

The Influence of Personal Factors on Errors when Interacting with a Critical System

A. Costa, L. Silva, Y. Aguiar, F. Ramos, A. Sousa, and D. Valadares

Abstract—Even the most reliable systems can still be subject to human errors. When the system is considered critical, failures can lead to huge losses. When trying to understand the causes of these losses, the emotional and behavioral aspects of the system operator are ignored, considering only technical information that the user has. The objective of this paper is to verify if personal factors have any relation to the occurrence of errors when interacting with a critical system. This will contribute to elaborate accident prevention strategies focused on these factors in the future. The results of this study showed the existence of personal factors that exert a significant influence on the mistakes made.

Index Terms—Critical systems, Human error, Personal factors, Emotional and behavioral aspects.

I. INTRODUÇÃO

SISTEMAS críticos são sistemas nos quais as falhas podem ocasionar perdas econômicas, danos físicos ou ameaça aos seres humanos [1], [2], [3]. Esses sistemas geralmente são divididos em sistemas críticos de segurança, de missão e de negócios. Essa diferenciação ocorre de acordo com a extensão do prejuízo ocasionado pelas falhas. Nos sistemas críticos de segurança, as falhas podem resultar em risco à vida humana e danos ambientais. É possível citar como exemplo desse tipo de sistema, um software de controle de uma fábrica de fogos de artifícios. Nos sistemas críticos de missão, as falhas podem ocasionar problemas em atividades direcionadas a metas. Como exemplos, têm-se os softwares de navegação para aeronaves espaciais não tripuladas. Nos sistemas críticos de negócio, as falhas podem resultar em altos custos econômicos para a empresa que trabalha com o software. Um sistema de controle de contabilidade de clientes de banco é um exemplo desse tipo de sistema.

A confiança é a principal propriedade de um sistema crítico [4], [5]. De acordo com Sommerville [6], as principais dimensões da confiança são: a disponibilidade, a confiabilidade,

a segurança e a proteção do sistema. Em geral, os sistemas com baixa ou nenhuma confiabilidade são rejeitados pelos usuários, possuem custos elevados devido às falhas e podem causar perdas de informação. Por outro lado, quanto maior a confiança do sistema, maior é o custo associado, pois é preciso um grande investimento em todas as fases de construção do sistema a fim de evitar falhas.

Geralmente, ao se tentar entender as causas de acidentes ocorridos, é feito o levantamento de relatórios técnicos. A análise desses relatórios revela a presença de informações técnicas sobre o ocorrido, mas não sobre o estado emocional do operador ou seu comportamento ao realizar a tarefa que resultou em erro, que são informações necessárias para a compreensão do erro humano. Ao ignorar esse tipo de informação, as possibilidades de elaboração de estratégias de prevenção de acidentes acabam ficando reduzidas.

Por mais alto que seja o grau de confiança de um sistema, é impossível garantir que ele não fique sujeito a erros externos, imprevisíveis e inevitáveis, de natureza humana [7], [8]. O estudo do erro humano foca na identificação da relação entre os erros e a atividade humana que os causaram. Desta forma, fatores pessoais (estado emocional e comportamental) devem ser considerados quando se busca entender as causas dos erros.

O presente estudo tem como objetivo identificar quais os fatores pessoais mais significativos e suas influências sobre os erros cometidos pelo usuário ao interagir com um sistema crítico. Para tanto, foi realizado um estudo de caso na França, onde usuários deveriam interagir com um sistema (crítico) de apoio à decisão, para auxiliar a preparação de planos de contingência a fim de lidar com acidentes marítimos. Foram realizadas análises de correlação e regressão para identificar e medir a influência dos fatores pessoais sobre os erros ao realizar a tarefa designada. Como resultado do trabalho, identificou-se que os fatores mais significativos, dentre os analisados, por ordem de influência são: Consciência, Imaginação, Emoções Negativas e Ansiedade.

Com a realização deste estudo, concluiu-se que os fatores pessoais exercem influência significativa sobre os erros. Diante disso, destaca-se como contribuição do trabalho a constatação da importância da consideração de tais fatores ao elaborar relatórios técnicos sobre as causas de acidentes, permitindo a criação de estratégias de prevenção de acidentes oriundos de falhas humanas.

Este artigo está organizado em seis seções, incluindo esta introdução. Na Seção II, são descritos trabalhos relacionados que abordam aspectos emocionais e comportamentais durante a interação de usuários com sistemas. Na Seção III, é detalhada a metodologia adotada para a elaboração do presente estudo,

Alexandre Costa, Laboratório de Sistemas Embarcados e Computação Pervasiva, Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba, Brasil, alexandre.costa@embedded.ufcg.edu.br.

Luiz Silva, Laboratório de Sistemas Embarcados e Computação Pervasiva, Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba, Brasil, luiz.silva@embedded.ufcg.edu.br.

Yuska Aguiar, Laboratório de Interface Homem-Máquina, Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba, Brasil, yuska.aguiar@copin.ufcg.edu.br.

Felipe Ramos, Laboratório de Sistemas Embarcados e Computação Pervasiva, Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba, Brasil, felipe.ramos@embedded.ufcg.edu.br.

Ademar Sousa Neto, Laboratório de Sistemas Embarcados e Computação Pervasiva, Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba, Brasil, ademarneto@embedded.ufcg.edu.br.

Dalton C. G. Valadares, Laboratório de Sistemas Embarcados e Computação Pervasiva, Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba, Brasil, dalton.valadares@caruaru.ifpe.edu.br.

incluindo a descrição do estudo de caso realizado, métodos e instrumentos utilizados. Na Seção IV, são apresentados os resultados alcançados de acordo com os objetivos e hipóteses estabelecidos. Na Seção V, realiza-se uma análise e discussão dos resultados com foco na aceitação ou refutação das hipóteses levantadas nesse estudo. Por fim, na Seção VI, apresenta-se a conclusão do presente estudo, destacando suas limitações e alternativas para trabalhos futuros.

II. TRABALHOS RELACIONADOS

O estudo do comportamento emocional dos usuários, na área de Interface Homem-Máquina (IHM), tem recebido cada vez mais atenção nos últimos anos. Mahlke [9] investiga a relação entre diferentes componentes emocionais, tais como, sentimentos subjetivos, ativação fisiológica, expressão motora, avaliações cognitivas e tendências comportamentais, na experiência do usuário ao interagir com sistemas. Mahlke [9] propõe uma combinação do modelo multicomponente de Scherer [10] e o modelo circumplexo de Russel [11] para realizar o processo de avaliação de emoções em contextos interativos. Para induzir estados emocionais diferentes, duas versões de um sistema interativo foram empregadas, diferindo apenas em relação à qualidade de uso. Os resultados sugerem que os sistemas de alta usabilidade conduzem a emoções mais positivas do que os sistemas com falhas de usabilidade. Entretanto, segundo Mahlke, os resultados apresentados em seu trabalho são apenas preliminares, necessitando de um estudo maior e mais abrangente. Bes [12] avalia diferentes implementações de alocação dinâmica de tarefas entre controladores de tráfego aéreo e um sistema especialista. O trabalho [12] foca na análise de como os erros humanos interferem no gerenciamento de aspectos temporais durante a simulação, com o intuito de destacar as principais dificuldades encontradas pelos operadores. Estes problemas também foram revelados por De Keyser [13].

Galy [14] analisa os efeitos de três fatores cognitivos (dificuldade da tarefa, pressão associada ao tempo de execução da tarefa e o estado de alerta) sobre a carga de trabalho mental do indivíduo, e assim, possibilitar a criação de futuras estratégias organizacionais que melhorem a segurança no trabalho.

III. METODOLOGIA

Para concepção deste trabalho, foi realizado um estudo de caso na França, guiado pelo Protocolo Experimental para Observação da Interação (PEOI) [15], criado pelo Laboratório de Interface Homem-Máquina situado na Universidade Federal de Campina Grande (UFCG).

A. Descrição do Experimento

O estudo de caso foi conduzido no Centro de Pesquisa de Psicologia da Cognição, Linguagem e Emoção da Université de Provence, França. Uma equipe multidisciplinar, composta por engenheiros, analistas de sistema e psicólogos, auxiliou na realização do experimento. A amostra foi composta por 07 (sete) observações.

O produto a partir do qual o usuário deveria interagir durante o experimento foi o *Generateur de Plans d'Intervention*

(GENEPI) [16], que consiste em um sistema de apoio à decisão para auxiliar na preparação de planos de contingência a fim de lidar com acidentes marítimos. A ferramenta é baseada em um simulador projetado para prever a localização de um poluente, e as mudanças em sua concentração no mar e na atmosfera, dada a ocorrência de um grande derrame do poluente. Como entrada de dados, o GENEPI recebe um conjunto de atributos que caracterizam o acidente e o contexto em que ele ocorreu. Essas informações auxiliam na busca por ações de combate em uma ontologia que foi desenvolvida para o domínio da ferramenta. As informações tratadas permitem uma avaliação de impacto e fornecem sugestões de planos de intervenção (gerados pelo GENEPI) a fim de apoiar a decisão sobre as estratégias e técnicas a serem adotadas no controle do acidente. O contexto de aplicação se caracteriza como sistemas críticos em ambientes de automação, passível de simulação em ambiente de teste.

A tarefa de teste consistiu no uso do GENEPI para gerar um plano de intervenção para um acidente marítimo e ocorreu da seguinte forma: o usuário de teste, situado em um ambiente que simula o Centro Operacional de Vigilância do Litoral, recebia um conjunto de informações iniciais a respeito do acidente marítimo. A partir de uma ligação telefônica, o usuário era informado sobre a necessidade de geração de um plano de intervenção o mais rápido possível, diante da gravidade do problema. Em seguida, o usuário era instruído para adquirir informações complementares sobre a situação do acidente. Para tanto, ele deveria contatar os órgãos especializados a partir de ligações telefônicas. Ao serem contatados, os órgãos fornecem a informação solicitada por telefone ou fax (simulação) e as informações recebidas alimentam o sistema GENEPI para geração do plano de intervenção solicitado.

Os registros para coleta de dados foram feitos a partir de diversas fontes, tais como câmeras de vídeo que capturam imagens do ambiente de teste e expressões faciais dos usuários, capturas de tela que registram o comportamento do usuário ao interagir com o sistema, coleta de dados fisiológicos a partir da ferramenta BIOPAC (maiores detalhes na Seção III-F) e anotações feitas por observadores da equipe multidisciplinar. Durante todo o experimento, observadores visualizaram as interações entre o usuário e o sistema em tempo real, podendo se comunicar com eles; no entanto, os usuários do teste foram isolados em uma sala, sem poder enxergar os observadores.

B. Objetivos e Hipóteses

O objetivo deste trabalho é identificar quais os fatores, de caráter emocional e comportamental, mais significativos e qual a influência que eles exercem sobre os erros cometidos pelo usuário ao realizar uma dada tarefa que exige interação com o sistema. Diante disso, foram elaboradas a questão de pesquisa QP1 e suas respectivas hipóteses, detalhadas a seguir:

QP1: Quais fatores pessoais exercem mais influência sobre os erros cometidos pelo usuário ao interagir com o sistema dentro do contexto estabelecido?

H1-0: As emoções negativas não exercem influência significativa sobre os erros.

H1-1: As emoções negativas exercem influência significativa sobre os erros.

H2-0: As emoções positivas não exercem influência significativa sobre os erros.

H2-1: As emoções positivas exercem influência significativa sobre os erros.

H3-0: O neuroticismo não exerce influência significativa sobre os erros.

H3-1: O neuroticismo exerce influência significativa sobre os erros.

H4-0: A extroversão não exerce influência significativa sobre os erros.

H4-1: A extroversão exerce influência significativa sobre os erros.

H5-0: A consciência não exerce influência significativa sobre os erros.

H5-1: A consciência exerce influência significativa sobre os erros.

H6-0: A imaginação não exerce influência significativa sobre os erros.

H6-1: A imaginação exerce influência significativa sobre os erros.

H7-0: A ansiedade não exerce influência significativa sobre os erros.

H7-1: A ansiedade exerce influência significativa sobre os erros.

C. Seleção de Variáveis

No estudo de caso foram medidas 26 (vinte e seis) variáveis relacionadas aos aspectos emocionais e comportamentais de cada usuário. Deste total, 07 (sete) foram escolhidas para estudo com auxílio de um profissional com doutorado em Psicologia, que atua profissionalmente na área de Psicologia Cognitiva há pelo menos 5 anos. A seleção das variáveis foi realizada com base no maior potencial representativo das mesmas para o objetivo da pesquisa, ou seja, aquelas que constituem fatores pessoais com as maiores capacidades para representar os estados emocional e comportamental dos usuários. As variáveis escolhidas são definidas a seguir:

- **Emoções Positivas e Negativas:** representam a média do número de ocorrências de emoções positivas e negativas originadas a partir de registros de vídeo referentes à visualização dos rostos dos usuários que foram analisados sob três perspectivas distintas: (a) considera o contexto no qual a expressão facial se apresenta, tendo como base os tempos de picos eletrodermais ou da ocorrência de eventos estressores; (b) um conjunto de expressões faciais é apresentado em fotos (extraídas dos vídeos) que são interpretadas, em emoções, pelos próprios usuários das fotos; (c) o mesmo conjunto de expressões classificado pelos usuários de teste é interpretado por um psicólogo.
- **Extroversão, Neuroticismo, Consciência e Imaginação:** representam os traços de personalidade mais fortes e mais fracos para cada participante do teste. Essas variáveis foram medidas a partir da ferramenta BF-50. As características associadas a cada um dos fatores

são: Extroversão (falante, assertivo e ativo); Consciência (organizado, profundo e seguro); Neuroticismo (nervosismo, mudança de humor e emotivo); e Imaginação (imaginativo, curioso e criativo).

- **Ansiedade:** é expressa a partir do Sistema Nervoso Autônomo em duas perspectivas, quando este reage a um estímulo ou excitação do organismo em uma situação de alerta (Sistema Nervoso Parassimpático) ou quando reage ao relaxamento (Sistema Nervoso Simpático) ou estado de esgotamento (físico ou cognitivo). A mensuração da ansiedade pode ser realizada a partir da interpretação da variação de frequência cardíaca do indivíduo. Os valores desta variável foram medidos com auxílio do sistema BIOPAC.
- **Erro:** representa o número de erros cometidos ao utilizar a ferramenta GENEPI e à interação com o seu contexto de uso (ambiente). O erro se caracteriza pela omissão de uma ação (não preenchimento de campos) ou pela ação correta sob um objeto incorreto (preenchimento errôneo dos campos). No segundo caso, o erro se caracteriza quando o usuário solicita informação a um órgão que não detém a informação requerida, ou seja, quando efetua a ligação para um órgão e demanda informação conhecida por outro órgão (ação correta sob um objeto incorreto).

D. Seleção de Unidades Experimentais

O universo de usuários de teste foi composto por sete (07) participantes, homens (3/7) e mulheres (4/7) pertencentes à faixa etária abrangente - entre 18 e 24 anos (3/7), entre 25 e 35 (2/7) e acima de 38 (2/7), em que a maioria (6/7) possui limitações visuais sendo portadores de lentes corretivas. Os usuários de teste pertencem ao meio acadêmico/universitário, na seguinte distribuição: graduação em curso (1/7), mestrado em curso (3/7), doutorado em curso (1/7) e doutorado concluído (2/7). Os usuários passaram por um treinamento para se familiarizarem com GENEPI e com o seu contexto de uso. O treinamento foi realizado por um especialista em acidentes marítimos que participou do desenvolvimento do GENEPI.

E. Design de Experimentos

Neste trabalho, os dados foram coletados a partir do experimento descrito na Seção III-A. A investigação empírica consistiu em um estudo de caso do tipo casual, uma vez que não foi possível controlar as variáveis estudadas.

O experimento contou ao todo com 08 (oito) observações, no entanto, a primeira consistiu em um teste piloto que foi posteriormente descartado. Esse teste serviu para obter um refinamento do processo de coleta de dados. A coleta de dados foi realizada mediante monitoramento de vídeo do usuário durante a realização da tarefa designada.

A análise de dados consistiu em uma análise univariada, pois devido ao tamanho da amostra não é possível avaliar estatisticamente a relação simultânea de duas ou mais variáveis com a variável Erro.

Realizou-se uma análise estatística composta por três etapas principais: verificação de normalidade dos dados, análise de correlação das variáveis e um estudo de regressão. O primeiro

passo dessa análise consistiu em verificar quais variáveis seguem distribuição Normal, para em seguida decidir sobre o método mais adequado (*Pearson* ou *Spearman*) para obter o grau de correlação entre essas variáveis. Para avaliação de normalidade, foi escolhido o método de *Shapiro-Wilk*, no nível de 95% de confiança, pelo fato deste ser mais adequado para amostras pequenas. O terceiro passo da análise consistiu em encontrar modelos de regressão simples entre a variável resposta (Erro) e os preditores (demais variáveis).

F. Instrumentação

Neste trabalho, foram utilizadas algumas ferramentas de apoio, desde a coleta de dados até a análise dos resultados. São elas:

- **BF-50 [17]:** corresponde a um questionário de avaliação comportamental que permite analisar a personalidade a partir de 25 questões. O BF-50 surgiu a partir de estudos sobre a Teoria dos Traços de Personalidade [18], representando um avanço conceitual e empírico na área de psicologia, sendo capaz de descrever dimensões humanas básicas de forma consistente e replicável. Ele é um dos principais instrumentos psicométricos utilizado para identificar quais traços de personalidade são mais fortes e mais fracos em um indivíduo.
- **Software R [19]:** é um ambiente de software livre para computação e gráficos estatísticos. O R foi desenvolvido por estatísticos na década de 90 e oferece uma grande variedade de métodos para modelagens linear e não linear, testes estatísticos clássicos, análise de séries temporais, classificação, agrupamento, etc. Essa ferramenta compila e executa em uma ampla variedade de plataformas tais como UNIX, Windows e MacOS.
- **BIOPAC¹:** é um sistema especializado em aquisição e análise de dados fisiológicos. Inclui hardware e software para registrar dados corporais de seres humanos e animais.

G. Ameaças à Validade

Foi realizada uma análise de ameaças à validade, resultando na identificação dos seguintes tipos, de acordo com a classificação de Wohlin et al. [20]:

- **Validade externa:** devido ao tamanho reduzido da amostra, não é possível generalizar o que foi alcançado para o mundo. Portanto, os resultados obtidos acabam se restringindo ao contexto do experimento.
- **Validade interna:** algumas variáveis foram medidas, porém não foram avaliadas. O critério de seleção das variáveis está sujeito a um viés do pesquisador ou especialista da área.
- **Validade de conclusão:** quanto menor a amostra, menor é o poder estatístico. Desta forma, as conclusões deste trabalho estão sujeitas à baixa significância estatística.

¹<https://www.biopac.com/>

TABELA I
RESULTADOS DO TESTE DE NORMALIDADE

Variável	Shapiro-Wilk (p-valor)
Emoções Positivas	0.1293
Emoções Negativas	0.1092
Neuroticismo	0.107
Extroversão	0.6389
Consciência	0.1842
Imaginação	0.2659
Ansiedade	0.7345
Erro	0.0479

TABELA II
RESULTADOS DAS CORRELAÇÕES

Variável x Erro	ρ (rho)
Emoções Positivas	-0.66
Emoções Negativas	0.38
Neuroticismo	-0.15
Extroversão	0.40
Consciência	-0.75
Imaginação	0.82
Ansiedade	0.90

IV. RESULTADOS

Nesta seção, são apresentados os resultados do presente estudo. Na Tabela I, podem ser observados os resultados da aplicação do método de *Shapiro-Wilker* para avaliação de normalidade dos dados.

Na Tabela II, tem-se os resultados da aplicação do método de *Spearman* para verificação do grau de correlação entre as variáveis desse estudo.

Na Tabela III, são apresentados os tipos de correlação de acordo com o coeficiente de correlação de ρ (rho) do método de *Spearman*.

Na Tabela IV, são apresentados os resultados referentes aos modelos de regressão encontrados, com 95% de confiança. Neste caso, foram encontrados modelos do tipo quadrático (Emoções Negativas, Emoções Positivas, Extroversão e Ansiedade), exponencial (Consciência) e linear (Imaginação). Para a variável Neuroticismo, a correlação encontrada foi muito baixa, portanto, não foi necessário um estudo de regressão para este caso. Apenas foram considerados válidos os modelos que passaram (p -valor < 0.05) nos testes estatísticos t e F , e cujas premissas de normalidade dos resíduos (independência e homocedasticidade dos resíduos) foram satisfeitas. Para verificação das premissas foram utilizados os respectivos métodos: *Shapiro-Wilk*, gráfico de dispersão e teste de *Bartlett*.

TABELA III
CLASSIFICAÇÃO DA CORRELAÇÃO

Nível da Correlação	Coefficiente de Correlação
Muito Fraca	$ \rho \leq 0.1$
Fraca	$0.1 < \rho \leq 0.3$
Moderada	$0.3 < \rho \leq 0.7$
Forte	$0.7 < \rho \leq 0.9$
Muito Forte	$ \rho > 0.9$

TABELA IV
RESULTADOS DA REGRESSÃO

Variáveis X	Teste <i>t</i> (p-valor)	Teste <i>F</i> (p-valor)	Coefficiente de determinação
Erro			
Emoções Negativas	0.0019	0.0016	0.9861
Emoções Positivas	0.0436	0.0523	0.8602
Neuroticismo	-	-	-
Extroversão	0.0772	0.01141	0.8859
Consciência	0.0402	0.0402	0.6912
Imaginação	0.0115	0.0115	0.9116
Ansiedade	0.0001	0.0001	0.9871

V. DISCUSSÃO

De acordo com os resultados de normalidade (Tabela I), com exceção da variável Erro, todas as demais se aproximam da distribuição Normal. Tal verificação foi necessária para possibilitar a escolha do método mais adequado para descobrir o grau de correlação entre as variáveis. O método de *Pearson* é indicado quando a relação é linear e os dados são normais, já o método de *Spearman* não exige nenhum desses pressupostos, porém seu poder estatístico é menor.

Após análise dos gráficos de dispersão das variáveis, verificou-se a existência de relação não linear entre elas, sendo assim, já não atende um dos pré-requisitos do método de *Pearson*. Além disso, a variável Erro não se aproxima da distribuição Normal, desta forma, o método de *Spearman* é a escolha mais adequada. A análise dos gráficos de dispersão revelou também a presença de *outliers*. Estes foram identificados, verificados caso a caso e removidos, quando necessário.

O estudo de correlação é importante para decidir sobre a definição do próximo passo que é tentar encontrar um modelo de regressão válido. Neste trabalho, foi utilizado o critério de que para justificar o uso da regressão seria necessário à existência de uma correlação de grau pelo menos moderado. As correlações fracas foram excluídas do estudo de regressão por não serem estatisticamente relevantes.

Após análise dos resultados, foi possível reunir informações suficientes para julgar (aceitar ou rejeitar) as hipóteses levantadas a partir da questão de pesquisa QP1.

H1-0 (rejeitada): As emoções negativas não exercem influência significativa sobre os erros.

Os dados analisados apontam para uma correlação mais consistente entre as emoções negativas e os erros. Como pode-se notar na Tabela IV, a correlação moderada positiva existente entre as variáveis Emoções Negativas e Erro indica que ambas crescem na mesma direção. Conclui-se também que usuários que apresentam mais emoções negativas tendem a cometer mais erros dado que 98.61% da variação de Erro é explicada por Emoções Negativas.

H2-0 (aceita): As emoções positivas não exercem influência significativa sobre os erros.

A correlação moderada negativa indica que as variáveis Emoções Positivas e Erro crescem em direções opostas. 86.02% da variação de Erro seria explicada por Emoções Positivas, entretanto, este valor não é válido, pois o modelo encontrado não passou nos testes estatísticos. Vários outros tipos de modelos foram testados, porém nenhum se mostrou adequado.

H3-0 (aceita): O neuroticismo não exerce influência significativa sobre os erros.

A correlação fraca negativa indica que as variáveis Neuroticismo e Erro crescem em direções opostas. Neste caso, devido à correlação ter sido fraca, a hipótese nula foi aceita sem a necessidade de um estudo de regressão.

H4-0 (aceita): A extroversão não exerce influência significativa sobre os erros.

A correlação moderada positiva indica que as variáveis Extroversão e Erro crescem na mesma direção. 88.59% da variação de Erro seria explicada por Extroversão, porém o modelo encontrado não passou nos testes estatísticos, desta forma, o coeficiente de determinação (R²) não é válido. Assim, dentro do contexto do experimento realizado, a extroversão não constitui um fator significativo para explicar os erros.

H5-0 (rejeitada): A consciência não exerce influência significativa sobre os erros.

A correlação forte negativa indica que as variáveis Consciência e Erro crescem em direções opostas. 69.12% da variação de Erro é explicada por Consciência, desta forma, conclui-se que usuários mais organizados, profundos e seguros tendem a cometer menos erros.

H6-0 (rejeitada): A imaginação não exerce influência significativa sobre os erros.

A correlação forte positiva indica que as variáveis Imaginação e Erro crescem na mesma direção. 91.16% da variação de Erro é explicada por Imaginação. Esse resultado em particular chamou mais atenção, pois a conclusão foi de que usuários imaginativos, curiosos e criativos tendem a cometer mais erros e esperava-se exatamente o contrário.

H7-0 (rejeitada): A ansiedade não exerce influência significativa sobre os erros.

A correlação forte positiva indica que ambas as variáveis Ansiedade e Erro crescem na mesma direção. 98.71% da variação de Erro é explicada por Ansiedade, sendo assim, conclui-se que usuários que apresentam mais esgotamento físico ou cognitivo tendem a cometer mais erros.

Os resultados deste estudo revelaram efeitos de fatores pessoais de caráter emocional e comportamental em falhas ocorridas durante a interação de usuários com sistemas críticos. Em geral, estes resultados estão alinhados com os estudos presentes na literatura e os complementam. Por exemplo, um primeiro resultado (deste artigo) indica que os erros ocorridos durante a manipulação do sistema crítico mediante a emoções negativas e positivas, respectivamente, teve moderada ou nenhuma relação significativa com a variável avaliada. Assim, as emoções negativas interferiram moderadamente na percepção de correteza do usuário, o que diminuiu a eficiência no uso do sistema. As emoções positivas, por si só, não tiveram efeito significativo em nenhum dos experimentos realizados. Os resultados sugerem que as emoções positivas não estão associadas às falhas no uso dos sistemas, apoiando a proposição de Mahlke [9], a qual diz respeito à ausência de um vínculo funcional entre estas variáveis. Além disto, os experimentos realizados neste estudo indicam evidência estatística de efeito das emoções negativas sobre a eficiência no uso do sistema, reforçando a suposição de relação entre estas variáveis apontada por Mahlke [9].

Um segundo resultado do presente estudo indica que a manipulação de fatores relacionados à ansiedade teve forte efeito sobre os erros ocorridos durante a interação com o sistema crítico. Dessa forma, nota-se que a reação do sistema nervoso a uma situação adversa que cause ansiedade interfere fortemente na atenção e percepção do usuário, fundamentais para o contexto avaliado. Estes resultados ampliam a descoberta realizada por Galy [14] de que variações na ansiedade dos usuários e, portanto, nas suas frequência cardíaca, afetam suas atividades cognitivas.

Dado que os estudos presentes na literatura acima discutidos investigaram principalmente ações cognitivas sob efeitos de fatores emocionais, os resultados deste estudo são consistentes com a ideia de que os indivíduos são induzidos, e seus esforços cognitivos influenciados, por suas emoções. No entanto, este trabalho também indica que fatores comportamentais são igualmente influenciadores.

Dentre os resultados obtidos, nota-se que o desempenho das tarefas de interação com o sistema crítico foi significativamente afetado pelos efeitos dos fatores relacionados à consciência e imaginação dos indivíduos. Enquanto a imaginação exerce uma influência positiva, a consciência exerce uma influência negativa, indicando que sua ausência é uma das causas significativa das falhas. A falta de consciência resulta em indivíduos com menor organização e segurança diante de acontecimentos inesperados. Este resultado corrobora com Bes [12], onde a ociosidade e inação são consideradas uma das principais causas de incidentes ocasionados por erros humanos. Dessa forma, a falta de consciência pode estar diretamente ligada às causas, e consequentemente, aos incidentes, citados por Bes [12] em seu estudo.

VI. CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS

A principal contribuição deste trabalho é a comprovação de que fatores pessoais de origem emocional e comportamental exercem influência significativa sobre a quantidade de erros cometidos pelo usuário ao realizar uma determinada tarefa que exija interação com um sistema crítico. Essa conclusão abre caminho para a elaboração de estratégias de prevenção de acidentes oriundos de falhas humanas.

A maior limitação deste trabalho está relacionada ao tamanho da amostra utilizada. Devido a restrições econômicas, não foi possível conduzir o estudo de caso com um número maior de usuários de teste. É sabido que este fato pode implicar diretamente nos resultados e conclusões da pesquisa, inclusive por tornar a análise dos dados mais complexa, pois exige uma escolha mais criteriosa de métodos estatísticos adequados para pequenas amostras. Outra limitação do trabalho diz respeito à impossibilidade de verificar a influência simultânea dos fatores analisados, pois de acordo com as boas práticas estatísticas para realizar uma análise multivariada é preciso ter, pelo menos, cinco observações para cada preditor para preservar o poder estatístico da pesquisa. Uma terceira limitação está relacionada às variáveis medidas durante o estudo de caso, mas que não foram incluídas no estudo tais como Fadiga, Tédio, Tristeza, Excitação, Nervosismo, Tensão, dentre outras. É possível que fatores importantes tenham sido

descartados, uma vez que o critério de seleção das variáveis foi elaborado por um especialista da área.

Como trabalhos futuros, podem ser destacados a realização de um estudo, dentro do mesmo contexto, com uma amostra maior que possibilite uma análise multivariada dos fatores considerados mais significativos neste trabalho. Outro caminho seria realizar um novo estudo de caso incorporando as variáveis não consideradas nesta pesquisa e em seguida confrontar com os resultados alcançados no presente trabalho.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

REFERÊNCIAS

- [1] J. C. Knight, "Safety critical systems: Challenges and directions," in *Proceedings of the 24th International Conference on Software Engineering*, ser. ICSE '02. New York, NY, USA: ACM, 2002, pp. 547–550. [Online]. Available: <http://doi.acm.org/10.1145/581339.581406>
- [2] J. Rakas, A. Bauranov, and B. Messika, "Failures of critical systems at airports: impact on aircraft operations and safety," *Safety science*, vol. 110, pp. 141–157, 2018.
- [3] P. Lohmüller, J. Rauscher, and B. Bauer, "Failure and change impact analysis for safety-critical systems," in *International Symposium on Business Modeling and Software Design*. Springer, 2019, pp. 47–63.
- [4] N. Moray, T. Inagaki, and M. Itoh, "Adaptive automation, trust, and self-confidence in fault management of time-critical tasks," *Journal of experimental psychology: Applied*, vol. 6, no. 1, p. 44, 2000.
- [5] S. K. Dubey, S. Singh, and H. Chaudhary, "Evaluation of reliability of critical software system using fuzzy approach," *International Journal of System Assurance Engineering and Management*, vol. 8, no. 2, pp. 1327–1335, 2017.
- [6] I. Sommerville, "Software engineering. 10th," 2015.
- [7] B. Strauch, *Investigating human error: Incidents, accidents, and complex systems*. CRC Press, 2017.
- [8] A. Petrillo, F. De Felice, F. Longo, A. G. Bruzzone *et al.*, "Factors affecting the human error: representations of mental models for emergency management," *IJSPM*, vol. 12, no. 3/4, pp. 287–299, 2017.
- [9] S. Mahlke, M. Minge, and M. Thüring, "Measuring multiple components of emotions in interactive contexts," in *CHI '06 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, ser. CHI EA '06. New York, NY, USA: ACM, 2006, pp. 1061–1066. [Online]. Available: <http://doi.acm.org/10.1145/1125451.1125653>
- [10] D. Scherer and M. Vieira, "Accounting for the human error when building the user profile," in *Third IASTED International conference human-computer interaction*, 2008, pp. 132–137.
- [11] J. A. Russell, "A circumplex model of affect," *Journal of personality and social psychology*, vol. 39, no. 6, p. 1161, 1980.
- [12] M.-o. Bes, "A case study of a human error in a dynamic environment," *Interacting with Computers*, vol. 11, no. 5, pp. 525–543, 1999.
- [13] V. D. KEYSER, "Time in ergonomics research," *Ergonomics*, vol. 38, no. 8, pp. 1639–1660, 1995.
- [14] E. Galy, M. Cariou, and C. Mélan, "What is the relationship between mental workload factors and cognitive load types?" *International Journal of Psychophysiology*, vol. 83, no. 3, pp. 269–275, 2012.
- [15] Y. Aguiar and M. Vieira, "Proposal of a protocol to support product usability evaluation," in *Fourth IASTED International Conference Human-Computer Interaction*, 2009, pp. 282–289.
- [16] J. Mercantini, C. Guerrero, and D. d. Freitas, "Designing a software tool to plan fight action against marine pollutions," in *The 7th International Mediterranean and Latin American Modelling Multiconference*, October, 2010, pp. 13–15.
- [17] L. R. Goldberg, "The structure of phenotypic personality traits," *American psychologist*, vol. 48, no. 1, p. 26, 1993.
- [18] C. S. Hall, G. Lindzey, and J. B. Campbell, *Teorias da personalidade*. Artmed Editora, 2000.
- [19] J. Verzani, *Using R for introductory statistics*. Chapman and Hall/CRC, 2018.

- [20] C. Wohlin, P. Runeson, M. Hst, M. C. Ohlsson, B. Regnell, and A. Wesslin, *Experimentation in Software Engineering*. Springer Publishing Company, Incorporated, 2012.



Alexandre Costa é bacharel (2011), mestre (2014) e doutor (2019) em Ciência da Computação pela Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). Atualmente é pesquisador na área de Engenharia de Software pelo *Intelligent Software Engineering (ISE) Group*. Tem experiência nas temáticas de formação de equipes, projetos ágeis, algoritmos genéticos e sistemas de recomendação.



Dalton C. G. Valadares é mestre e doutorando em Ciência da Computação pela Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). Atualmente é professor no Instituto Federal de Pernambuco (IFPE). Tem experiência nas áreas de Internet das Coisas, Sistemas Embarcados, Redes de Computadores (Redes de Sensores Sem Fio e Redes Sem Fio), Engenharia de Software, Desenvolvimento de Sistemas e Práticas/Métodos para Gerenciamento de Projetos.



Luiz Silva Luiz Silva é mestre (2018) em Ciência da Computação pela Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). Atualmente é pesquisador pelo Laboratório de Instrumentação Eletrônica e Controle (LIEC). Tem experiência nas temáticas de Aprendizagem de Máquina e Engenharia de Software.



Yuska Aguiar é doutora em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Campina Grande, em co-tutela com a Université Paul Cezanne Aix-Marseille. Atualmente realiza pesquisa de pós-doutorado sobre o desenvolvimento e a avaliação de recursos digitais para usuários com Transtorno do Espectro Autista (TEA) no Centre de Recherche en Psychologie de la Connaissance, França.



Felipe Ramos é bacharel (2011), mestre (2014) e doutor (2019) em Ciência da Computação pela Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). Atualmente é pesquisador na área de Engenharia de Software. Tem experiência nas temáticas de genericamente de requisitos e sistemas de recomendação.



Ademar Sousa Neto é doutorando em Ciência da Computação no Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). Mestre em Ciência da Computação pelo Programa de Pós-Graduação PPgCC, de associação ampla entre a Universidade do Estado do Rio Grande do Norte (UERN) e a Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA).