

Consciência situacional, tomada de decisão e modos de controle cognitivo em ambientes complexos

Éder Henriqson PUCRS

Guido César Carim Júnior UFRGS

Tarcísio Abreu Saurin UFRGS

Fernando Gonçalves Amaral UFRGS

RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo analisar a consciência situacional, os processos de tomada de decisão naturalística e os modos de controle cognitivo utilizados por pilotos de aeronaves em um experimento em simulador de voo. Dessa forma, diferentes situações foram propostas durante a simulação objetivando o estudo da consciência situacional e tomada de decisão dos tripulantes. As ações dos participantes foram investigadas e classificadas de acordo com o modelo de controle cognitivo proposto. Os resultados sugerem que os fatores de complexidade contextual afetam a gestão da dificuldade, influenciando a consciência situacional, a tomada de decisão e os modos de controle cognitivo dos pilotos.

PALAVRAS-CHAVE

Consciência situacional, tomada de decisão, controle cognitivo, método de decisão crítica, simulação de voo.

Situation awareness, decision making, and cognitive control in complex environments

ABSTRACT

This work aims to analyze situation awareness, natural decision-making processes and cognitive control modes used by airplane pilots in a flight simulator experiment. In this way, different situations during flight simulation were considered in order to study the crew's situation awareness and natural decision-making. The participants' actions were investigated and classified according to the cognitive control model proposed. Results suggest that context complexity factors affect difficulty management, influencing situation awareness, decision-making and pilots' cognitive control modes.

KEYWORDS

Situation awareness, decision making, cognitive control, critical decision method, flight simulation.

1. INTRODUÇÃO

A participação do erro humano como fator contribuinte em acidentes em sistemas complexos de alta tecnologia tem sido crescente nas últimas décadas (DEKKER, 2002; HOLLNAGEL; WOODS, 2005). Contudo, tal crescimento não se deve isoladamente às limitações físicas e cognitivas intrínsecas aos seres humanos, mas à desconsideração ou consideração inadequada das interfaces dos operadores com os demais elementos dos sistemas sociotécnicos complexos (SARTER; AMALBERTI, 2005; WOODS; HOLLNAGEL, 2006).

Dentre as características da evolução dos sistemas de tecnologia avançada podem ser destacados o distanciamento progressivo do operador da condução manual do sistema (HOLLNAGEL; WOODS, 2005) e o projeto de mecanismos redundantes de proteção contra falhas (MARMARAS; PAVARD, 1999; REASON, 1997). Hollnagel e Woods (2005) salientam que os ganhos em desempenho resultantes dessa evolução têm gerado como subproduto a necessidade de precisão do operador em suas ações de controle que, com frequência, está além das capacidades psicomotoras ou mentais.

Tais mudanças na condição de trabalho dos operadores e o crescente emprego da automatização nos processos produtivos ocasionaram a progressiva transferência das atividades, de natureza tipicamente física, para cada vez mais mentais (BILLINGS, 1996, 1997; SARTER; WOODS, 1997).

Na indústria do transporte aéreo destacam-se os constrangimentos relativos ao trabalho de equipes nas cabines de comando, executado por comandantes e copilotos, no qual deficiências de coordenação entre os agentes emergem através das falhas de consciência situacional coletiva, precedidas por julgamento e decisões incorretos, ocorrência de erros e aumento da carga mental dos operadores (ENDSLEY, 1995; ENDSLEY; PEARCE, 2001; WOODS; SARTER, 2005; FLOTZ, 2008).

Nesse sentido, a análise dos modos de controle cognitivo utilizados pelos operadores pode revelar processos cognitivos adjacentes à realização do trabalho (RASMUSSEN, 1982). Da mesma forma, o exame da relação entre tomada de decisão e modos de controle cognitivo pode permitir a descrição do ajuste entre a capacitação da equipe de pilotos para superação dos fatores de complexidade do sistema (HOLLNAGEL; WOODS, 2005).

O presente trabalho propõe então, a partir da análise dos fatores de complexidade da atividade, analisar a consciência situacional, os processos de tomada de decisão e os

modos de controle cognitivo utilizados por equipes de pilotos na condução de aeronaves, através da realização de um experimento em simulador de voo.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Fatores de complexidade

A complexidade é externa ao operador e reside no contexto (PERROW, 1984). Desse modo, pode-se diferenciar complexidade de dificuldade na medida em que essa última é inerente ao trabalho sendo executado pelo operador a partir de suas competências, habilidades e saberes (AMALBERTI, 1996).

Woods (1998) distingue três fatores básicos que levam à complexidade: características do sistema, características dos operadores e características das interfaces. Como características dos sistemas, encontram-se o dinamismo, o risco, a incerteza e as exigências da tarefa. Em relação às características dos operadores, pode-se salientar o número de agentes envolvidos e as relações hierárquicas entre

Analisar a consciência situacional, os processos de tomada de decisão e modos de controle cognitivo utilizados por equipes de pilotos através da realização de um experimento em simulador de voo.

os mesmos. As características das interfaces correspondem a aspectos relacionados à lógica do produto, se são, por exemplo, numéricas ou analógicas, fixas ou adaptáveis, entre outras.

Os fatores citados por Woods (1998) podem ser adicionalmente desagregados e exigem definições conceituais. Por exemplo, o dinamismo, ou dinâmica de processo, é definido pela duração média das atividades e a velocidade de transição na mudança dos estados do sistema (LEPLAT, 1987; PERROW, 1984; HOLLNAGEL; WOODS, 2005). A incerteza decorre da falta de informações que permitam antecipar os estados futuros do sistema. Já o risco pode decorrer de subfatores como a irreversibilidade e a pressão temporal que, por sua vez, é definida pelo tempo disponível para o operador tomar decisão e agir sobre o sistema. Weiner (1993) considera que mais de 30% dos acidentes e incidentes graves da aeronáutica possuem um componente ligado a uma excessiva pressão temporal. Segundo o referido autor, em 63% de um conjunto de acidentes investigados, a pressão temporal excessiva foi produzida na preparação do voo. A pressão temporal é um elemento fundamental na percepção

de carga de trabalho e estresse do operador, prejudicando a consciência situacional e a tomada de decisão e diminuindo a profundidade da compreensão do problema e o engajamento do operador para obter uma escolha eficaz (HOC; AMALBERTI; BOREHAM, 1995; LEPLAT, 1987; LEPLAT; CUNY, 1998; RASMUSSEN; DUNCAN; LEPLAT, 1987).

A complexidade depende também da estrutura de cooperação entre os agentes do sistema (AMALBERTI, 1996; RASMUSSEN; PEJTERSEN; GOODSTEIN, 1994). Distinguem-se, dessa forma, três estruturas implícitas no processo cooperativo: estrutura hierárquica (cooperação vertical, estabelecimento de objetivos comuns, distribuição, organização do trabalho, personalidade dos atores e estilos de liderança); estrutura funcional (cooperação horizontal, distribuição do trabalho na equipe de delegação de tarefas, comunicação, estratégias e modelos mentais); e estrutura temporal (coordenação entre agentes e processo) (HELMREICH; MERRIT, 2000; SARTER; WOODS, 1997).

A complexidade ligada à interface é consequência direta da quantidade e da qualidade de *feedbacks* de informação do sistema para o operador (AMALBERTI, 1996). Nessa lógica, o desempenho do operador depende das informações provenientes dos dispositivos de interface, tais como painéis, controles, entre outros (WOODS, 1998).

2.2 Determinantes do controle cognitivo

Diversos autores, dentre eles Leplat (1987), Rasmussen (1982), Wickens e Hollands (2000), Endsley (1995, 1999) e Foltz (2008), têm buscado compreender o funcionamento dos elementos da cognição humana (percepção, atenção, memória, tomada de decisão, resposta motora, entre outros) em termos de estrutura, conteúdo e funcionalidade, através da proposição de modelos de controle cognitivo.

Tais modelos trazem contribuições à compreensão de diferentes mecanismos da cognição humana individual e distribuída, destacando-se os trabalhos de Endsley (1995; 1999), por articularem os mecanismos da cognição como representações e compreensões, bem como o trabalho de Rasmussen (1982), ao propor a classificação de diferentes modos de controle cognitivo para explicar a tomada de decisão.

O controle cognitivo pode dar-se de modo consciente, inconsciente ou misto, dependendo do tipo de demanda cognitiva das situações (RASMUSSEN, 1982; REASON, 1990). Para demandas cognitivas relacionadas às situações de rotina ou àquelas cujo grau de previsibilidade é maior, as ações serão baseadas em habilidades ou aptidões, sendo consideradas respostas psicomotoras realizadas de modo inconsciente (Skill-Based Behavior – SBB). Já situações de não rotina, mas que haja algum treinamento, as ações serão executadas com base em regras (Rule-Based

Behavior – RBB), sejam elas procedimentos preestabelecidos ou legislação vigente; e situações inusitadas serão atuadas com base em conhecimento, seja ele tácito ou teórico (Knowledge-Based Behavior – KBB).

Para Endsley (1999) e Endsley e Tilbury (2004), cada ato de processamento de informação é mediado pelo sistema de categorias e conceitos, os quais constituem uma representação de mundo. Os autores identificam, então, que a execução de uma tarefa é determinada por uma decisão, a qual, por sua vez, depende da adequada compreensão da situação. Essa compreensão das situações ao nível de representações (ou consciência situacional) se processa cognitivamente em três níveis. Inicialmente, tem-se a percepção dos elementos da situação corrente; no segundo nível, os elementos percebidos são compreendidos pela ativação dos mecanismos de memória e associação direta ou indireta com os modelos mentais (esquemas e planos) mais próximos da situação percebida; e, no terceiro nível, ocorre a manifestação dos mecanismos de antecipação (*feedforward*) dos estados futuros do sistema.

Parte-se do pressuposto que os modos de controle cognitivo de Rasmussen (1982) complementam a abordagem dos níveis de consciência situacional definidos por Endsley (1995; 1999), na medida em que explicam a gestão de recursos cognitivos no controle das tarefas e na tomada de decisão. Os níveis de controle cognitivo definidos por Rasmussen (1982) indicam o esforço cognitivo do operador que precede a resposta motora, sendo influenciados por inúmeras variáveis, tais como: condição da tarefa, carga de trabalho, estresse, ansiedade, entre outras. É a partir da consciência situacional que as decisões e ações de controle são, pois, selecionadas e ativadas (WOODS; SARTER, 2005).

3. MÉTODO DE PESQUISA

Para analisar a relação entre consciência situacional, processos de tomada de decisão e modos de controle cognitivo a partir da influência dos fatores de complexidade, optou-se pela realização de um estudo qualitativo através da elaboração de experimentos com base em análise de tarefas cognitivas (FLICK, 2004; CRANDALL; KLEIN; HOFFMAN, 2006).

Para cumprir o objetivo proposto, o método foi dividido em três fases: (1) construção de um modelo teórico de tomada de decisão, segundo os níveis de consciência situacional e os modos de controle cognitivo – tal modelo foi baseado na revisão bibliográfica e serviu como referência de análise das atividades dos operadores; (2) projeto e realização dos experimentos; e (3) análise dos dados.

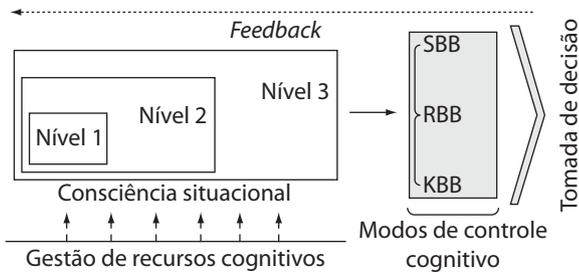


Figura 1: Modelo Teórico Proposto.

3.1 Modelo teórico de tomada de decisão, segundo níveis de consciência situacional e modos de controle cognitivo

A revisão bibliográfica apontou evidências de importantes correlações entre os modelos teóricos de Rasmussen (1982) e Endsley (1995; 1999). A tomada de decisão pode ser ainda analisada como consequência da teoria da gestão do compromisso cognitivo de Amalberti (1996) para a gestão da dificuldade. A Figura 1 apresenta a articulação das teorias definindo o modelo de análise proposto.

O modelo de consciência situacional de Endsley (1995; 1999) serviu de base para a investigação dos fatores determinantes do modo de controle cognitivo e da tomada de decisão. O modelo de consciência situacional apresentado na Figura 1 compreende três níveis de representação e gestão de recursos cognitivos por parte dos operadores: detecção e percepção de sinais (nível 1), compreensão (nível 2) e projeção futura (nível 3). Entende-se que os três níveis precedem a tomada de decisão, a qual será influenciada pelo modo de controle cognitivo dos operadores para uma dada situação. O modelo não exclui a interferência de fatores como atenção, memória, conhecimento, experiências (tratados como gestão de recursos cognitivos) e o *feedback* de sinais/informações já processadas.

3.2 Elaboração e validação do experimento

Na segunda etapa, foi projetado o experimento com definição do local, equipamento de simulação, participantes voluntários, cenário (contexto do voo) e elaboração dos instrumentos de coleta de dados. Para tanto, foram realizados dois voos simulados seguidos de entrevistas semiestruturadas com os pilotos participantes, baseadas no Método de Decisão Crítica (Critical Decision Method – CDM). O CDM corresponde a uma técnica de coleta de dados para eliciação de conhecimentos em análise de tarefas cognitivas, baseado na realização de entrevistas episódicas relativas às situações críticas ocorridas no trabalho (HOFFMAN; CRANDALL; SHADBOLT, 1998). Essa técnica corresponde a um método válido para analisar as dimensões cognitivas

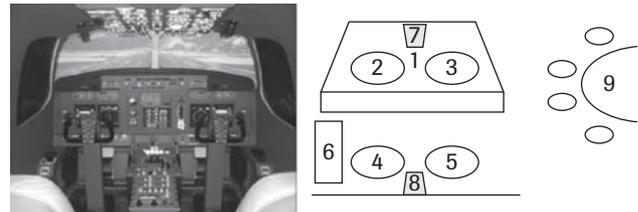


Figura 2: Simulador e Recursos do Experimento.

do trabalho, sendo crescente o seu uso em pesquisas envolvendo simulações (CRANDALL; KLEIN; HOFFMAN, 2006). O primeiro experimento serviu para validação do cenário e ajustes no protocolo de pesquisa, sendo o segundo efetivamente voltado à coleta e análise dos dados.

Os experimentos foram realizados em um laboratório de simulação de voo de um centro universitário, utilizando um simulador tipo Elite PC-ATD (Personal Computer – Basic Aviation Training Devices) com capacidade para acomodar dois pilotos e dois observadores.

Os pilotos atuaram como participantes voluntários, sendo selecionados a partir dos seguintes critérios: possuir licença de piloto comercial, habilitações de multimotor e voo por instrumentos, experiência de voo na categoria de aeronave e tempo de profissão aproximado de cinco anos, ou mais de 1.500 horas de voo. Estes critérios fundamentaram-se na necessidade de o experimento investigar pilotos profissionais capacitados segundo critérios estabelecidos na legislação aeronáutica brasileira vigente para o exercício dessa atividade.

O cenário se consistiu de um voo com partida do aeroporto de Poços de Caldas (MG) com destino ao aeroporto de Congonhas (SP), desenvolvido a partir de entrevistas com especialistas nesse tipo de operação (pilotos, controladores de tráfego e meteorologistas). O contexto do trabalho representou um voo fretado de uma empresa de transporte aéreo não regular, para o transporte de malotes de dinheiro de um banco, em uma aeronave Beechcraft Baron, modelo B-58C, bimotor a pistão com capacidade para dois tripulantes e quatro passageiros. Todas as informações necessárias para a realização do voo (por exemplo, meteorologia, rota e detalhes do transporte) foram fornecidas aos pilotos.

Para auxiliar os pesquisadores na coleta de dados e nas entrevistas foram utilizadas duas câmeras de vídeo e planilhas de registro de dados. A Figura 2 apresenta o simulador utilizado e a representação da distribuição dos recursos durante a simulação.

A imagem à esquerda da Figura 2 representa o simulador utilizado na realização dos experimentos. Ao lado direito, tem-se um esquema da distribuição dos recursos, sendo: (1) simulador de voo; (2) posição do comandante (Pilot Flying); (3) posição do copiloto (Pilot Monitoring Flight);

(4) observador/conductor do cenário; (5) observador/registrator de dados; (6) console de controles do cenário da simulação (meteorologia, condições da aeronave, condições dos aeroportos, auxílios-rádio de navegação); (7) câmera de vídeo frontal; (8) câmera de vídeo posterior; e (9) mesa e cadeiras para a realização das entrevistas episódicas.

3.3 Procedimentos de coleta e análise dos dados

Após a realização do experimento em simulador de voo, foi realizada uma sessão de entrevista com os participantes para o relato das atividades executadas. As entrevistas também foram filmadas, buscando registrar as ações executadas pelos participantes, as verbalizações e os eventuais erros cometidos durante a operação. As gravações da simulação serviram como material auxiliar para a análise das verbalizações das atividades durante as entrevistas.

Para a geração de eventos críticos, segundo o CDM, foram propostas doze situações em diferentes etapas do voo. A análise do desempenho dos pilotos em cada situação foi feita à luz do modelo proposto, avaliando os níveis de consciência situacional ativados e os modos de controle cognitivo utilizados na resolução das situações e a decisão tomada.

Em um segundo momento, procurou-se quantificar a frequência com que cada tipo de atividade foi executado através da classificação dos níveis de consciência situacional, da ocorrência de erros e dos modos de controle cognitivo durante os eventos críticos. O objetivo foi identificar se houve relação entre o tipo de atividade executada e os modos de controle cognitivo no qual ela ocorreu.

4. RESULTADOS

4.1 Descrição das atividades dos tripulantes

Embora haja a distinção hierárquica e funcional entre comandante e copiloto, na prática, a operação da aeronave é realizada através da divisão de tarefas e áreas de responsabilidade. As tarefas são divididas entre os pilotos de forma a reduzir a carga de trabalho e a fadiga, através da definição dos papéis de Pilot Flying (Piloto Voando), ou PF, e Pilot Monitoring Flight (Piloto Monitorando o Voo), ou PMF, alternados nas diferentes etapas. Assim, em um voo com duas etapas (A para B e B para C), uma das etapas da função de PF estará a cargo do comandante, e a outra, com o copiloto.

Cabe ao PF a realização direta das tarefas relativas ao controle da aeronave em termos de desempenho de operação (velocidade, atitude, altitude, proas, potência de motores etc.) e manipulação dos controles de voo (manche, pedais, aceleradores, piloto automático, entre outros). O

PMF tem como função principal o monitoramento dos parâmetros de voo da aeronave e, secundariamente, o assessoramento ao PF em tarefas auxiliares, tais como: comunicação via rádio com órgãos de serviço de tráfego aéreo, coordenação com o centro de operações da empresa, preenchimento de documentos relativos ao voo (formulário de plano de voo, livro de bordo, entre outros), separação e organização das cartas e mapas aeronáuticos de acordo com a etapa do voo.

A rotina das tarefas é organizada em ciclos que compreendem diferentes fases da operação, tais como: pré-voo; acionamento e *taxi-out*; decolagem; subida em rota; voo de cruzeiro; descida; aproximação; pouso e *taxi-in*; estacionamento e corte do motor. Cada uma dessas fases é definida pela realização de um conjunto de ações detalhadas nos manuais de operação da aeronave e segundo a padronização de operações da empresa. O início de cada fase de operação pode ser caracterizado pela circunstância de operação da aeronave. Por exemplo, a decolagem compreende o momento em que o piloto aplica potência nos motores da aeronave para decolar até passar pela altitude de 35 ft (10 m), quando, então, inicia-se a fase de subida.

Todavia, em termos de atividade, é possível identificar que cada fase corresponde ao início de um ciclo de tarefas especificadas nos manuais de padronização das operações. Assim, por exemplo, é possível observar que a fase de aproximação inicia-se quando a aeronave passa pelo fixo de aproximação inicial e os pilotos realizam uma sequência de tarefas para preparar a aeronave para o pouso. Ao final das ações, é realizada a leitura de uma lista de verificações como medida preventiva a possíveis lapsos de memória ou deslizes na execução da atividade.

4.2 Análise dos fatores de complexidade

O protocolo de ações padronizadas e necessárias à operação do voo impôs uma importante constatação: a carga de trabalho dos operadores é função da dificuldade e quantidade de tarefas realizadas em um determinado intervalo de tempo, conforme proposto por Hart (1982), Wisner (1997) e Woods (1998). O conflito entre o tempo do processo e o tempo do operador constitui-se em constrangimentos aos operadores quando o tempo do processo é menor que o tempo do operador. Um exemplo dessa situação pode ocorrer na decolagem, quando se observa que a falta de conhecimento ou experiência do operador faz com que as ações do mesmo fiquem atrasadas em relação à sequência de atividades do trabalho. Nesses momentos é comum observar a aeronave passar pela altitude de transição sem que a tripulação tenha completado as ações necessárias do procedimento pós-decolagem. Tal evidência corrobora as proposições de Amalberti (1996) ao afirmar que, nas situações

em que o tempo do operador é inferior ao do processo, a gestão do compromisso cognitivo é mais difícil.

Assim, pode-se constatar que rotas definidas entre localidades mais longínquas sugerem um tempo de processo maior, reduzindo a dificuldade e a complexidade. Segundo um dos entrevistados: “Foi um voo trabalhoso, pois a rota era curta e não dava tempo para a gente se ocupar com outras coisas, tinha sempre que estar pensando na frente”.

Embora o trabalho seja padronizado de forma bastante detalhada, as pequenas variações foram observadas em consequência da gestão do compromisso cognitivo dos operadores na realização da atividade. Em especial, essas variações foram observadas quando havia mais de um foco de demanda atencional, ou seja, quando atividades estavam sendo executadas em paralelo. Tal aspecto é evidenciado nas palavras do copiloto: “Nessas horas eu precisava interromper o monitoramento ou a leitura do *checklist* para poder falar com o controle de tráfego aéreo”. Ou ainda, conforme relatado pelo comandante: “Eu tentava esperar ele terminar de fazer uma coisa para, então, pedir outra, senão eu podia sobrecarregá-lo ainda mais”. Um desses pontos ficou bastante evidenciado na simulação, principalmente no momento em que a aeronave já estava na aproximação final em Congonhas. Pela preocupação em verificar se conseguiriam enxergar prontamente a pista, ambos se descuidaram do controle da aeronave e ela se desviou de seu curso, o que levou o comandante a iniciar o procedimento de arremetida. Em uma situação real, tal desvio poderia fazer com que a aeronave colidisse com o terreno, caso ela se encontrasse na mesma altura das elevações na proximidade do aeroporto.

Em relação ao fator tempo, foram propostos contextos de imprevisibilidade e pressão que afetaram a tomada de decisão dos operadores, tal como ilustrado pela fala do comandante: “Tínhamos que monitorar o tempo (meteorologia) em Congonhas, pois não sabíamos, com certeza, se o aeroporto estaria fechado nas próximas horas. Então, precisávamos continuamente atualizar as informações meteorológicas. Caso as coisas piorassem em Congonhas, teríamos que alternar e não tinha muito combustível para ficar gastando”.

Esta verbalização revela ainda a presença do fator “irreversibilidade” na operação e como interferente na tomada de decisão. Em virtude da condição do total de combustível e do cenário meteorológico, foi necessária uma decisão de prosseguir ou não para o destino.

O risco interno pode ser caracterizado pela preocupação dos operadores com a definição do aeródromo como alternativa, caso o pouso de destino não fosse possível em função das condições meteorológicas. Isso porque o fato de seguir até o destino e não conseguir pousar deixaria a tripulação em uma condição de baixo nível de combustível remanescente para prosseguir para outra possibilidade,

caracterizando, ainda mais, o fator “irreversibilidade”, presente no contexto da simulação.

O risco externo constituiu-se fator de gestão presente nas tomadas de decisão das situações propostas e pode ser caracterizado principalmente pela interferência de cinco variáveis: carregamento da aeronave com passageiros e bagagens, combustível abastecido (ou autonomia), meteorologia do aeródromo de destino, meteorologia dos aeródromos de alternativa e distância entre as localidades.

No cenário da simulação foi proposto um tipo de carregamento da aeronave de passageiros e bagagens, que limitava o abastecimento de combustível ao mínimo regulamentar necessário para a realização da viagem. Os boletins meteorológicos apontavam atividades de uma frente fria na área de São Paulo, atuando sobre o clima de todos os aeródromos envolvidos na operação (destino e alternativa). A distância entre as localidades (origem, destino e alternativa) constituía-se em etapas de aproximadamente uma hora de voo. Esse contexto contribuiu para a tripulação perceber o risco da operação.

Segundo os entrevistados, a estrutura de cooperação, frequentemente abordada pelos participantes como CRM, contribuiu para a redução da dificuldade e a qualidade da condução do sistema através do trabalho de equipe. Segundo o copiloto: “O fato de nos conhecermos há algum tempo, termos formação semelhante e operarmos seguindo as mesmas práticas e padronizações contribuiu para que houvesse sinergia no voo. O trabalho em equipe e a divisão de tarefas facilitou o gerenciamento da carga de trabalho e a tomada de decisão”. Todavia, os pilotos reconheceram que a estrutura de cooperação definida entre eles poderia não ter funcionado em outra composição de tripulantes, tal como salientado pelo comandante: “Ele (copiloto) me auxiliou bastante, mas não sei se daria tão certo se estivéssemos operando com colegas desconhecidos ou com culturas operacionais distintas”. Nesse sentido, o trabalho colaborativo sinérgico assume papel importante na superação dos constrangimentos do trabalho, ao passo que o trabalho descoordenado insere-se como um fator de dificuldade a ser superado.

4.3 Análise da consciência situacional, das tomadas de decisão e dos modos de controle cognitivo

A primeira situação proposta como evento crítico referiu-se a mudança de pista para a decolagem. Ao realizar o procedimento de *taxi-out* para a pista 9 do aeroporto de Poços de Caldas, os pilotos foram informados pela rádio do aeroporto que a direção do vento havia mudado. Eles então perceberam que essa mudança favorecia a decolagem da pista 27, a qual, assim como a pista inicialmente

prevista, tinha o mesmo comprimento de pista. Os três níveis de consciência situacional foram ativados, e a resposta da tripulação à situação foi a realização do táxi para decolagem da pista 27. O modo de controle relativo a essa decisão foi essencialmente baseado em regras (RBB), uma vez que o manual de operações da aeronave determina decolagens com vento de proa. Coube à tripulação adaptar a regra ao contexto da situação. Entretanto, pode-se observar também a ativação de modos de controle cognitivo em SBB, uma vez que o PF continuou controlando a aeronave ao acionar os controles de voo através de comportamentos condicionados pela familiaridade com a situação.

O segundo evento crítico proposto foi a inoperância de um dos auxílios-rádio (antena NDB) que balizavam a navegação durante o procedimento de subida, conforme procedimento padrão de saída por instrumentos (Standard Instrument Departure – SID). Nessa ocasião e alguns minutos após a decolagem, os pilotos identificaram que um dos instrumentos que recebia informações do auxílio passou a dar indicação de inoperância. Ao discutir o problema, a tripulação chegou a duas hipóteses: ou havia falha no equipamento da aeronave ou no auxílio-rádio. Independente da hipótese, ambos projetaram que tal fato poderia comprometer a navegação de subida caso não fossem observadas formas alternativas de orientação do voo. Assim, os pilotos optaram por seguir na subida, balizando a navegação através de outros auxílios-rádio que utilizassem outro equipamento de navegação (VOR). O modo de controle cognitivo dessa decisão pode ser classificado como baseado em conhecimento (KBB), uma vez que coube à tripulação a investigação da situação e a ativação de conhecimentos por meio da abstração da representação em níveis superiores, sendo uma situação sem regras claras previamente definidas.

O terceiro evento crítico proposto correspondeu à modificação do nível de voo de cruzeiro antes do nivelamento. Tal modificação foi decidida pelo controle de tráfego aéreo, que comunicou aos pilotos que o nivelamento da aeronave deveria ser antecipado. Dessa forma, os pilotos foram capazes de ajustar o controle da operação, a fim de nivelar com precisão na altitude instruída, com base nas aptidões senso-motoras, quando o PF movimentou o manche para a aeronave parar de subir e reduziu a potência do motor para um valor preestabelecido com o intuito de evitar excesso de velocidade. Ao mesmo tempo foram seguidas regras tácitas (RBB) ao manter a altitude em um nível de voo solicitado pelo controle de tráfego aéreo e ao verificar, por meio de troca de informações entre os tripulantes, se a altitude determinada pelo controle não infringiria alguma regra e se

era melhor ou pior manter essa altitude. Portanto, a ação psicomotora de nivelamento da aeronave foi trazida para um modo de controle consciente, onde se procurou verificar as regras conhecidas, para somente então poder aplicar o procedimento nos controles da aeronave.

A quarta e a quinta situação proposta ocorreram quando a tripulação solicitou aos órgãos de controle informações meteorológicas do aeródromo de destino e dos aeroportos de alternativa. As informações repassadas aos pilotos consistiam em boletins meteorológicos com informações atualizadas (quarto evento). O cenário apontava para deterioração das condições climáticas dos aeroportos envolvidos na operação (quinto evento), sendo compreendido pelos tripulantes ao confrontarem as informações meteorológicas atualizadas com as informações antecedentes à saída do voo, sem, contudo, impedir ainda a operação nessas localidades. Com base nessas informações, os pilotos discutiram possíveis planos de contingência, a partir do recálculo dos horários estimados de chegada e autonomia de combustível, caracterizando consciência situacional em

Os modos de controle cognitivo de Rasmussen (1982) complementam a abordagem dos níveis de consciência situacional definidos por Endsley (1995; 1999)

nível de percepção, compreensão e projeção futura. A tarefa exigiu esforço cognitivo, conforme apontado pelo comandante: “Nessa hora estávamos quebrando a cabeça para decidir se prosseguiríamos para o destino ou a alternativa”. O modo de controle pode ser classificado como uma decisão baseada em conhecimentos (KBB), pois houve a necessidade de a tripulação relacionar a compreensão da situação aos conhecimentos armazenados na memória, representando modelos de situações treinadas e vividas, envolvendo a busca de uma solução nova para o problema. Pode-se perceber pela análise dessa situação a existência de regras tácitas, as quais os operadores armazenam como conhecimentos e experiências. São regras que não estão descritas em manuais, tipo: “Se isso..., então faça aquilo...”. Conforme descrito pelo co-piloto: “Investigamos o problema dessa forma com base na vivência e treinamentos que tivemos, pela experiência prática”.

O sexto evento crítico proposto representou a solicitação do controle de tráfego aéreo acerca da confirmação das intenções de prosseguir para o destino, após serem informados pelo controle de tráfego aéreo das informações meteorológicas atualizadas em relação ao destino. Nesse momento, os pilotos perceberam a condição de tempo nos aeródromos envolvidos e as mensagens de previsão de

tempo, compreendendo que o aeroporto de destino operava nas condições mínimas de teto e visibilidade para pouso, segundo regras de voo por instrumentos. As antecipações mentais realizadas verbalmente entre os operadores, buscando alternativas para pouso caso não conseguissem a chegada no destino, caracterizam o nível de projeção futura do modelo de consciência situacional. O modo de controle cognitivo da tripulação foi baseado em conhecimento (KBB), pois o contexto para o qual estava respondendo representava uma situação única e nova até então.

Na sétima situação, foi proposto aos tripulantes um atraso no início da descida por motivos de gerenciamento de outros tráfegos. A tripulação prontamente percebeu e compreendeu o problema, decidindo manter o nível de voo e a velocidade solicitada. Nesse momento, no exercício da projeção futura, anteciparam corretamente que ficariam altos e necessitariam de uma razão de descida maior para completar o procedimento de descida, assim que autorizados a realizar a descida pelo controle. Ainda assim, a decisão tomada foi manter o nível e aguardar novas instruções dos órgãos de controle. A decisão foi precedida de comportamentos automatizados e baixo esforço cognitivo, sendo que as ações precedentes à tomada de decisão foram realizadas em modo SBB, tendo, contudo, as respostas aos sinais um padrão RBB incluído na decisão. Evidencia-se aqui que, durante situações normais no decurso da atividade, os operadores realizam uma série de ações em SBB. Todavia, uma mudança no contexto da atividade, tal como o surgimento de um evento crítico, obriga que os operadores busquem e apliquem regras prontas ou construam novas regras, elevando o esforço cognitivo do modo de SBB para RBB ou KBB e vice-versa.

No oitavo evento crítico, a tripulação foi orientada a prosseguir com proa direta, em velocidade um pouco acima do padrão, ao fixo de início do procedimento (auxílio-rádio STN), considerando ainda a necessidade de maior razão de descida. Os pilotos compreenderam a instrução recebida e prepararam o painel da aeronave, seguindo na velocidade solicitada pelo órgão de controle. A projeção futura da situação foi incompleta, pois a tripulação não foi capaz de antecipar que a nova direção encurtava o caminho e a velocidade de descida maior diminuía o ângulo de descida da aeronave. Nessa condição a aeronave iria passar pelo ponto de início do procedimento em velocidade e altitude muito acima do necessário para completar o procedimento de aproximação. O modo de controle identificado foi o RBB, pois as ações foram baseadas na aptidão e de forma automática pela tripulação, através de identificação de regras tácitas provenientes da experiência e conhecimento dos operadores. Evidencia-se nessa situação que o modelo de competência baseado na experiência e conhecimento dos operadores propicia uma economia de esforços cognitivos. Tal fato contribui para a redução do compromisso

cognitivo dos operadores na gestão da tarefa e um padrão de respostas baseado em modos SBB e RBB.

A nona situação correspondeu a uma autorização para início de procedimento ao passarem pelo fixo de aproximação inicial STN, estando alto e rápido em decorrência do relaxamento do compromisso cognitivo da situação anterior. A instrução foi prontamente percebida através de comunicação com o órgão de controle. Nesse momento, os pilotos perceberam que a aeronave estava alta e veloz para completar o procedimento de aproximação, solicitando, então, a realização de órbitas sobre STN, a fim de reduzir a velocidade, descer para a altitude de início do procedimento e preparar a cabine para a aproximação. Os pilotos não compreenderam, contudo, que fazer órbitas reduziria a quantidade de combustível necessária para prosseguir para o aeroporto de alternativa, caso não conseguissem pouso no destino. A opção por realizar órbitas caracteriza-se por um padrão de controle cognitivo baseado em regras (RBB). Novamente, tem-se aqui a realização de modo de controle cognitivo automático e consciente pautado em regras tácitas adquiridas pela experiência dos operadores.

Ao realizarem o procedimento de aproximação para pouso, encontraram condições de teto e visibilidade levemente abaixo dos mínimos requeridos para pouso no destino (décima situação). Nesse momento, perceberam a necessidade de efetuar um procedimento de arremetida, através do monitoramento sinérgico dos instrumentos do painel. Sinérgico, pois a tarefa, em função de sua complexidade, gerou demanda atencional de ambos os pilotos, interferindo na estrutura de cooperação para a coordenação de cabine no controle da aeronave. Coube ao PMF, nesses instantes, a realização de anúncios padronizados das altitudes, velocidades e trajetórias da aeronave ao PF. Então ao atingirem a altitude de descida mínima prevista para a aproximação não foi possível manter contato visual com a pista e decidiu-se, portanto, iniciar a arremetida. A decisão de arremeter foi baseada em regras explícitas (RBB) contidas em manuais e regulamentos, determinando a obrigatoriedade desse procedimento na situação encontrada.

Cabe ressaltar que a projeção futura da situação por parte da tripulação foi incompleta, uma vez que o procedimento de arremetida foi considerado pelos pilotos como a tarefa de maior dificuldade do voo em função do acúmulo de procedimentos não antecipados, tais como: a correta preparação do painel da aeronave, seleção de cartas e definição de um plano de ações para aproximação perdida. Foi observado que a presença de algumas ações desconhecidas na arremetida (seguir o perfil de aproximação perdida da carta de descida e não o perfil da carta de subida para a alternativa, bem como a não seleção e frequências de auxílios-rádio, entre outras) ocasionou perda de tempo e desvio excessivo desnecessário da rota para a alternativa, implicando no

agravamento da situação do combustível da aeronave que estava baixo. Ainda, salienta-se que as duas situações apresentadas não estavam programadas para ocorrer.

Na décima primeira situação houve a solicitação do controle de tráfego aéreo para que os pilotos informassem se suas intenções eram executar um novo procedimento de aproximação no aeroporto de destino ou prosseguir para o aeroporto de alternativa. A tripulação percebeu que as condições meteorológicas não favoreciam a realização de um novo procedimento, baseando-se nas condições meteorológicas durante a tentativa de pouso no aeroporto, assim como a quantidade de combustível, que já passava a contar com a reserva para chegar na alternativa. Assim, entenderam que executar novo procedimento no destino implicaria em comprometer a segurança do voo por não sobrar combustível para alternar, caso não conseguissem o pouso na segunda tentativa. Decidiram, então, tentar encurtar ao máximo o caminho para a alternativa mais próxima. Essa decisão compreendeu um modo de ação totalmente consciente baseado na reformulação das representações para a compreensão de uma situação nova (KBB), embora tenham afirmado ter treinamento para a resolução desse tipo

problema envolveu a regularização do compromisso cognitivo e esforços do operador no sentido de encontrar uma resposta compatível com as necessidades da navegação. Nesse sentido, pôde-se perceber um modo de controle cognitivo baseado em conhecimentos (KBB), o qual exigiu a ativação dos três níveis de consciência situacional e o compartilhamento das representações da situação pelos operadores na busca de uma estratégia cognitiva comum.

5. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Todas as situações propostas ao longo do voo tinham como objetivo criar contextos de pressão para a tomada de decisão dos operadores, caracterizadas em conformidade com situações reais. Elas foram propostas de acordo com três fatores de complexidade: (a) fatores temporais (dinamicidade, pressão temporal, sistemas de referências temporais e ciclos que compõem o trabalho); (b) fatores de risco (interno e externo); e (c) fatores de cooperação (estrutura funcional e temporal). Os fatores de interface não foram investigados, por requererem a articulação de outros métodos (tais como protocolos para cálculo de usabilidade, entre outros) para avaliação da relação dos operadores com os mostradores e controles da aeronave.

Os eventos críticos envolveram a necessidade da operação dos três níveis de consciência situacional, a tomada de decisão e a realização

de respostas, conforme o modelo de Endsley (1995; 1999). As respostas dos tripulantes foram investigadas e classificadas de acordo com o modelo de controle cognitivo SRK de Rasmussen (1982).

A Tabela 1 apresenta uma classificação dos eventos críticos analisados segundo o nível de consciência situacional exercido pela tripulação, a ocorrência ou não de erros dos pilotos na tomada de decisão e o modo de controle cognitivo em que as decisões foram tomadas.

Nas doze situações propostas ficou evidente o compartilhamento da consciência situacional entre os agentes da equipe através da realização do trabalho de forma coordenada e do processo de comunicação. Ao todo, nos doze eventos, foi registrada a ativação dos três níveis de consciência situacional em sete situações (58,3%), o que pode ser atribuído ao alto grau de desempenho dos operadores em função dos conhecimentos e experiência. Em quatro episódios (30%) a consciência situacional coletiva foi parcial, caracterizando rupturas no processo de compartilhamento das representações entre os operadores por falta ou falha de comunicação (evento 2 – nível 2 da CS) ou sobrecarga

O método utilizado pode contribuir para o planejamento e a condução de cenários de treinamento de gerenciamento de recursos de equipes na aviação

de problema.

A décima segunda situação proposta envolveu a instrução do controle de tráfego aéreo para que a aeronave seguisse na alternativa em uma altitude inferior à altitude mínima de segurança prevista para o setor sobrevoado. Com base em consultas às cartas de navegação, os tripulantes perceberam que a altitude autorizada era inferior à mínima permitida na região, compreendendo que, seguindo naquela altitude, poderiam colidir com o solo e estariam infringindo uma regra de tráfego aéreo. Assim, os pilotos solicitaram subida para a altitude mínima de segurança do setor.

Nesse evento, ainda, os pilotos perceberam que os instrumentos a bordo da aeronave não possuíam indicação de sinal de auxílios-rádio. A partir dessa informação, foi percebido que o auxílio-rádio de navegação, necessário para a tripulação seguir a rota, era o mesmo que havia ficado inoperante durante a subida no aeroporto de origem, julgando corretamente que a falha havia acontecido na instrumentação de bordo da aeronave e não nos recursos de solo. Assim, os pilotos solicitaram ao controle orientações para seguir na rota até o aeroporto de alternativa. A solução do

Tabela 1: Classificação dos eventos críticos segundo níveis de consciência situacional, ocorrência de erros e modos de controle cognitivo.

Situação	Consciência situacional			Ocorrência de Erro	Modos SRK		
	Nível 1	Nível 2	Nível 3		SBB	RBB	KBB
1	Sim	Sim	Sim	Não	-	X	-
2	Sim	Parcial	Não	Sim	-	-	X
3	Sim	Sim	Sim	Não	-	X	-
4	Sim	Sim	Sim	Não	-	-	X
5	Sim	Sim	Parcial	Não	-	-	X
6	Sim	Sim	Sim	Não	-	X	-
7	Sim	Sim	Parcial	Não	-	X	-
8	Sim	Sim	Parcial	Sim	-	X	-
9	Sim	Sim	Não	Sim	-	X	-
10	Sim	Sim	Sim	Sim	-	X	-
11	Sim	Sim	Sim	Não	-	-	X
12	Sim	Sim	Sim	Não	-	-	X

Notas: Nível 1 (Percepção); Nível 2 (Compreensão); Nível 3 (Projeção Futura); SBB (skill-based behavior); RBB (rule-based behavior); KBB (knowledge-based behavior).

de trabalho, dificultando as antecipações dos operadores ao estado futuro do sistema (eventos 5, 7, 8 – nível 3 da CS). Em duas situações (16,7%) houve quebra de consciência situacional em nível 3 por motivos de relaxamento do compromisso cognitivo dos operadores (evento 3) ou sobrecarga e falta de conhecimentos (evento 9).

Houve a ocorrência de erros em quatro eventos (40%) sem, contudo, ter sido realizada a classificação de tais falhas nas respostas dos operadores frente às exigências do sistema. Percebe-se que em três situações os erros foram derivados de quebras no processo de compartilhamento da consciência situacional em nível 2 e 3. Salienta-se, ainda, a influência dos fatores de complexidade relativos aos fenômenos de pressão temporal, sobretudo a dinamicidade do processo nos períodos de sobrecarga de trabalho.

Em relação às respostas relativas à tomada de decisão dos operadores, sete eventos críticos (58,3%) foram respondidos em nível de RBB, envolvendo situações treinadas ou seguindo padrões de regras tácitas oriundas do conhecimento e experiência dos operadores; cinco eventos críticos (41,7%) foram respondidos em nível de KBB, envolvendo situações novas e “inesperadas”.

Cabe ressaltar que os três modos de controle cognitivo podem ocorrer de forma simultânea. Embora a classificação proposta no estudo tenha se focado na resposta dos operadores para analisar o conteúdo cognitivo de suas ações através da consciência situacional e do processo de tomada de decisão, as respostas dos operadores aos eventos críticos envolveram a percepção (ou não) de sinais salientes no contexto – eles foram tratados a partir da utilização de regras prontas (RBB, tácitas ou não) ou da criação de novas regras (KBB, para situações em que elas não estavam

claras). Tal fato evidencia que a análise dos modos de controle cognitivo em SBB é mais difícil de ser realizada, pois podem estar ocorrendo em paralelo no trabalho dos operadores durante ações como a manipulação do manche, dos pedais, entre outros.

Cabe ressaltar que os dados coletados apontam que os operadores regulam sua carga de trabalho operando na maior parte do tempo em um padrão de desempenho SBB, tendo as capacidades metacognitivas dos sujeitos um papel fundamental no processo de controle, ao induzirem mecanismos de supervisão dos comportamentos automatizados, que podem funcionar em paralelo com o controle consciente em RBB e KBB.

Não se analisou a correlação entre as falhas nos níveis de consciência situacional e a classificação de erros de resposta da tripulação de acordo com o Modelo SRK. Nesse sentido, estudos futuros poderiam propor um fluxograma para classificação desses erros e analisá-los através do uso da técnica de entrevistas episódicas do CDM juntamente com o recurso da filmagem.

Os resultados do estudo propõem, também, que a gestão da dificuldade é uma preocupação constante na atividade dos operadores, tendo o compromisso cognitivo deles um papel regulador no enfrentamento dos fatores de complexidade, definindo modos de controle cognitivo em SBB, RBB ou KBB. O tratamento da complexidade e da dificuldade repousa no planejamento e na antecipação de situações, nas quais o compromisso cognitivo em função das demandas do sistema é maior, bem como no compartilhamento da consciência situacional e dos modelos mentais da atividade pela equipe que conduz o processo.

A compreensão está intrinsecamente relacionada aos conhecimentos explícitos e tácitos dos operadores, o que demonstra necessidade de formação mais abrangente e adequada dos pilotos, de maneira a permitir que possam ter o conhecimento da funcionalidade de todo o sistema (aqui apresentado no sentido mais amplo que simplesmente uma aeronave). Isso ampliaria a capacidade de ação em KBB em vez de apenas treiná-los como seguidores de procedimentos, com ênfase nas respostas em RBB.

A estrutura de cooperação, se eficaz, contribui com a organização funcional e a sinergia do trabalho dos operadores. Na dinâmica do processo de compreensão, uma situação evoluída força uma visão muito mais ampla e associada às atividades de diagnóstico, das tomadas de decisão e da execução dessas decisões. Nesse sentido, o operador deve evitar uma sobrecarga cognitiva, esperar que os futuros acontecimentos forneçam explicações mais evidentes da situação ou investir na reconstrução da representação da consciência situacional compartilhada.

6. CONCLUSÕES

O método utilizado pode contribuir para o planejamento e a condução de cenários de treinamento de gerenciamento de recursos de equipes na aviação, através da simulação de voos, visando a capacitação dos operadores para a consciência situacional compartilhada e a tomada de decisão. O

método de entrevistas episódicas requer, no entanto, capacitação específica dos facilitadores do treinamento para a abordagem das dimensões cognitivas do trabalho.

Por se tratar de uma pesquisa qualitativa e realizada através de um experimento em simulador de voo, este estudo apresenta as seguintes limitações: os resultados estão circunscritos ao modelo de competência dos pilotos do experimento; e, a interferência dos pesquisadores na manipulação das variáveis pesquisadas através de situações propostas. A relação entre o modelo de consciência situacional e os modos de controle cognitivo precisa, portanto, ser mais aprofundada, através da realização de observações do trabalho real dos operadores e, principalmente, do aumento no número de simulações.

Nesse sentido, como sugestão para pesquisas futuras ou outros desdobramentos relativos ao tema, apontam-se as seguintes possibilidades: (a) realização de estudo para descrever qualitativa e quantitativamente a correlação entre os níveis de consciência situacional compartilhada, os modos de controle cognitivo SRK e a ocorrência de erros; e (b) realização de estudo para caracterizar a correlação entre os fatores de complexidade dos eventos críticos, os níveis de consciência situacional e os modos de controle cognitivo SRK. Para ambos os casos, haveria a necessidade de elaboração de um protocolo que considerasse dimensões quantitativas de análise dos dados e a ampliação do número de simulações de voo.

Artigo recebido em 06/02/2009

Aprovado para publicação em 28/06/2009

REFERÊNCIAS

- AMALBERTI, R. *La conduite de systèmes à risques*. Paris: Press Universitaires de France, 1996.
- BILLINGS, C. E. *Human Centered Aircraft Automation: a concept and guidelines*. Moffett, California, United States: NASA Ames Research Center, 1996.
- _____. *Aviation automation: the search for a human-centered approach*. Mahwah, New Jersey, United States: Earlbaum, 1997.
- CRANDALL, B.; KLEIN, G.; HOFFMAN, R. R. *Working Minds: a practitioner's guide to cognitive task analysis*. Cambridge Mass: MIT Press, 2006.
- DEKKER, S. W. A. *The field guide to understanding human error*. Aldershot, UK: Ashgate Publishing, 2002.
- ENDSLEY, M. R. Toward a theory of situation awareness in dynamic systems. *Human Factors*, v. 1, n. 37, p. 85-104, 1995.
- _____. Situation Awareness in Aviation Systems. In: GARLAND, D.; WISE, J.; HOPKIN, J. (Eds). *Handbook of Human Factors*. Mahwah, NJ, USA: Lawrence Erlbaum Associates, 1999. Chap. 11
- ENDSLEY, M. R.; PEARCE, C. L. Shared cognition in top management teams: implications for new venture performance. *Journal of Organizational Behavior*, v. 22, p. 145-160, 2001.
- ENDSLEY, M. R.; TILBURY, D. M. Modular verification of modular finite state machines. In: IEEE CONFERENCE ON DECISION AND CONTROL, 43, 14-17 December, Atlantis, Paradise Islands, Bahamas. *Proceedings...* New York, NY, USA: Plenum Press, 2004. p. 972-979.
- FLICK, U. *Uma Introdução à Pesquisa Qualitativa*. Tradução de Sandra Netz. Porto Alegre: Bookmann, 2004. 312 p.
- FOLTZ, P. W. et al. Measuring situation awareness through automated communication analysis. In: Letsky, M. P. et al. (Eds.). *Macro-cognition in teams: theories and methodologies*. Aldershot, UK: Ashgate, 2008. p. 259-275.
- HART, S. G. Theoretical basis for workload assessment research at NASA - Ames Research Center. In: Frazier, M. L.; Crombine, R. B. (Eds.). WORKSHOP ON FLIGHT TESTING TO IDENTIFY PILOT WORKLOAD AND PILOT DYNAMICS - AFTECTR-82-5. *Proceedings...* CA, United States: Edward Air Force Base, 1982. p. 445-470.

HELMREICH, R. L.; MERRIT, A. C. Safety and error management: The role of Crew Resource Management. In: Hayward, B. J.; Lowe, A. R. (Eds.). *Aviation Resource Management*. Aldershot, UK: Ashgate, 2000. p. 107-119.

HOC, J. M.; AMALBERTI, R.; BOREHAM, N. Human operator expertise in diagnosis, decision-making and time management. In: HOC, J. M.; CACCIABUE, P. C.; HOLLNAGEL, E. (Eds.). *Expertise and technology: cognition & human-computer cooperation*. Hillsdale, NJ, United States: Lawrence Erlbaum, 1995. p. 19-42.

HOFFMAN, R. R.; CRANDALL, B.; SHADBOLT, N. Use of the Critical Decision Method to Elicit Expert Knowledge: A Case Study in the Methodology of Cognitive Task Analysis. *Human Factors*, v. 40, n. 2, p. 254-276, 1998.

HOLLNAGEL, E.; WOODS, D. D. *Joint cognitive systems: Foundations of cognitive systems engineering*. Boca Raton, FL, United States: Taylor & Francis/CRC, 2005.

LEPLAT, J. Occupational accident research and systems approach. In: RASMUSSEN, J.; DUNCAN, K.; LEPLAT, J. (Eds.). *New Technology and Human Error*. New York, United States: John Wiley & Sons, 1987. p. 181-191.

LEPLAT, J.; CUNY, X. *Introdução à psicologia do trabalho*. Tradução de Helena Domingos. Lisboa, Portugal: Fundação Calouste Gulbenkian, 1998.

MARMARAS, N.; PAVARD, B. Problem-Driven Approach to the Design of Information Technology Systems Supporting Complex Cognitive Tasks. *Cognition, Technology & Work*, v. 1, n. 4, dez. 1999.

PERROW, C. *Normal accidents: living with high-risk technologies*. Princeton, NJ, United States: Princeton University Press, 1984.

RASMUSSEN, J. Human errors: a taxonomy for describing human malfunction in industrial installations. *Journal of Occupational Accidents*, v. 14, p. 311-333, 1982.

RASMUSSEN, J.; DUNCAN, K.; LEPLAT, J. (Eds.). *New technology and human error*. London, UK: John Wiley & Sons, 1987. 354 p.

RASMUSSEN, J.; PEJTERSEN, A.; GOODSTEIN, L. *Cognitive System Engineering*. New York, United States: John Wiley & Sons, 1994.

REASON, J. *Managing the risks of organizational accidents*. Burlington, UK: Ashgate, 1997. 252 p.

REASON, J. *Human error*. Cambridge, UK: Cambridge University, 1990. 302 p.

SARTER, N.; WOODS, D. D. Team play with a powerful and independent agent: operational experiences and automation surprises on the Airbus A-320. *Human Factors*, v. 4, n. 39, p. 553-569, 1997.

SARTER, N.; AMALBERTI, R. *Cognitive engineering in the aviation domain*. Hillsdale, NJ, United States: Erlbaum, 2005.

WICKENS, C. D.; HOLLNAGEL, J. *Engineering psychology and human performance*. 3 ed. Upper Saddle River, NJ, United States: Prentice Hall, 2000.

Wiener, E. Crew coordination and training in the advanced-technology cockpit. In: Wiener, E.; Kanki, B.; Helmreich, R. (Eds.). *Cockpit Resource Management*. San Diego, CA, United States: Academic Press, 1993. p. 199-229.

WISNER, A. *A inteligência no trabalho: Textos selecionados de ergonomia*. São Paulo: Fundacentro, 1997.

WOODS, D. D. Designs are hypotheses about how artifacts shape cognition and collaboration. *Ergonomics*, n. 41, p. 168-173, 1998.

WOODS, D. D.; HOLLNAGEL, E. *Joint Cognitive Systems: patterns in cognitive systems engineering*. Boca Raton, United States: CRC Taylor & Francis, 2006.

WOODS, D. D.; SARTER, N. Learning from automation surprises and going sour accidents. In: SARTER, N.; AMALBERTI, R. (Eds.). *Cognitive engineering in the aviation domain*. Hillsdale, NJ, United States: Erlbaum, 2005.

SOBRE OS AUTORES

Éder Henriqueson

Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul
Porto Alegre - RS, Brasil
E-mail: ehenriqueson@puccrs.br

Guido César Carim Júnior

Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Porto Alegre - RS, Brasil
E-mail: jrguido@producao.ufrgs.br

Tarcísio Abreu Saurin

Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Porto Alegre - RS, Brasil
E-mail: saurin@ufrgs.br

Fernando Gonçalves Amaral

Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Porto Alegre - RS, Brasil
E-mail: amaral@producao.ufrgs.br