	12-FEB-2015
TCPARADO23	DOTS OU MAIS TCS PARADOS	10:17:26,71	12-FEB-2015
PAH1251104A	PRESSAO ALTA OLBO LUB. BB INJ. AGUA A	10:17:26,71	12-FEB-2015
PAH1251104B	PRESSAO ALTA OLBO LUB. BB INJ. AGUA B	10:17:26,71	12-FEB-2015
PAH1251104C	PRESSAO ALTA OLBO LUB. BB INJ. AGUA C	10:17:26,71	12-FEB-2015
PAH1251104D	PRESSAO ALTA OLBO LUB. BB INJ. AGUA D	10:17:26,71	12-FEB-2015
PAH1251104E	PRESSAO ALTA OLBO LUB. BB INJ. AGUA E	10:17:26,71	12-FEB-2015
CHAM1B_DET	Forno B Chama 1 Apagada	10:17:26,71	12-FEB-2015
CHAM2B_DET	Forno B Chama 2 Apagada	10:17:26,71	12-FEB-2015
CHAM3B_DET	Forno B Chama 3 Apagada	10:17:26,71	12-FEB-2015
CHAM4B_DET	Forno B Chama 4 Apagada	10:17:26,71	12-FEB-2015
CHAM5B_DET	Forno B Chama 5 Apagada	10:17:26,71	12-FEB-2015
CHAM6B_DET	Forno B Chama 6 Apagada	10:17:26,71	12-FEB-2015
FALHA1PBPROC	FALHA COMUNICACAO TCP/IP CPU PROCESSO	10:17:26,71	12-FEB-2015
FALHA1PBPLAST	FALHA COMUNICACAO TCP/IP CPU LASTRO	10:17:26,71	12-FEB-2015
FALHA1PBEFG	FALHA COMUNICACAO TCP/IP CPU POGORGAS	10:17:26,71	12-FEB-2015
FALHA1PBELET	FALHA COMUNICACAO TCP/IP CPU ELETTRICA	10:17:26,71	12-FEB-2015
FALHA1PBPROC	FALHA COMUNICACAO TCP/IP CPU PROCESSO	10:17:26,71	12-FEB-2015
FALHA1PALAST	FALHA COMUNICACAO TCP/IP CPU LASTRO	10:17:26,71	12-FEB-2015
FALHA1PAPFG	FALHA COMUNICACAO TCP/IP CPU POGORGAS	10:17:26,71	12-FEB-2015
FALHA1PAELET	FALHA COMUNICACAO TCP/IP CPU ELETTRICA	10:17:26,71	12-FEB-2015
BAL5125101B	CHAMA APAGADA NO PORNO 01B	10:17:26,70	12-FEB-2015
BLOCO_ESD	PERDA DE BLOCO - ESD	10:17:26,70	12-FEB-2015
YLHUC122301B1	UC122301B PARADO PRESSURIZADO	10:17:25,70	12-FEB-2015
ZSL541204	FALHA VALVULA SISTEMA DA TOCHA	10:17:25,70	12-FEB-2015
ZSL541202	FALHA VALVULA SISTEMA DA TOCHA	10:17:25,70	12-FEB-2015
YLHUC122301A1	UC122301A PARADO PRESSURIZADO	10:17:25,70	12-FEB-2015
TAH512404	TEMPERATURA ALTA SIST.AGUA RESPRIAMENTO	10:17:25,70	12-FEB-2015
PALL122337	SEPARADOR DE TESTE (SG-122302)	10:17:25,70	12-FEB-2015
PAL121009	PRESSAO BAIXA NO HEADER HIDRAULICO LP	10:17:25,70	12-FEB-2015
PAL122316	HEADER DE TESTE	10:17:25,70	12-FEB-2015
PAL122351B	DESCARGA B-122301-B (TRANSF. B)	10:17:25,70	12-FEB-2015
PAL122351C	DESCARGA B-122301-C (TRANSF. C)	10:17:25,70	12-FEB-2015
PAL122351D	DESCARGA B-122301-D (TRANSF. D)	10:17:25,70	12-FEB-2015
PAL122351E	DESCARGA B-122301-E (TRANSF. E)	10:17:25,70	12-FEB-2015

Fig. 1. Illustration of an alarm summary.

When operating under an alarm flood, the alarm summary interface may impair an adequate operator's response (Laberge et al., 2014): the operators become unable to read the alarms and to deal with them because of the large number of alarms, the rate that the alarms are displayed, and the little time available to respond to all alarms. This may lead to operators having not enough understanding of the process status and, thus, underperforming in decisions, compromising efficiency and safety.

Several concurrent alarms mean that there will be concurrent tasks, each one with a limited time to be dealt with. Concurrent tasks create challenges to coordinate the execution of tasks (Xiao et al., 1996 apud Liu and Li, 2012). Simultaneous presentation (of multiple alarms, for example) presumably leads to higher information load. Operators (the task performers) show worse performance in information selection, and decision efficacy under time pressure, as in situations that need fast and accurate responses (e.g., troubleshooting processes) (Liu, and Li, 2012).

It has been observed that, when operating under an alarm flood, the operator may abandon the alarm summary interface, and turn to look at the operating windows, navigating through the process, trying to understand the scenario. The alarm summary is not of help anymore. Besides, the relative priorities decided during design and alarm system configuration may not be the relative priorities that should be assigned to the alarms in a given operating situation.

An alarm interface should help operators to understand the situation and to respond to the alarms, the ones of greater priorities first. Those priorities might be given in real-time, based on pre-assigned priorities. This alarm interface should be always visible, displayed on a dedicated monitor.

Operators would have to look at that extra monitor, besides the operating monitor, but this effort might bring improvements on their situation awareness (as defined in Endsley (1995a)) and decision making. That interface might turn operations safer and avoid shutdowns caused, at least in part, by the excess of alarms and high workload. Thus, there might be returns in safety and in revenues.

SAAI, a new alarm system that dynamically assigns real-time priorities to alarms, was developed by the Alberto Luiz Coimbra Institute for Graduate Studies and Research in Engineering of the Federal University of Rio de Janeiro (UFRJ/COPPE), in association with Petrobras, the Brazilian major oil company. SAAI is the

Portuguese acronym for Advanced System of Intelligent Alarms. SAAI, besides assigning real-time priorities, displays the alarms with related process variables to help operator's situation awareness (SA). Ecological Interface Design (EID) (Rasmussen, and Vicente, 1989) was an approach of reference to SAAI interface design. An experiment to assess operator's situation awareness using SAAI was performed at a dynamic simulation environment, called AmbTrei (Portuguese acronym for Training Environment), where professional operators attend to refresher courses.

## 1.2. Situation awareness

Process supervising operators work in control rooms, which is a dynamic environment, since process variables and conditions vary, and operators are supposed to monitor the process and to actuate to keep it working adequately.

An important role in human decision making in a dynamic environment like process control and supervising is played by operator's situation awareness (SA). As defined by Endsley (1995a):

"Situation awareness is the perception of the elements in the environment within a volume of time and space, the comprehension of their meaning, and the projection of their status in the near future."

That definition express three levels of SA (Endsley, 2015) (Endsley, 1995a):

Level 1: Perception of the relevant elements of the environment. Process operators need to perceive process conditions. They need to perceive alarms and process data – the process variables values, like fluid levels of tanks, oil flow values, valve status, etc.

Level 2: Comprehension of data meaning. Operators need to integrate the disjoint data perceived to understand the current process situation. It is necessary to know if the tank levels are normal, low or high, if oil is flowing as it should, if valves are opening and closing, and, in synthesis, if the process is under control or not, and if it is attending the predefined goals.

Level 3: Projection in the near future. To make a better decision, operators need to foresee what the process status will be in the next several minutes, both in case no action is taken as well as a

certain action is taken.

The three levels of SA should not be understood as sequential or linear stages. The three levels represent ascending levels of (better) SA: having comprehension of a given situation means a better SA than only having perception of data (Endsley, 2015).

Although this definition refers to an individual, situation awareness could also be thought of as a property that emerges through interaction between individuals, as a team, and the system. See, for example, the work by Sorensen, and Stanton (2011).

Operating interfaces should help operators to perceive, comprehend and project the status of the process under their supervision.

### 1.3. Ecological interface design approach

The Ecological Interface Design (EID) approach may be summarised as follows (based on (Rasmussen, and Vicente, 1989)):

- 1) Integration of control and observation screens, valuing trend graphics of important variables;
- 2) Consistent relationship between important process properties and values provided by the interface;
- 3) Visualization of process relational structure to support knowledge-based processing.

“Ecological interfaces” should support fast perception and correct interpretation of the real-time information (Skraaning Jr. et al., 2007), preventing the operator to stick to a given task being performed. The term “ecological” derives from the ecological approach to psychology, as explained in (Rasmussen, and Vicente, 1989).

An interface designed under the EID approach should dynamically combine available information to help fast perception, comprehension and projection of process status (Burns et al., 2008) and, consequently, to help in the decision making process. The Ecological Interface Design permits a better understanding of the physics of the process.

Research on operating interfaces for nuclear power plants indicates that ecological interfaces enhance situational awareness, compared to traditional interfaces, in situations unanticipated neither by designers nor by procedure writers (Burns et al., 2008). There is no reason to believe that it would be different for other applications in the same “process supervision and control” domain. In fact, research shows that ecological interface design can be applied to the domain of petrochemical processing (Jamieson, and Vicente, 2001) (Jamieson, 1998), which is similar to the domains of petroleum production or refining. Ecological interfaces might still include task-based information and provide better operators' performance (Jamieson, 2007) (Jamieson, 2003).

Thus, it is important to rethink alarm systems interface design to enhance operators' situational awareness and allow, as much as possible, that knowledge-based tasks turn into rule-based tasks (which require lower cognitive effort). Interfaces with ecological characteristics may be a way to achieve that goal.

## 2. Materials and methods

### 2.1. Objective

The object of this work was to assess the situation awareness of operators using two different alarm interfaces: the existent alarm summary interface (as it is used on operation of oil production platforms), and the new alarm interface. The new interface was implemented as part of the Intelligent and Advanced System of process Alarms or SAAI (the Portuguese acronym).

### 2.2. Alarm summary interface

When an alarm is activated, it is indicated in operating windows, and a respective textual description of the alarm is displayed in an alarm sub-window, on the top of each operating window (see Fig. 2). Only the most recently activated alarm is seen in the alarm sub-window.

To see all active alarms (acknowledged or not), the operator opens the alarm summary window. In this alarm summary interface, a list is displayed containing in each line an alarm tag (the alarm code), the alarm textual description, and the date and time of the occurrence (Fig. 1). The alarms can be sorted chronologically, by priority, or by tag.

Once activated, the alarm is shown in the alarm summary until the alarm is acknowledged by the operator and the respective condition is normalised (in some cases, the alarm is automatically acknowledged).

The operators can scroll pages up and down along the list of active alarms. Operators can acknowledge alarms, one at a time, in the alarm sub-window. Alarms can also be acknowledged in the alarm summary window, one at a time, all visible alarms, or all alarms at once.

Briefly, there are two subsets of alarms: alarms for shutdown signals; and alarms for deviation of a process variable beyond design limits (which are the most frequent alarms during operation). The shutdown signal alarms have priority 1 (the highest) when activated. When they are acknowledged, priority 3 is assigned to the shutdown alarms. The deviation alarms have priority 2 when activated, and priority 4 is assigned to them when they are acknowledged.

Thus, when sorted by priority, alarms that were not acknowledged are displayed at the top, above the acknowledged alarms. In each group, the most recent alarms come first. It is not uncommon that many alarms are active simultaneously along several screen pages. Since all deviation alarms have the same priority after acknowledgement, there is little information to select which alarm would be the first to be responded while process is under operation, especially when an alarm flood occurs.

### 2.3. New alarm system

A new alarm system was developed that dynamically assigns real-time priorities according to the allowable response time (ART)

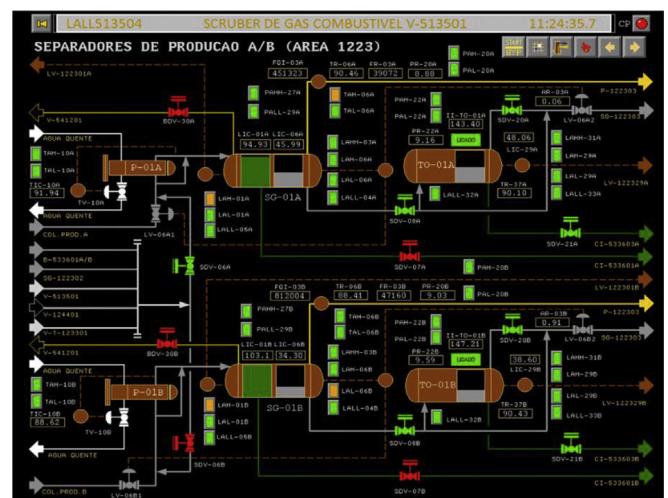


Fig. 2. Operating interface for production trains (image edited).

to each alarm and according to the impact of the anomaly. The new system is known as SAAI, the Portuguese acronym for Intelligent and Advanced System of process Alarms. The prototype of the SAAI interface is described in this section.

The main goal of SAAI is to dynamically prioritise the alarms, in real-time, as they occur, and to display these alarms with related process variables to give a more holistic view of the process conditions.

SAAI is said to be “advanced” since it works as a complement to the supervision and operating software (the supervisory program), and “intelligent” because it is able to process logically the information (variables and alarms) coming from the supervisory program (Satuf et al., 2014).

### 2.3.1. Prioritization algorithm

Alarms of the supervisory system are selected to be configured in SAAI from the most frequent and/or most hazard ones. A basic priority and an allowable response time are assigned to each alarm when it is configured in SAAI. The priority is based on the consequence of no action taken after the alarm is activated, and on the allowable response time. The allowable response time (ART) is the maximum time between the annunciation of the alarm and the time the operator must take a corrective action to avoid the undesirable consequence (ANSI/ISA, 2009).

The alarm basic priority is either “low”, “medium”, “high”, or “critical”. According to (EEMUA, 2007), around 80% of the alarms should have low priority, 15% of them should have medium priority, and the high priority should be assigned to 5% of the alarms at most. Besides, at most 20 alarms might be assigned the critical priority. It is worth to note that alarm prioritisation is an important task that can affect operators' workload (Walker et al., 2014).

When several alarms occur in a short period of time, chances are that many of them will be of the same basic priority, probably the low priority. Operators would have to trust in their experience and knowledge to select which alarm to respond – the alarm basic prioritization alone would not help much.

Besides, for example, a basic “low” priority could be assigned to an alarm because of an initially large time available to respond. However, as time evolves, the priority might have to increase to “medium” priority (or even to “high” priority). Alarm systems in use do not update alarm priority according to the elapsed time.

SAAI initially assigns a numeric real-time priority to an activated alarm within the basic priority range according to Table 1. SAAI, then, updates the real-time priority of the alarm upon each processing cycle, and sorts all alarms according to the real-time priority, and the most important alarms are displayed at the top.

Alarmed anomalies have an allowable response time (ART) of up to 1 h. An ART is assigned to each alarm configured in SAAI. From 10 min to 1 h, it is viewed as a “long” ART; from 3 min to 10 min, it is a “medium” ART; and less than 3 min is a “short” ART (see Table 2).

In SAAI, a real-time priority (RTP) curve is defined for each alarm, according to the desired priority behaviour as time evolves, and the time available to respond (TAR) decreases and goes from long to medium, and from medium to short. An example is seen in Fig. 3 for alarms with (named) priority that should go from low to medium priority when time available reaches 10 min, and from

**Table 2**  
Categories of allowable response time.

Allowable response time	Category
Up to 3 min	Short
3 min to 10 min	Medium
10 min to 60 min	Long

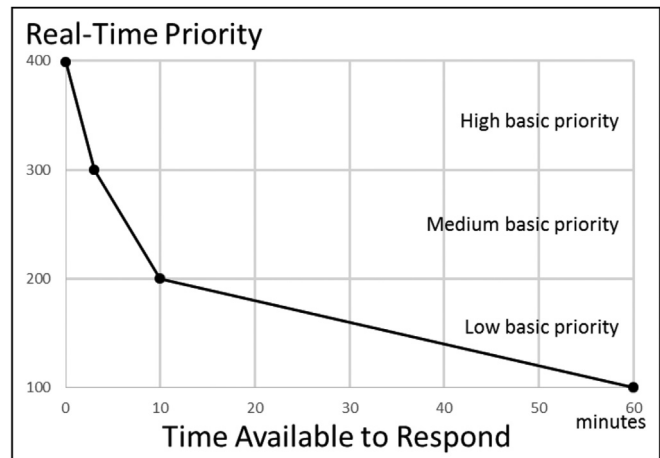


Fig. 3. Example of a real-time priority curve.

medium to high priority when time available reaches 3 min. An alarm that has an allowable response time of 60 min is initially assigned a real-time priority of 100 when activated. Note that, initially, TAR equals ART. An alarm (e.g., almP), with an ART of 15 min, is initially assigned a real-time priority of 190. As the respective TAR decreases, the RTP increases, reaching 200 when time available is 10 min, reaching 300 when time available reaches 3 min, and reaching 399 when there is no time available anymore.

Another alarm (e.g., almQ), with an ART of 20 min, activated after almP, would have a real-time priority of 180, less than the one for almP – since the TAR is greater than for almP – and would come after almP in SAAI interface, despite almQ being activated more recently.

Yet another alarm (almR) could also have an ART of 20 min, but a basic “medium” priority (because of the greater impact of its consequences), following another real-time priority curve. Being activated after almP is activated – but while almP is in the “low” band (Fig. 3) –, almR would be displayed above almP in SAAI interface (even though almR would have a greater TAR) because this almR would start at a greater real-time priority.

### 2.3.2. SAAI interface functionalities

Operators faced with an alarm flood may not consider the alarm summary and turn to look at the operating windows, navigating through the process, trying to understand the scenario. SAAI interface, shown in Fig. 4, is designed to help operators in that situation, as they would consult a single window and see the information needed to understand the process conditions and make a decision.

SAAI has a monitoring interface to display prioritized alarms. The interface comprises three main sections (Satuf et al., 2014):

- The upper section, displaying the seven most important alarms at current time, prioritised in real-time. Note that these alarms are sorted by a real-time priority, not chronologically: a newly

**Table 1**  
Real-time priority range.

Basic priority	Real-time priority
Low	100–199
Medium	200–299
High	300–399
Critical	400–499

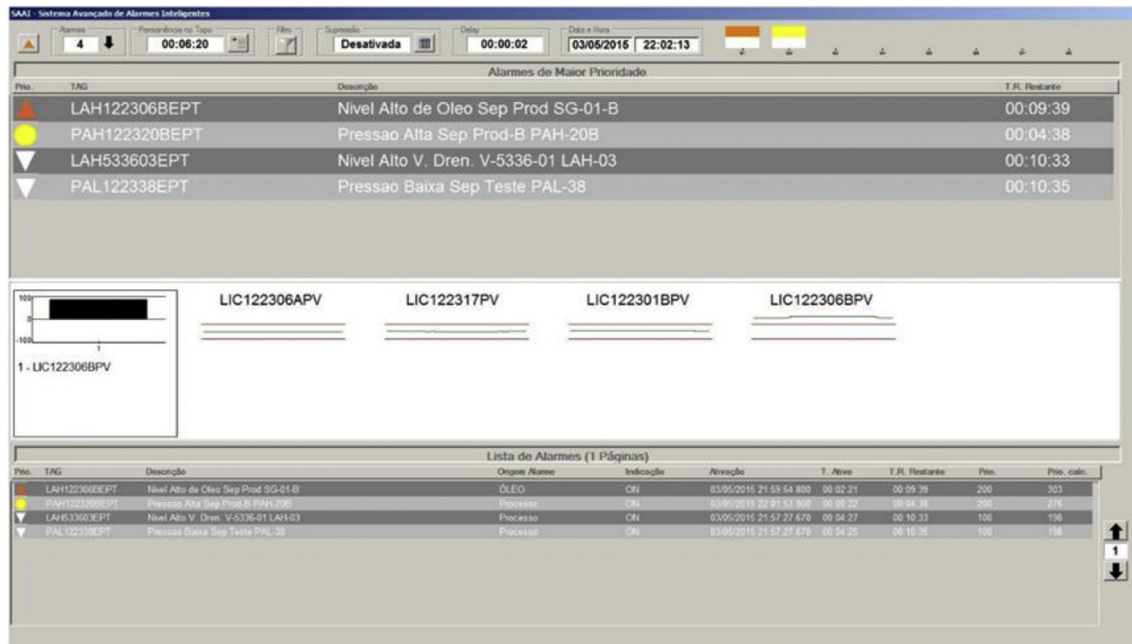


Fig. 4. Illustration of SAAI interface.

activated alarm may get to the top position or not, depending on its calculated RTP.

- b) The central section, displays graphical information, especially trend graphics, related to the topmost priority alarm.
- c) The lower section, displaying the complete list of SAAI alarms.

An alarm flood means that several process anomalies, correlated or not, are occurring almost simultaneously. An alarm flood is a moment of stress for the process, for the plant, in which equipment pieces are being strongly demanded, and for the operator, who needs to decide what to do in order to bring the process back to normal condition and/or to avoid major consequences. The upper section shows only the seven alarms with greatest priority to diminish operators' stress, helping them to select which alarm to attend.

The interface also shows auxiliary information on the top: the quantity of active alarms in SAAI, for how long the topmost alarm is at the top, and the current date and time. The alarms can be grouped, each group comprising, for example, an equipment area or a plant area. On the top right side, a graphical summary of alarms per group is shown.

Each alarm line shows the icon of the alarm priority (indicating whether it is a critical, high, medium or low priority alarm), the alarm tag, the alarm textual description and the time left to respond to the alarm (*i.e.*, the time available to respond – TAR). In the lower section, the numeric real-time priority and other details are shown.

There is no acknowledgement command. An alarm is displayed as long as it is active, *i.e.*, as long as the respective condition is not normal. Once the alarm condition is normalised, the alarm is deleted from the SAAI interface (although it may still be displayed in the alarm summary, if not acknowledged). This way, operators do not have to acknowledge alarms twice, and, this way, SAAI interface only displays active alarms. It should be noted that SAAI is meant to work connected to the current supervising software – SAAI is not an operating interface, it is a monitoring interface to display process alarms.

It is also possible to display graphical information for any alarm, besides the topmost one. When any alarm is selected by the

operator (with a mouse click), the graphical information of that alarm is displayed side by side with the main window, without hiding any important information.

SAAI interface seeks to synthesise the information needed as graphics on a single screen, giving as much as possible, a holistic vision to the operator, providing support to his decision. The relevant process properties (variables) are made visible showing their relationship with the topmost alarm, trying to make explicit a reference model of related variables that would help the operators to build their own mental model. Those are important characteristics from an EID perspective.

In addition, SAAI can show the status of the currently relevant portion of the process without restricting operators' response.

#### 2.4. Situation awareness metrics

Adapted versions of two situation awareness measurement techniques were used for the evaluation of a prototype of SAAI interface and of the alarm summary interface: Situational Awareness Global Assessment Technique – SAGAT (Endsley, 1995b), and Situational Awareness Rating Technique – SART (Taylor, 1990). Those are the two most popular methods in the pertinent literature to measure situation awareness (Salmon et al., 2009). Those methods were adapted and translated into Portuguese to be applied within a five-day operator refresher training, along 3 h of a morning class.

In addition, two questionnaires to assess the interface itself were submitted to the operators: Cognitive Compatibility SART – CC-SART (Taylor, 1996), and a proposed one, “cs3” (short for Situational Awareness three level assessment, in Portuguese).

##### 2.4.1. SAGAT

The SAGAT is a freeze-probe technique to measure situation awareness based on stopping a process simulation (“freezing” it) and submitting to operators a questionnaire assessing all SA levels (perception, comprehension, and projection) (Salmon et al., 2009) (Endsley, 1995b). Operators should not look at the interface while answering the questionnaire. They answer based on their SA as it



was right before stopping the simulation. After the operators complete the questionnaire (or after a given time), simulation is resumed. Several random stop-points (“freezes”) may be used.

The questionnaire is prepared specifically for a given task. For this investigation, a questionnaire of five questions is applied: four multiple-choice questions and one open question (the fourth). A translation of the questionnaire from Portuguese is shown on Table 3 (see Section 2.7 for a description of the scenario). The answers of each operator are evaluated as either correct or incorrect, and a score is given, which would reflect the operator's situational awareness.

As a freeze-probe technique, SAGAT is alleged direct and objective, but is intrusive on the task performance (Salmon et al., 2009). In this work, a simplified variance of SAGAT was used: the simulation was stopped only once, that is, there was no freezing and resuming, and the questionnaire was submitted right after.

#### 2.4.2. SART

Another technique used, SART, was developed as a subjective SA rating technique, based on the definition of the situational awareness as “the knowledge, cognition and anticipation of events, factors and variables affecting the safe, expedient and effective conduct of the mission” (Taylor et al., 1996). A parallel might be made to the three levels of Endsley's model: knowledge, cognition and anticipation as perception, comprehension and projection.

Three components are examined under SART: the attentional demand, the attentional supply, and the understanding. Those components comprises ten dimensions, giving the 10-D SART questionnaire. Table 4 (Kennedy, and Durbin, 2005) shows the standard SART queries. Each query is answered in a scale from “low” to “high”.

It was proposed that SA would depend on the difference between attentional demand and supply subtracted from understanding, i.e., if the demand were greater than the supply, this value would be subtracted from the understanding, resulting in a lower SA (and vice-versa). Formula 1 gives the expression for SA where  $U$  is the summed understanding,  $D$  is the summed demand and  $S$  is the summed supply (Kennedy, and Durbin, 2005).

$$SA = U - (D - S) = U + S - D \quad (1)$$

#### 2.4.3. CC-SART

Cognitive Compatibility SART (CC-SART) is also a subjective self-report technique. Cognitive compatibility (CC) is the display of information in a way that is consistent with mental processes, “in the widest sense” (Taylor, 1996). In other words, the display should be compatible with operator's cognition.

There are three main dimensions for CC (Taylor, 1996), which are queried to operators after execution of the task:

- a) Level of Processing (LoP): a degree between “low” for natural, automatic processing and “high” for analytic, abstract processing;

- b) Ease of Reasoning (EoR): a degree between confusing and contradictory (“low”), or straightforward and understandable (“high”); and
- c) Activation of Knowledge (AoK): a degree between unusual (“low”) and familiar (“high”).

Formula (2) is used to find the cognitive compatibility of the interface being used with the operator's mental processes, in a manner similar to SART, and it might be translated as CC being “ease of processing with appropriate expectations” (Taylor, 1996).

$$CC = AoK + EoR - LoP \quad (2)$$

#### 2.4.4. CS3

The proposed method, cs3, is also subjective and self-report. The cs3 questions are loosely based on CARS (Crew Awareness Rating Scale) (Gawron, 2008), but cs3 was developed independently and is answered on a different scale, that ranged from “strongly disagree” to “strongly agree” (see Table 5). The four questions of cs3 intended to apprehend how much the operator agrees that a given interface would help with perception of new alarms, and with perception of relevant variables (first two questions), with the comprehension of the situation, and with the ability to foresee the process evolution (projection). Each question was answered twice, so as the operator would consider each situation: operation without alarm flood, and operation under the occurrence of an alarm flood. Those answers were normalised.

Two cs3 scores of “interface helpfulness” can be calculated, then: the cs3 score for normal operation and the cs3 score for operation under an alarm flood. Each cs3 score is the respective average of the scores for level 1 (which is an average of the first two questions), for level 2 and for level 3 of situation awareness.

#### 2.5. Experiment environment

This experiment took place during refresher training courses given along five days at a dynamic simulator facility called AmbTrei (Portuguese short for Production Process Operator Training Environment) (Pereira et al., 2009). The morning of the fourth day was chosen to guarantee that every operator already was familiarised with the simulator environment. In AmbTrei (see Fig. 5), there is an operator control room, emulating the layout and the operating stations (including communication equipment) of the control room of a production platform, and an instructor's room, with computers to run the simulation software, and the instructor's station to start and control the simulation session.

The simulation model is linked to Programmable Logic-Controllers (PLCs), that run the process control program, just like in a real platform (real hardware, not virtual PLCs). The operating consoles are linked to the PLCs, again like in the real platform. Therefore, the operating interface is the real operating interface, not an emulated one. The instructor also plays the role of a field operator – for example, the instructor can open and close manual valves in the plant.

The modelled plant includes, briefly, production wells, two

**Table 3**  
The SAGAT questionnaire applied (translated from Portuguese).

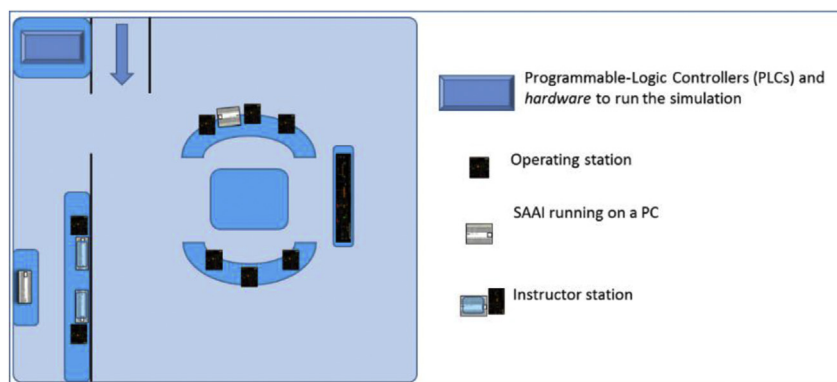
1	When the high-pressure alarm (PAH) occurred in the production separator B, what was the approximate value of the gas flow in the outlet of this separator?
2	What did the behaviour of the interface level of the oil treater B look like?
3	How was the oil treater pressure in relation to the pressure in separator B (greater than, smaller than)? What is the implication regarding the scenario goal?
4	What is the most probable cause of the high-pressure alarm that occurred on separator B?
5	In case nothing were done, what would probably be the behaviour of the interface level (water-oil) inside oil treater B?

**Table 4**  
Situation Awareness Rating Technique (SART) questionnaire (Kennedy, and Durbin, 2005).

Situation awareness rating technique (SART)	
<b>Component: attentional demand (D)</b>	
1) Instability of situation	Likelihood of situation to change suddenly
2) Variability of situation	Number of variables which require attention
3) Complexity of situation	Degree of complication (number of closely connected parts) of the situation
<b>Component: attentional supply (S)</b>	
4) Arousal	Degree to which you are ready for activity; ability to anticipate and keep up with the flow of events
5) Spare mental capacity	Amount of mental ability available to apply to new tasks
6) Concentration	Degree to which your thoughts are brought to bear on the situation; degree to which you focused on important elements and events
7) Division of attention	Ability to divide your attention among several key issues during the mission; ability to concern yourself with many aspects of current and future events simultaneously
<b>Component: understanding (U)</b>	
8) Information quantity	Amount of knowledge received and understood
9) Information quality	Degree of goodness or value of knowledge communicated
10) Familiarity	Degree of acquaintance with the situation

**Table 5**  
CS3 questionnaire (translated from Portuguese).

cs3	Without alarm flood	Under alarm flood
Scale: 1. strongly disagree; 2. disagree; 3. neutral; 4. agree; 5. strongly agree		
<b>Perception</b>		
1) The interface helps to perceive each new alarm activation	1_2_3_4_5	1_2_3_4_5
2) The interface helps to perceive the values of the relevant variables of the active alarms	1_2_3_4_5	1_2_3_4_5
<b>Comprehension</b>		
3) The interface helps to understand the meaning of each alarm (the causes of the alarm, and to which anomaly the alarm refers)	1_2_3_4_5	1_2_3_4_5
<b>Projection</b>		
4) The interface helps to foresee the evolution of the process (normalisation or worsening of the situation)	1_2_3_4_5	1_2_3_4_5



**Fig. 5.** Schema of the training environment (AmbTrei) layout.

production trains – a production separator (SG-01) and an electrostatic oil treater (TO-01) in train A and in train B. Both trains A and B converge to an atmospheric pressure separator (SG-03) and exportation pumps. Gas is separated from crude oil in SG-01; water is separated in TO-01; and residual gas is removed in SG-03, before the oil is exported. Fig. 2 (Section 2.2) shows one of the operating screens, the operating interface for the production trains, and Fig. 6 (Section 2.7) shows a schema of the production process.

## 2.6. Participants of the experiment

Professional operators participated of this research. The operators were at AmbTrei for refresher training courses and volunteered to answer the questionnaires. The questionnaires were answered

anonymously.

Considering the experienced ones (that is, with at least three years of process supervision experience in offshore production units), twenty operators individually answered the questionnaires: ten of them answered for the alarm summary interface; other ten, for the SAAI interface. The alarm summary group had averages of 14.2 years of professional experience in general and 11.8 years with the supervision program currently in use (supervisory experience); and the SAAI group had averages of 17.5 and 9 years. See Table 6.

## 2.7. Experiment design

A specific scenario, similar to a real scenario, and to one used in the operator's training (Pereira et al., 2010), was chosen to make the

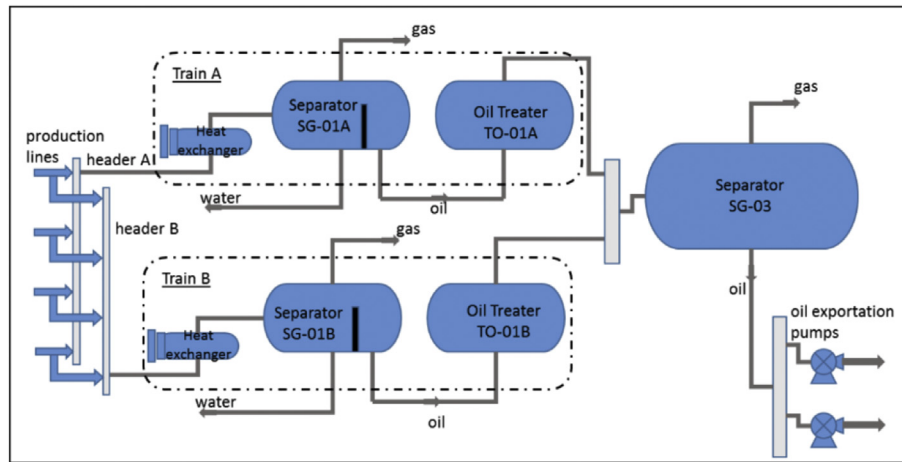


Fig. 6. Schema of the oil production process.

**Table 6**  
Participants experience data (sd: standard deviation).

Group	Number of participants	Professional experience		Supervisory experience	
		Mean	sd	Mean	sd
Alarm summary interface	10	14.2	10.0	11.8	6.4
SAAI interface	10	17.5	9.5	9.0	5.9

assessment. AmbTrei instructors helped to define the scenario to be used. SAAI was configured accordingly to the chosen scenario. The alarm summary was already configured, since it was the interface used for training.

Six operators are trained each time in AmbTrei. The scenario was operated by teams of three participants, operating the supervision program with the alarm summary, or with the SAAI interface, each one team at a time.

The scenario was to start up the production of train B of the platform plant (see Fig. 6). Initially, the production separator of train B (SG-01B) was depressurized, as if returning from maintenance. The gas outlet was (partially or totally) closed, without operators' knowledge, to induce a high-pressure alarm (PAH, the focused alarm of this scenario) in SG-01B, since the alarm interfaces were under assessment. Several other alarms would be activated because of the initial conditions of the process, more than could be displayed in one single window of the alarm summary. The expected response of the operators was to acknowledge the high-pressure alarm and to ask the field operator to check manual valve at the gas outlet.

When the operators acknowledged the high-pressure alarm and called the "field operator" to verify, the scenario was interrupted and the four questionnaires (the applied versions of SAGAT, SART, CC-SART and cs3, ordered this way) were submitted to the operators. Operators answered for their respective interface.

The start-up procedure of the scenario included opening wells and waiting for the pressure in SG-01B to be close to the value of the pressure in TO-01B, and, then, opening the oil flow from the production separator to the electrostatic treater. As the gas outlet was restrained, pressure in SG-01B would keep raising, without increase in the oil level in it – oil would be pushed to the electrostatic treater due to the growing pressure in SG-01B, which eventually would lead to the PAH. The volume of oil going into the

electrostatic treater would flow to the atmospheric separator (SG-03) without any constraints.

The scenario refers to the pressure values in SG-01B and TO-01B, the oil level in SG-01B, and the gas flow from SG-01B. Those are the variables related to the PAH alarm. Thus, the PAH alarm was configured in SAAI to display trend graphics for those variables.

## 2.8. Experiment procedure

Three hours (in the morning of the fourth day of each refresher-training course) were at our disposal for the evaluation session in AmbTrei. Before each session, a brief presentation was made to the operators of the current training class to show the scope of the research, the objectives of the experiment, the three-level model of situation awareness, the SAAI interface and an explanation about the questionnaires to be answered. The operators could participate of the experiment only once, there would be no opportunity to have a new session with the same operating team. After the presentation, the operators would be divided into two teams. The time available was spent on the presentation and on the scenario execution by each group, one at a time – the experiment was performed between the two groups. It was emphasised to the operators that their participation would be voluntary and anonymous, and that the experiment would not measure their own performance, rather the performance of the interface being used.

The scenario was started and operated by each group until the occurrence of the PAH and some evidence of its recognition (for example, control room operator calling the "field operator" to check gas line conditions), when the scenario was interrupted. After the interruption, operators turned their back to the monitors and answered to the applied SAGAT, SART, CC-SART and cs3 questionnaires, in that order. Although the alarm summary interface was available every time, since it is part of the supervision program, operators were asked not to use it and keep its window closed when SAAI was active, so as not to diverse attention.

It was applied a version of SAGAT without freezing the scenario, but with only one interruption. Five SAGAT queries were made, two for level 1 of situation awareness, perception, two for level 2, comprehension, and one for the projection level. A score or "grade" (normalized to 0–100%) was given for each questionnaire according to the number of correct answers. Each answer was considered either correct or incorrect.

SART and CC-SART questions were translated into Portuguese. The titles of each question were not translated to diminish the

possibility of misunderstandings in case of a word badly chosen. For the applied version of those questionnaires, answers were given in a five-point scale from “low” to “high”, since it was known that operators were more used to five-point scales in their professional environment in queries like that. SART and CC scores were normalized to a 0–100% scale to be comparable to other reports.

The cs3 questionnaire was answered at last, and its scores were normalised. To normalize the answers, Formula (3) was used.

$$vn = \frac{v - v_{min}}{v_{max} - v_{min}} * 100\% \quad (3)$$

Where  $v_n$  is the normalized value,  $v$  is the original value,  $v_{min}$  is the minimum value in the respective scale, and  $v_{max}$  is the maximum value in the respective scale.

For SART and CC-SART, it might be said that a value of 50%–60% of SA would be a good initial goal for an interface under development.

### 3. Results of the evaluation

#### 3.1. Results for the applied SAGAT

For the applied SAGAT questionnaire, results were somewhat similar for both interfaces: an average of 56% of correctness in the SAAI group, and 44% in the alarm summary group – SAAI interface performed 27% better, then – see Fig. 7 (error bars show one standard deviation above and below for global situational awareness mean). At least three questions were answered correctly by six participants (60%) of the SAAI group (global SA over 50%); while four ones of the alarm summary group (40%) did so, as Fig. 8 shows.

For the participants of the experiment, the SAGAT questionnaire measured a better situation awareness (SA) for SAAI interface for each SA level (Fig. 7 and Table 7). The average of the alarm summary group was 50% of SA level 1 (SA L1 – perception), while SAAI group presented 65% SA L1. For comprehension (SA L2), the difference was equivalent to 10 percentage points (45% and 55% of SA L2 respectively, 10pp). For projection (SA L3), SAAI group scored an average of 40%, and the alarm summary group scored 30% of SA L3.

#### 3.2. Results for the applied SART

The smallest difference between the two interfaces scores was found for the applied 10-Dimension SART method results 7pp: 58%

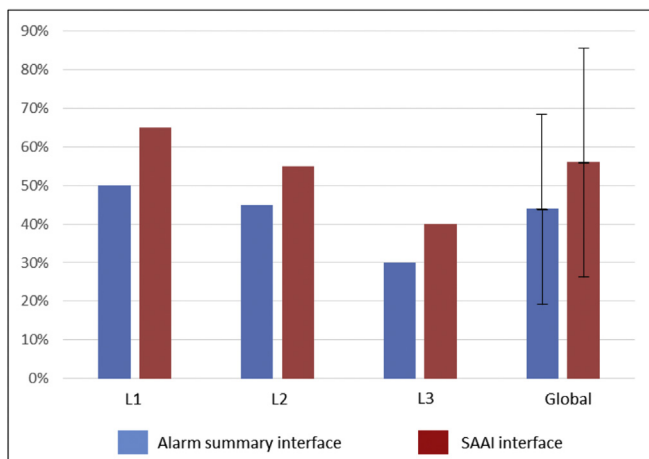


Fig. 7. SAGAT results per SA level and global SA. (Error bars show one standard deviation above and below the mean.)

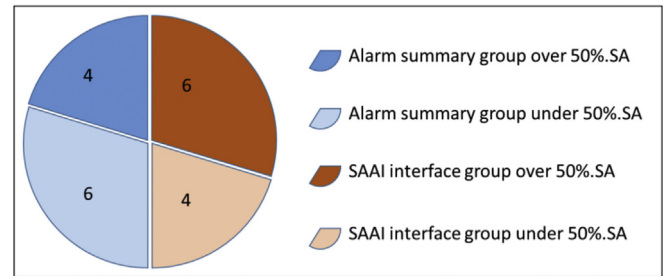


Fig. 8. SAGAT – Number of scores over/under 50% of SA.

SA × 51% SA (which could be mapped to averages of 20.8 × 16.6 in the traditional seven-point scale 10-D SART). On the other hand, eight participants of the SAAI group scored a minimum of 50% SA for the interface in the SART questionnaire, while four participants of the alarm summary group did so. These results are shown in Fig. 9 (error bars show one standard deviation above and below), Fig. 10, and Table 8.

For Attentional Demand (D), Attentional Supply (S) and Understanding components, SAAI scored 60%, 66% and 63% each, respectively, while alarm summary scored 55%, 54% and 51%. It is worthy of note that the lowest difference was in the negative component, Demand (since SART score = U – (D – S) = U + S – D), for which alarm summary scored somewhat better (less negative).

#### 3.3. Results for the applied CC-SART

For the applied 3-Dimension CC-SART method (see Fig. 11 – error bars show one standard deviation above and below – and Table 9), SAAI scored 61% of CC and alarm summary scored 45% of CC (which could be mapped to cognitive compatibilities of 16.0 and 13.1 in the usual seven-point answer scale). A score of at least 50% CC was given to SAAI by nine participants of the respective group, while six ones did so for the alarm summary group (Fig. 12).

CC-SART method has shown greater “cognitive compatibility” for SAAI interface, dimension to dimension: the Level of Processing (LoP, negative component) for SAAI was, in average, 58%; the Ease of Reasoning (EoR) and the Activation of Knowledge (AoK) were 70% each; while alarm summary interface scored 73%, 50% and 58%.

#### 3.4. Results for the cs3 questionnaire

The cs3 questionnaire comprises four questions, the first two referring to SA Level 1, the others (q. 3 and q.4) referring to SA L2 and L3. The participant is asked to answer to each question for normal operation condition and for operation under alarm flood. The cs3 average results are shown in Fig. 13 and in Table 10, for each question and SA Level.

Under normal operations, alarm summary scored an average of 46% of “SA helpfulness” (SAh), receiving at least 50% from five participants out of 10, and SAAI interface scored an average of 62% SAh, receiving at least 50% from seven participants out of 10 (see Fig. 14).

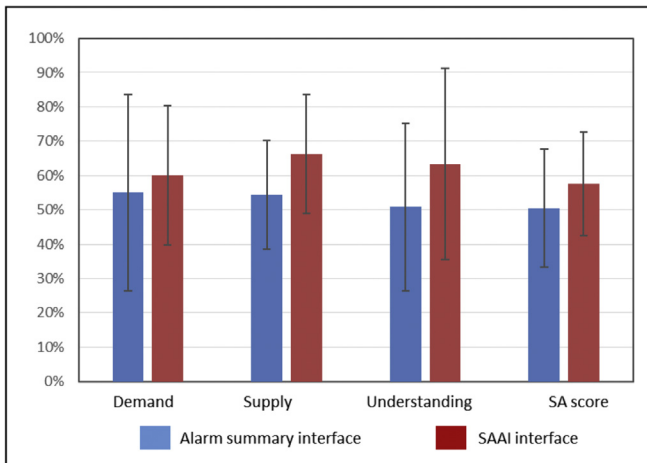
For operation under alarm flood, participants scored SAAI interface at 55% SAh on average. Half of the participants scored SAAI at least 50%. For that condition, participants of the alarm summary group scored the interface at 15% SAh on average. None of the participants scored alarm summary at least 50% SAh for that condition (Fig. 14).

For each SA level and under normal operation, the proposed cs3 technique has shown greater potential SA for SAAI interface: 65%, 64% and 58%, respectively. Alarm summary scored 51%, 48% and

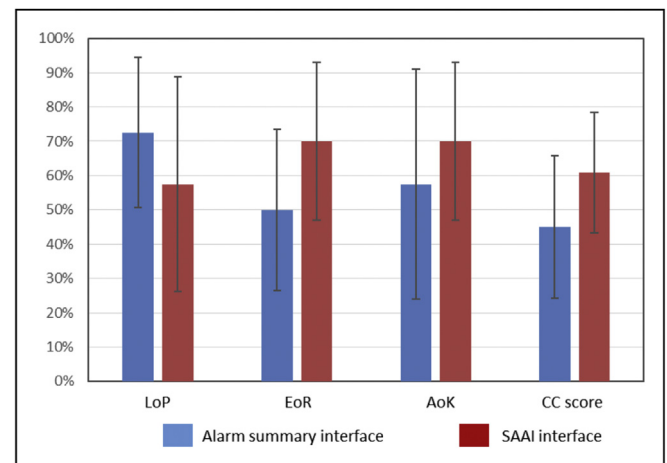
**Table 7**  
SAGAT results.

Situation awareness	L1 (mean)	L2 (mean)	L3 (mean)	Global SA (mean)	Global SA (sd)
Alarm summary	50%	45%	30%	44%	25%
SAAI interface	65%	55%	40%	56%	30%

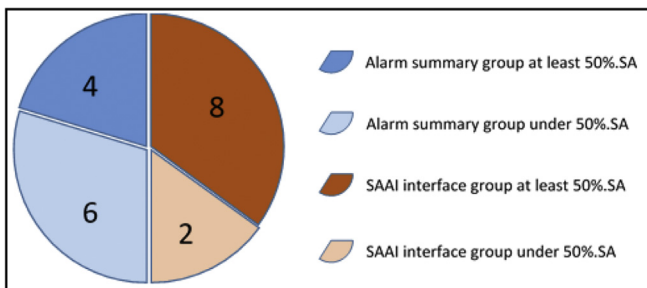
Note: sd-standard deviation.



**Fig. 9.** SART results per component and SA score. (Error bars show one standard deviation above and below the mean.)



**Fig. 11.** Results per CC-SART component and CC score. (Error bars show one standard deviation above and below the mean.)



**Fig. 10.** Number of scores at least 50% for SART.

**Table 8**  
SART results.

Interface	Demand (mean)	sd	Supply (mean)	sd	Unders. (Mean)	sd	SA (mean)	sd
Alarm summary	55%	29%	54%	16%	51%	24%	51%	17%
SAAI interface	60%	20%	66%	17%	63%	28%	58%	15%

Note: sd-standard deviation; Unders.: Understanding.

40% (see Table 10).

Under alarm flood, operators considered the helpfulness at each of the three levels as follows: 53%, 60% and 53% for SAAI interface; and 14%, 18% and 15% for alarm summary (Table 10).

#### 4. Discussion

Fig. 15 and Table 11 present a summary of all results for SA average (Fig. 15a) and the number of scores at least 50% for each interface for each technique (Fig. 15b).

The results reported here might be attributed to the fact that the interface was a between-groups factor. As mentioned in Section 2.6, all participants had an experience of at least three years of

profession and with the supervision program (the supervisory), which includes the alarm summary interface. The SAAI interface group presented a professional experience in average of 3.3 years more than the alarm summary group. The latter, though, had an average of 2.8 years of supervisory experience more than the SAAI interface group (see Table 6 in Section 2.6).

SAGAT results might be affected by participants' experience time, since participant's accumulated knowledge may play a significant role when answering the SAGAT questionnaire. Indeed, the applied SAGAT showed a greater situation awareness for the group having more professional experience time, that is, the SAAI interface group. However, this same group has less experience with the

supervision program, which may suggest that this group (the SAAI interface group) benefits from their accumulated knowledge thanks to the situation awareness provided by the SAAI interface.

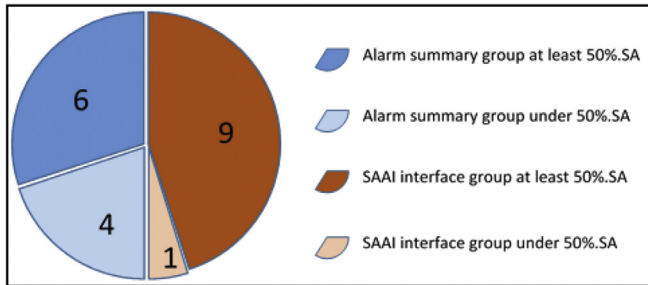
Presumably, results for the other techniques (SART, CC-SART and cs3) were not significantly affected by participants' accumulated knowledge, neither by the experience time (respected the minimum of three years of experience). These techniques are based essentially on standard questionnaires, for which subjective answers are given.

Situation awareness for the alarm summary interface might have a positive bias, as operators were already familiar with this interface (especially the alarm summary group). According to the results for the set of operators that participated, though, that bias

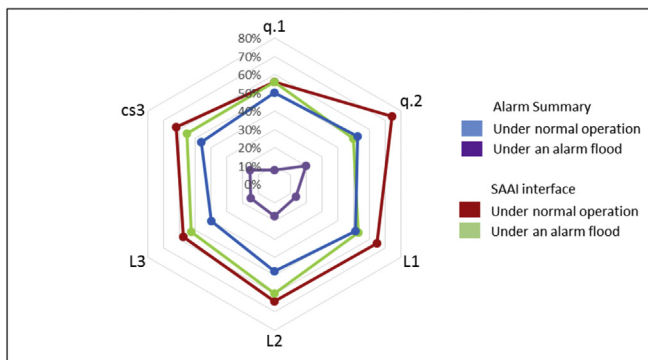
**Table 9**  
CC-SART results.

Interface	LoP (mean)	sd	EoR (mean)	sd	AoK (mean)	sd	CC (mean)	sd
Alarm summary	73%	22%	50%	24%	58%	33%	45%	21%
SAAI interface	58%	31%	70%	23%	70%	23%	61%	18%

Note: sd-standard deviation.



**Fig. 12.** Number of scores at least 50% for CC-SART.



**Fig. 13.** cs3 results per SA level and cs3 scores.

**Table 10**  
cs3 results.

	q.1	q.2	L1	L2	L3	cs3
<b>Interface under normal operation</b>						
Alarm summary (averages)	50%	53%	51%	48%	40%	46%
Alarm summary (standard-deviations)	33%	30%	16%	28%	36%	19%
SAAI (averages)	56%	74%	65%	64%	58%	62%
SAAI (standard-deviations)	32%	31%	29%	39%	32%	30%
<b>Interface under alarm flood</b>						
Alarm summary (averages)	8%	20%	14%	18%	15%	15%
Alarm summary (standard-deviations)	17%	26%	16%	21%	21%	15%
SAAI (averages)	56%	50%	53%	60%	53%	55%
SAAI (standard-deviations)	29%	39%	31%	37%	34%	30%

was not enough to affect the results significantly.

It is worth noticing that the scores for SAAI interface envelop the score for alarm summary interface (both in Fig. 15a and b). In other words, the SAAI interface presented better scores for all methods, which gives consistency to the results.

In fact, a better performance of SAAI interface was to some extent expected, since it was designed based on the concepts of situational awareness and EID in mind, while the alarm summary interface is (at least) thirty years older and has no graphical information to the operator. However, it was not possible to foresee the

influence of an extra monitor and of the novelty of SAAI interface, as the operators already were familiar with the alarm summary, but not with SAAI interface.

The applied SAGAT, the simplified one-stop version used, has shown better SA for SAAI interface globally, and level by level (perception, comprehension and projection). For both interfaces, though, the lowest numbers were for SA level 3, projection (Fig. 7, Section 3.1). That might be due to each interface itself (in spite of the intention of SAAI interface design), or might be a confirmation that operators' attention (and SA, consequently) is directed and triggered by alarms (Li et al., 2012), and they tend (or are induced) to operate in a more reacting way than trying to foresee the evolution of the process.

The relative smallest difference was found for SA level 2, comprehension, which might be interpreted as the knowledge of process playing an important role in this level – while answering to (or evaluating) the SAGAT questionnaire, it is hard to distinguish situation awareness from prior knowledge (if possible).

The adapted SART has shown better overall average score for SAAI interface. However, alarm summary interface performed better for the Attentional Demand (D) component (Fig. 9, Section 3.2). This may be credited to the novelty of SAAI interface, presented to the participants at the beginning of the experiment session, while the alarm summary interface was already known.

For the adapted CC-SART method, all the three components (Activation of Knowledge, Ease of Reasoning, and Level of Processing) have shown better scores for SAAI interface. SAAI interface performed especially better for the Ease of Reasoning component, suggesting that it was easier to understand the situation when using SAAI (Fig. 11, Section 3.3).

The better performance of SAAI interface under CC-SART (and under the other techniques) might be credited to the application of Ecological Interface Design concepts, among other factors. Ecological interfaces can improve SA during unanticipated situation (Burns et al., 2008). Although each alarm is activated for an anticipated situation, the context of the situation cannot be completely anticipated, nor can the combination of the alarms. Thus, EID concepts are of particular interest.

The difference in favour of SAAI interface in CC-SART scores was greater than the one found applying SART. This might be effect of CC-SART aim, which is measuring interface properties (the cognitive compatibility of the interface with the operator's mental processes, as opposed to operator's SA itself). The smaller differences between alarm summary and SAAI interfaces found in SART suggests that operators' familiarity with the scenario had a significant weight in the measurement, compared to their familiarity with the interface.

Results for cs3 (Fig. 13 and Table 10, Section 3.4) are coherent with CC-SART results: SAAI interface scored better for both of them. The cs3 results have shown that SAAI interface might avoid a significant reduction of situational awareness that occurs while operating under an alarm flood, which is exactly the goal of SAAI. However, the second question (q.2 in Fig. 13), which refers to interface helping to perceive relevant variables, did show a significant reduction. This may have two interpretations:

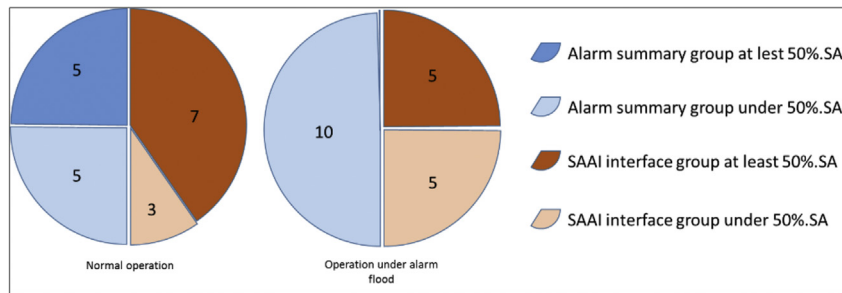


Fig. 14. Number of scores at least 50% for cs3 SA.

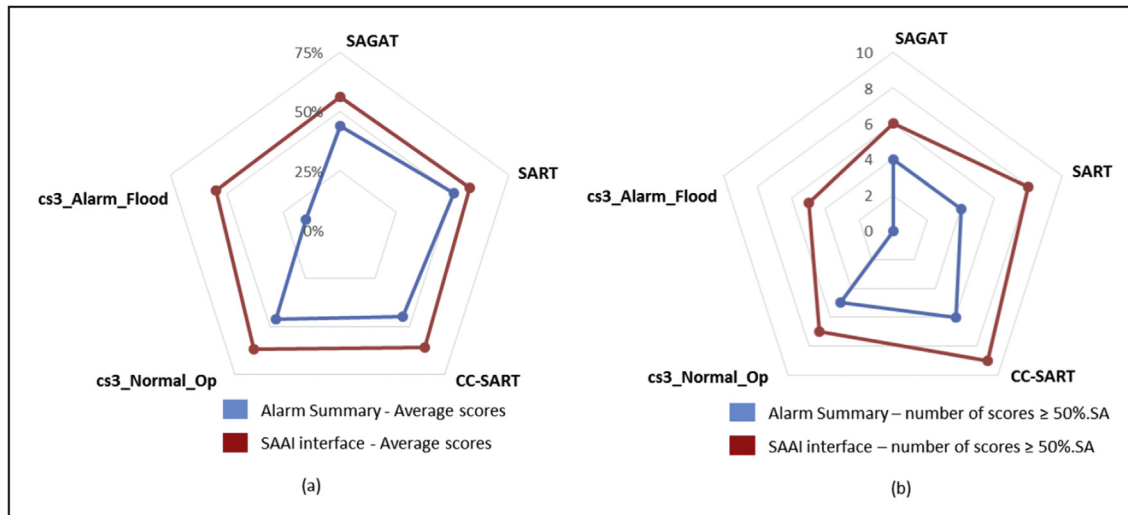


Fig. 15. Average of SA (a) and number of scores at least 50% of SA (b).

Table 11 Scores for each SA measurement.

Method	Alarm summary interface			SAAI interface		
	Average	sd	#Min 50%	Average	sd	#Min 50%
Applied SAGAT	44%	25%	4	56%	30%	6
Applied SART	51%	17%	4	58%	15%	8
Applied CC-SART	45%	21%	6	61%	18%	9
cs3 Normal operation	46%	19%	5	62%	30%	7
cs3 Alarm flood	15%	15%	0	55%	30%	5

Note: sd – standard-deviation; #Min50% – number of scores ≥ 50%.

- a) Operators did not really expect SAAI interface to help to perceive relevant variables under an alarm flood (not as much as in normal operation).
- b) Operators considered the display of relevant variables (in normal operation) as an especially helpful property of the interface – and question 2 scored better for normal operation because of that.

Interpretation “a” is true as a crude interpretation of the answers. However, for the SAAI interface, the reduction from “under normal operation” to “under an alarm flood” for q.2 is the greatest because the average score of the former is the greatest (see Table 10). According to that, it seems hypothesis “b” is acceptable: the operators did expect SAAI interface to help them to perceive relevant variables under an alarm flood and also especially under normal operation.

The new interface scores better despite the fact that alarm summary was already known by the operators (it has been used for more than two decades at production platforms), and that the operators had not been previously trained to use SAAI. Some operators pointed this lack of training as a reason to explain the difficulties in using SAAI. Others, though, considered the new interface easy and user-friendly. The focus of this experiment was to measure operators’ situation awareness while using the SAAI interface, and additional proper usability tests should be performed before deployment of SAAI into a production environment.

As noted in Section 1.1, when there is an alarm flood, alarms come so fast that operators cannot read and deal with all these alarms adequately, as the operators might not have a good understanding of this situation. The sample size of this research is limited (n = 10 for each interface). However, results indicate a trend for a qualitative improvement while using the SAAI interface. That means that the SAAI interface might help operators in understanding the process status and in keeping their situation awareness under an alarm flood.

### 5. Conclusion

The four methods used in the experiment have shown better situational awareness while using the SAAI interface. In addition, for these four methods, a greater number of participants in the SAAI group scored the interface at least 50% of SA. An extra monitor to display the most important alarms with associated trend graphics, like the SAAI interface, may significantly increase operators’

situational awareness and is not identified as an impairment to the operators that have participated of the experiment.

To our knowledge, the reported experiment is the first performed within Brazilian petroleum industry using a dynamic simulator and with the participation of professional operators.

Interface design evaluation is not an easy task (Wu et al., 2016), but it is important to validate a new interface before deployment on real control rooms. Operators' willingness to participate shows that there is plenty of room to improve alarm interfaces.

Future studies should include SAGAT queries with multiple freezing points, more submissions of SART and CC-SART questionnaires to validate translation, and improvement of the proposed cs3 questionnaire for assessment of situational awareness under alarm flood.

The reduced number of participants ( $n = 10$  for each interface) does not allow any statistically reliable conclusion. However, the results presented indicate a qualitative improvement, and EID seems to be a promising approach, worth of further investigation and developments. The SAAI interface design shall evolve exploring the EID approach.

This paper proposes a new alarm interface to help keeping operator's situational awareness under alarm floods. New interfaces like this one can help to improve operation safety and efficiency.

### Role of the funding source

Although no separate funding was used specifically for this research, this research was supported by Petrobras company. After agreeing to the proposed research, the funding source played no role in study design, data collection, analysis, and interpretation, nor in the writing of the report. The funding source authorised this publication.

### Acknowledgements

This research was supported by Petrobras, which is gratefully acknowledged. The authors would like to thank the colleagues at Petrobras who contributed to the development and testing of SAAI; to the trainees, the instructors and the support team at AmbTrei (National Service for Industries – SENAI); and to the SAAI development team. The authors would also like to thank the reviewers for their comments.

### Appendix. Acronyms

10-D SART Questionnaire comprising ten dimensions of SART	
AmbTrei Training Environment (Portuguese acronym)	
ART	Allowable Response Time
CC-SART	Cognitive Compatibility SART
cs3	“Situation awareness three level model” questionnaire (Portuguese acronym)
EID	Ecological Interface Design
PAH	Pressure Alarm High
PLC	Programmable-Logic Controller
SA	Situation Awareness
SA L1	Situation Awareness Level 1 (Perception)
SA L2	Situation Awareness Level 2 (Comprehension)
SA L3	Situation Awareness Level 3 (Projection)
SAAI	Intelligent and Advanced System of process Alarms (Portuguese acronym)
SAGAT	Situation Awareness Global Assessment Technique
SAh	Situation Awareness helpfulness (as measured by cs3)
SART	Situation Awareness Rating Technique
SG	Gas Separator (Portuguese acronym)
RTP	Real-Time Priority

TAR	Time Available to Respond
TO	Oil Treater (Portuguese acronym)

### References

- ANSI/ISA – American National Standards Institute/International Society of Automation, 2009. ANSI/ISA 18.2-Management of Alarm Systems for the Process Industries.
- Burns, Catherine M., Skraaning Jr., Gyrd, Jamieson, Greg A., Lau, Nathan, Kwok, Jordanna, Welch, Robin, Andresen, Gisle, 2008. Evaluation of ecological interface design for nuclear process control: situation awareness effects. *Hum. Factors J. Hum. Factors Ergon. Soc.* 50 (4), 663–679.
- CCPS – Center for Chemical Process Safety of the American Institute of Chemical Engineers, 2001. *Layer of Protection Analysis: Simplified Process Risk Assessment* (Ch. 6, Section 6.5).
- EEMUA – Engineering Equipment and Materials Users Association, 2007. *Alarm Systems – a Guide to Design, Management and Procurement*, vol. 191. EEMUA.
- Endsley, Mica R., 1995a. Toward a theory of situation awareness in dynamic systems. *Hum. Factors J. Hum. Factors Ergon. Soc.* 37 (1), 32–64.
- Endsley, Mica R., 1995b. Measurement of situation awareness in dynamic systems. *Hum. Factors J. Hum. Factors Ergon. Soc.* 37 (1), 65–84.
- Endsley, Mica R., 2015. Situation awareness misconceptions and misunderstandings. *J. Cogn. Eng. Decis. Mak.* 9 (1), 4–32.
- Gawron, Valerie J., 2008. *Human Performance Measures Handbook*. Lawrence Erlbaum Associates Publishers.
- Jamieson, Greg A., 1998. *Ecological Interface Design for Petrochemical Processing Applications*. Master of Applied Science thesis. Available at: [cel.mie.utoronto.ca/wp-content/uploads/CEL98-04.pdf](http://cel.mie.utoronto.ca/wp-content/uploads/CEL98-04.pdf).
- Jamieson, Greg A., Vicente, Kim J., 2001. Ecological interface design for petrochemical applications: supporting operator adaptation, continuous learning, and distributed, collaborative work. *Comput. Chem. Eng.* 25 (7), 1055–1074.
- Jamieson, Greg A., 2003. *Ecological Interface Design for Petrochemical Process Control: Integrating Task-and System-based Approaches*. Doctor of Philosophy thesis. University of Toronto. Available at: [cel.mie.utoronto.ca/wp-content/uploads/CEL02-01.pdf](http://cel.mie.utoronto.ca/wp-content/uploads/CEL02-01.pdf).
- Jamieson, Greg A., 2007. Ecological interface design for petrochemical process control: an empirical assessment. systems, man and cybernetics, part A: systems and humans. *IEEE Trans.* 37 (6), 906–920. <http://dx.doi.org/10.1109/TSMCA.2007.897583>.
- Kennedy, Joshua S., Durbin, David B., 2005. *Human Factors Assessment of the UH-60M Crew Station during the Early User Demonstration Number 2 (EUD2)*. Army Research Lab Aberdeen Proving Ground MD.
- Laberge, Jason C., Bullemer, Peter, Tolsma, Mischa, Reising, Dal Vernon C., 2014. Addressing alarm flood situations in the process industries through alarm summary display design and alarm response strategy. *Int. J. Ind. Ergon.* 44 (3), 395–406. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ergon.2013.11.008>.
- Li, Xilin, Powell, Malcolm S., Horberry, Tim, 2012. Human factors in control room operations in mineral processing: elevating control from reactive to proactive. *J. Cogn. Eng. Decis. Mak.* 88. <http://dx.doi.org/10.1177/1555343411432340>.
- Liu, Peng, Li, Zhizhong, 2012. Task complexity: a review and conceptualization framework. *Int. J. Ind. Ergon.* 42 (6), 553–568. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ergon.2012.09.001>.
- Myers, Philip M., 2013. Layer of Protection Analysis—Quantifying human performance in initiating events and independent protection layers. *J. Loss Prev. Process Ind.* 26 (3), 534–546. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jlpp.2012.07.003>.
- Pereira, A.C., Riera, A., Padilla, G., Musulin, E., Nakamura, N.J., 2009. Operator trainer system for the Petrobras P-26 semi-submersible oil and gas production unit. *Comput. Aided Chem. Eng.* 27, 1959–1964.
- Pereira, Ari José do Carmo, Alves, José Luiz Loureiro, Buccazio, Paulo Elias, 2010. *Simulação de Operação de Produção de Petróleo*, second ed. Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (SENAI), Departamento Regional do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- Rasmussen, Jens, Vicente, Kim J., 1989. Coping with human errors through system design: implications for ecological interface design. *Int. J. Man Mach. Stud.* 31 (5), 517–534.
- Skraaning Jr., Gyrd, Lau, Nathan, Welch, Robin, Nihlwing, Christer, Andresen, Gisle, Brevig, Hanne, Liv, Veland, Øystein, Jamieson, Greg A., Burns, Cathrine, Kwok, Jordanna, 2007. *The Ecological Interface Design Experiment* (2005). University of Toronto, Toronto, ON, Canada. Tech. Rep. CEL 07-02.
- Salmon, Paul M., Stanton, Neville, Walker, Guy, Damian, Green, 2009. Measuring situation awareness in complex systems: comparison of measures study. *Int. J. Ind. Ergon.* 39 (3), 490–500. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ergon.2008.10.010>.
- Satuf, Eduardo N., Campos, Mario Cesar, M. M. de, Schirru, Roberto, September, 2014. Filtrando e Priorizando Alarmes em Tempo-Real: Sistema Avançado de Alarmes Inteligentes (SAAI). In: *Annals of XX Brazilian Congress on Automation, Belo Horizonte*.
- Sorensen, Linda J., Stanton, Neville A., 2011. Is SA shared or distributed in team work? An exploratory study in an intelligence analysis task. *Int. J. Ind. Ergon.* 41 (6), 677–687.
- Taylor, R.M., 1990. Situational awareness rating technique (SART): the development of a tool for aircrew systems design. In: *AGARD Conference Proceedings CP-478*, paper 3, pp. 1–17 available at [www.cso.nato.int/Pubs/rdp.asp?RDP=AGARD-CP-478](http://www.cso.nato.int/Pubs/rdp.asp?RDP=AGARD-CP-478).



- Taylor, R.M., 1996. Cognitive requirements in aircrew systems design. In: Hayward, Brent J., Lowe, Andrew R. (Eds.), *Applied Aviation Psychology: Achievement, Change and Challenge*. Proceedings of the Third Australian Aviation Psychology Symposium. Gower Technical, Aldershot: Avebury.
- Taylor, R.M., Shadrake, R., Haugh, J., Bunting, A., 1996. Situational awareness, trust, and compatibility: using cognitive mapping techniques to investigate the relationships between important cognitive systems variables. In: *AGARD Conference Proceedings – AGARD CP. AGARD*.
- Walker, Guy H., Waterfield, Steve, Thompson, Pauline, 2014. All at sea: an ergonomic analysis of oil production platform control rooms. *Int. J. Ind. Ergon.* 44 (5), 723–731. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ergon.2014.08.001>.
- Wu, X., Yuan, X., Li, Z., Song, F., Sang, W., 2016. Validation of “alarm bar” alternative interface for digital control panel design: a preliminary experimental study. *Int. J. Ind. Ergon.* 51, 43–51.
- Xiao, Y., Hunter, W.A., Mackenzie, C.F., Jefferies, N.J., Horst, R.L., 1996. Task complexity in emergency medical care and its implications for team coordination. *Human Factors* 38 (4), 636–645 apud Liu, and Li, 2012.