

## ESTUDO DE CASO

# Consciência Situacional - O Emprego do HUD

Situational Awareness - The Use of HUD

Conciencia Situacional - El Uso de HUD

Capitão Especialista em Controle de Tráfego Aéreo Ronaldo Francisco da Silva

Pós-graduação: MBA em Gestão Pública pela UFF / RJ

Engenheiro Industrial Químico - USP / SP

Rio de Janeiro - RJ

ronaldofsr@gmail.com

## RESUMO

Esta pesquisa teve como objetivo identificar os fatores relacionados ao emprego do *Head-Up Display* (HUD) que influenciam o desempenho dos pilotos em procedimentos ILS CAT I, com limites reduzidos de visibilidade e altura de decisão. Para atingir esse objetivo, desenvolveu-se um experimento em simulador de voo e entrevistas com pilotos envolvidos com a instrução em aeronaves EMB-190, em uma empresa aérea e em um esquadrão da Força Aérea de transporte de autoridades. Os experimentos em simulador indicaram que, em voo manual, o HUD diminui o erro lateral, o erro vertical e os desvios de velocidade. Da análise dos posicionamentos dos pilotos nas entrevistas, identificou-se que a característica mais valorizada no HUD é o fato de se ter acesso aos dados essenciais como atitude, energia (velocidade e aceleração), altitude e desvios de trajetória ao mesmo tempo em que se olha para fora, na direção do deslocamento da aeronave. Essa característica da interface do HUD aumenta a qualidade de pilotagem e reduz o tempo de rastreamento dos dados e facilita a transição dos instrumentos para as referências visuais externas. Os resultados levaram a concluir que o emprego do HUD possibilita operações com limites reduzidos de teto e visibilidade por aumentar a precisão da trajetória e a consciência situacional do piloto.

**Palavras-Chave:** Consciência Situacional. Precisão. Simulador de Voo. Navegação Aérea.

Recebido / Received / Recibido  
20/04/11

Aceito / Accepted / Acepto  
17/06/11

## ABSTRACT

This research aimed to identify factors related to the use of Head-Up Display (HUD) which influence the performance of pilots in procedures ILS CAT I, with low limits of visibility and height decision. To achieve this goal, it was developed an experiment in a flight simulator and interviews with pilots involved in the training with EMB-190 aircraft of an airline company, and also in a squadron of the Air Force responsible for authorities transportation. The experiments in the simulator indicated that in manual flight the HUD reduces the lateral error, the vertical error and the speed variances. From the analysis of positions of the pilots interviews, it was identified that the most valued feature in the HUD is the fact of having access to essential data such as: attitude, energy (velocity and acceleration), altitude and course deviations at the same time when looking outside toward the displacement of the aircraft. This HUD interface feature improves the quality of pilotage and reduces the time for tracking data, facilitating the transition from the instruments to the visual external references. The results led to conclude that the use of HUD enables operations with low limits of ceiling and visibility by increasing the accuracy of the trajectory and the pilot situational awareness.

**Keywords:** Situational Awareness. Accuracy. Flight Simulator. Aerial Navigation.

## RESUMEN

Esta investigación tuvo como objetivo identificar los factores relacionados al empleo del Head-Up Display (HUD) que influyen en el desempeño de los pilotos en procedimientos ILS CAT I, con límites reducidos de visibilidad y altura de decisión. Para alcanzar ese objetivo, se desarrolló un experimento en simulador de vuelo y entrevistas con pilotos envueltos con instrucciones en aeronaves EMB-190, en una empresa aérea y en un escuadrón de la Fuerza Aérea de transporte de autoridades. Los experimentos en simulador indicaron que, en vuelo manual, el HUD disminui el error lateral, el error vertical y los desvíos de velocidad. Del análisis de los posicionamientos de los pilotos en las entrevistas, se identificó que la característica más valorada en el HUD es el hecho de tenerse acceso a los datos esenciales como actitud, energía (velocidad y aceleración), altitud y desvíos de trayectoria al mismo tiempo en que se mira hacia fuera, en la dirección del desplazamiento de la aeronave. Esa característica de la interfaz del HUD aumenta la calidad de pilotaje y reduz el tiempo de rastreo de los datos y facilita la transición de los instrumentos para las referencias visuales externas. Los resultados llevaron a concluir que el empleo del HUD posibilita operaciones con límites reducidos de techo y visibilidad por aumentar la precisión de la trayectoria y la conciencia situacional del piloto.

**Palabras-clave:** Conciencia Situacional. Precisión. Simulador de Vuelo. Navegación aérea.

## INTRODUÇÃO

O *Head-Up Display* (HUD) foi desenvolvido inicialmente para a aviação militar de caça e, segundo Ingman (2005), a partir dos anos 1980, passou a ser utilizado também em aeronaves comerciais. Com a sua evolução tecnológica, alguns Estados passaram, a partir de 1999, a autorizar Mínimos Operacionais de Aeródromo<sup>1</sup> mais baixos mediante o emprego desse sistema. Os Estados Unidos da América (EUA), por exemplo, estabeleceram procedimentos para Autorização de Instalações para Operações com Autorização Especial (*Federal Aviation Administration* – FAA, 2009) e critérios para aprovação de operações de aproximação e decolagem (FAA, 1999 e 2002) que incluem o HUD como um requisito para a

autorização de mínimos operacionais mais baixos que aqueles previstos para operações sem o emprego desse equipamento. Entre os casos previstos estão as *Special Authorization Category I Operations* (Operações Categoria 1 com Autorização Especial – ILS CAT I AE), que se referem a aproximações ILS CAT I com mínimos de Altura de Decisão<sup>2</sup> (*Decision Height* - DH) e Alcance Visual na Pista (*Runway Visual Range* - RVR) de 150 Ft, e 450 m, respectivamente, ou seja, 50 Ft abaixo da DH normal e 100 m a menos que o RVR normal para procedimento ILS CAT I (ICAO, 2006; e FAA, 2007).

Com base nos pressupostos de que o HUD melhora o desempenho da navegação e do controle da aeronave, a *International Civil Aviation Organization*<sup>3</sup> (ICAO), emitiu a emenda nº 34 ao Anexo 6 à Convenção de Chicago,

<sup>1</sup> Mínimos Operacionais de Aeródromo – valores meteorológicos mínimos para as operações de pouso ou decolagem, expressos em termos de MDA (altitude mínima de descida), DH, Teto (altura da base das nuvens em relação à elevação do aeródromo) e Visibilidade.

<sup>2</sup> A altura de decisão (DH) é uma altura determinada na aproximação de precisão em que uma aproximação perdida deve ser iniciada se a referência visual necessária para continuar a aproximação não foi adquirida.

<sup>3</sup> ICAO: agência especializada das Nações Unidas, estabelecida formalmente em 4 de abril de 1947 pela Convenção sobre a Aviação Civil Internacional (Comumente chamada de Convenção de Chicago), cuja função é coordenar e regular o transporte aéreo internacional.

na qual indica que os Estados Contratantes podem conceder crédito operacional para a utilização do HUD, autorizando operações com visibilidades mais baixas que aquelas associadas com os Mínimos Operacionais de Aeródromo normais. Conforme carta da ICAO aos Estados, de agosto de 2009, essa emenda deveria entrar em vigor em 18 de novembro de 2010.

Uma das carências observadas nos documentos internacionais mencionados foi a ausência de referência a um embasamento científico para as reduções nos Mínimos Operacionais de Aeródromo mediante o emprego do HUD.

No Brasil, a utilização do HUD com a finalidade de redução nos Mínimos Operacionais de Aeródromo ainda não está regulamentada. No entanto, uma empresa aérea nacional já solicitou ao Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA) e à Agência Nacional da Aviação Civil (ANAC) os procedimentos e a aprovação, respectivamente, para obter os citados benefícios operacionais. A frota dessa empresa é composta de aeronaves EMB 190 equipadas com HUD. O modelo de HUD dessa aeronave é o *Head-Up Guidance System 5.600* (HGS-5600), fabricado pela Rockwell Collins. Entre os benefícios solicitados, está a aprovação para operações ILS CAT I AE.

A Força Aérea Brasileira (FAB) também seria beneficiada pelo desenvolvimento de critérios nacionais para essa otimização do emprego do HUD, pois o Grupo de Transporte Especial (GTE) recebeu, em 2009, duas aeronaves EMB 190 equipadas com o HGS-5600. Além dessas aeronaves, já em operação, a FAB terá, a partir de 2015, mais 28 aeronaves de transporte de tropa e carga equipadas com o HGS. Trata-se do KC-390 da EMBRAER, que desenvolveu o projeto segundo requisitos estabelecidos pela FAB, dentro de um programa iniciado em 2009.

A redução dos Mínimos Operacionais de Aeródromo tem como consequência uma maior probabilidade de o piloto avistar as luzes de aproximação em condições de baixa visibilidade (RVR reduzido) e, conseqüentemente, uma menor probabilidade de execução de uma aproximação perdida. Apesar de a aproximação perdida ser um segmento previsto nas cartas de procedimentos de aproximação, ela adiciona um risco indesejável à operação (ICAO, 1993), além de atrasos e consumo adicional de combustível, diminuindo a eficiência e a eficácia desse transporte.

Dentro desse contexto, esta pesquisa tem como tema a redução dos mínimos operacionais de procedimentos de aproximação ILS CAT I mediante o emprego do HUD em aeronaves do tipo EMB-190.

A linha de pesquisa abordada é a Doutrina de Emprego. O tema escolhido se insere nesta linha, uma vez que se busca identificar as implicações de uma nova aplicação de uma tecnologia disponível em uma moderna aeronave de transporte de passageiros, recentemente incorporada à Força Aérea. Esta pesquisa investiga a influência de um tipo especial de emprego, inédito no Brasil, de um sistema no desempenho dos pilotos na execução de um determinado tipo de procedimento de aproximação, com vistas a prover embasamento teórico para a aprovação de limites reduzidos de RVR e teto mediante o emprego desta tecnologia, que ampliaria o acesso dessas novas aeronaves da FAB a um grande número de localidades, sem necessidade de investimentos adicionais na infraestrutura de balizamento dessas pistas. Trata-se de um novo conceito, adotado internacionalmente, no qual o mínimo operacional de aeródromo passa a depender cada vez menos das instalações no solo, como os caríssimos sistemas de luzes para ILS CAT II e CAT III, e passa a ser influenciado mais pela tecnologia embarcada.

Dessa forma, essa pesquisa busca responder o seguinte problema: que fatores relacionados ao emprego do HUD, em aeronaves EMB-190, influenciam o desempenho do piloto em uma operação de aproximação ILS CAT I com limites reduzidos de DH e visibilidade, em condições meteorológicas equivalentes a esses limites, de forma que tal emprego possa ser regulamentado no Brasil?

Diante do delineamento do problema central desta pesquisa, torna-se necessária a definição de uma trajetória a ser percorrida, a qual será feita mediante o estudo das seguintes hipóteses:

- a) o HUD aumenta a precisão da trajetória da aeronave no plano horizontal e no plano vertical; e
- b) o HUD melhora a consciência situacional do piloto.

Com o propósito de responder o problema central da pesquisa, será dirigida a atenção para o seguinte objetivo geral: identificar os fatores relacionados ao emprego do HUD, em aeronaves EMB-190, que influenciam o desempenho do piloto em uma operação de aproximação ILS CAT I com limites reduzidos de DH e visibilidade, em condições meteorológicas equivalentes a esses limites.

Com vistas a atingir o objetivo geral foram definidos os seguintes objetivos específicos:

- a) verificar a influência do emprego do HUD no desempenho do piloto quanto ao controle lateral e vertical da aeronave desde a DH até o início da manobra prévia ao toque na pista;
- b) verificar como os recursos do HUD influenciam a consciência do piloto quanto aos parâmetros relevantes de voo e as condições externas.

Para a consecução dos objetivos propostos foi desenvolvida uma série de ações de pesquisa nas quais se empregou uma dinâmica metodológica para avaliações qualitativas e quantitativas do emprego do HUD em operações de aproximação ILS com mínimos operacionais reduzidos e condições meteorológicas iguais aos limites de RVR e DH dessas operações.

## 1 METODOLOGIA

De acordo com a classificação de GIL (2009), quanto aos objetivos, esta pesquisa é exploratória, uma vez que visa a proporcionar uma maior familiaridade com o problema, com vistas a torná-lo mais explícito e descobrir intuições sobre os fatores relacionados ao emprego do HUD, em aeronaves EMB-190, que influenciam o desempenho do piloto em uma operação de aproximação ILS CAT I com limites reduzidos de DH e visibilidade, em condições meteorológicas equivalentes a esses limites.

Quanto aos procedimentos técnicos, segundo Gil (2009), ela se classifica como Estudo de Campo, uma vez que foi desenvolvida no local onde os fenômenos podem ser observados por meio da observação direta e também como Experimental, pois foram empregados procedimentos técnicos que envolveram o objeto de estudo, variáveis independentes que o influenciam e formas de controle e observação dos efeitos das variáveis no objeto.

Os instrumentos de coleta empregados foram: um sistema de monitoramento de simulador de voo, que emite relatórios dos exercícios realizados, com registros das trajetórias, tanto no plano horizontal quanto no plano vertical, e das variações de velocidade; e entrevistas semiestruturadas com os pilotos envolvidos no experimento.

O universo considerado nesta pesquisa é constituído por pilotos de aeronaves EMB-190, que sejam instrutores de voo neste equipamento, inclusive quanto ao emprego do HUD em procedimentos já aprovados, como o ILS CAT II. Nessas condições, existem 54 instrutores na empresa aérea e 4 no GTE, que resultam nos 58 pilotos que compõem o universo desta pesquisa. Desse universo, entrevistou-se 6 pilotos da empresa aérea e 2 pilotos do GTE, todos operacionais e instrutores da aeronave EMB-190, ou VC2 na FAB.

Para o acesso a um simulador de voo adequado ao estudo, fez-se contato, no dia 14 de agosto de 2010, com a empresa aérea que está solicitando a aprovação para utilização de Mínimos Operacionais de Aeródromo mais baixos mediante o emprego do HGS.

Esse contato foi facilitado, pois o autor já havia feito uma visita técnica a essa empresa, em 6 de julho de 2010,

com o objetivo de observar o funcionamento do HGS em operações de aproximação e decolagem com limites reduzidos de teto e visibilidade, dentro de um processo do DECEA de levantamentos para a verificação da viabilidade de elaboração dos procedimentos de voo especiais mediante o emprego do HGS.

Uma vez exposto o projeto de pesquisa, a gerência de operações prontamente se dispôs a colaborar, disponibilizando horas no seu simulador de voo e pilotos para operá-lo.

Trata-se de um simulador de voo da marca Flyght Safety, um simulador nível D, que permite treinamento integral do piloto, especificamente desenvolvido para treinamento referente às aeronaves EMB-170 e EMB-190, e que reproduz fielmente todos os seus sistemas e características operacionais. O referido simulador é diuturnamente utilizado para treinamento de pilotos daquela empresa, inclusive com relação ao emprego do HGS em outros tipos de operações de voo para as quais a empresa está aprovada pela ANAC, não estando incluídas, portanto, nesses treinamentos, as operações ILS CAT I AE.

Diante da afirmativa, foi informada à empresa a necessidade de agendamento do simulador para data próxima, em função do exíguo prazo para conclusão da pesquisa. Sugeriu-se um dia não letivo e a data escolhida pela empresa foi o dia 6 de setembro de 2010, das 16 h 30 minutos às 22 h. O período de 16 h 30 minutos até 18 h ficou destinado ao *briefing* e de 18 h às 22 h para as simulações.

Definidos o local, equipamento de simulação, participantes, planejou-se o experimento. A visita técnica recente, ocorrida em 6 de julho de 2010, viria a servir como uma etapa exploratória do Estudo de Campo, definida por Gil (2009), e também como uma base para o planejamento da Pesquisa Experimental, que se seguiu exatamente um mês mais tarde. Ela facilitou a preparação dos instrumentos de coleta de dados e definição do cenário (contexto do voo). Naquela oportunidade foram realizadas três horas de simulação, com situações e condições meteorológicas variadas, e uma hora de entrevistas com dois pilotos.

### 1.1 CONTEXTO DA PESQUISA EXPERIMENTAL

Esse estudo consistiu de duas seções de simulação, de duas horas e meia cada uma.

Abaixo estão relacionados os participantes dos experimentos, com suas respectivas qualificações, funções nas respectivas organizações e tarefas no simulador de voo:

a) piloto número 1 (P1): 6.500 horas de voo; ex-piloto da Viação Aérea Rio-Grandense (VARIG), onde galgou todos os estágios de um piloto comercial, até ser designado para os voos internacionais em aeronaves de grande porte, como o DC-10, o MD-11 e o Boeing 777; participante das escalas de voo da empresa atual, como Comandante; exerce a função adicional de Coordenador de Ensino. No simulador explanou sobre todos os sistemas e pilotou durante 20 dos 30 exercícios.

b) Autor: especialista em controle de tráfego aéreo, do efetivo do Subdepartamento de Operações do DECEA; e dez anos de experiência na elaboração de procedimentos de voo por instrumentos. No simulador, permaneceu na posição do copiloto durante 20 das 30 aproximações, passando para uma posição ao lado do painel de controle do simulador. Teve as funções de definir as condições de controle, a ordem dos exercícios, efetuar observações diretas do experimento, acompanhar as demonstrações do piloto diretamente no HUD e demais instrumentos, conforme andamento dos exercícios, e observar as informações na tela do HUD e a cena externa, especialmente desde a DH até o toque da aeronave na pista e sua rolagem de desaceleração

c) piloto número 2 (P2): aproximadamente 9 mil horas de voo; participante das escalas de voo da empresa como Comandante e instrutor de voo. No experimento ficou responsável pela configuração dos cenários, ativação dos exercícios e impressão dos relatórios. Essas funções são executadas por meio de um painel de controle que fica atrás da cadeira do primeiro piloto, dentro do simulador de voo.

d) piloto número 3 (P3): aproximadamente 6.500 horas de voo; participante das escalas de voo da empresa como Comandante; e homologado instrutor ao final do experimento. Atuou no estudo como piloto, substituindo o P1 a partir do exercício número cinco da segunda seção de simulação.

Na primeira seção de simulação, foram realizadas 15 aproximações ILS com emprego do HUD. Neste tipo de operação, a configuração de aproximação do HUD somente permanece ativada abaixo de 500 Ft se o piloto automático estiver desativado, ou seja, a aproximação tem que ser efetuada manualmente pelo piloto, abaixo de 500 Ft.

O simulador de voo foi programado para reproduzir um ambiente externo com base de nuvens a 150 Ft de altura em relação à elevação da pista de pouso. A DH adotada para os procedimentos foi de 150 Ft, ou seja, 50 Ft abaixo da DH normal, que é de 200 Ft. Propositamente o valor de teto coincide com a DH, para avaliação da transição das referências aos instrumentos para a busca de referências visuais. A visibilidade (RVR)

foi ajustada para 400 m, ou seja, 100 m abaixo do RVR mínimo sem o emprego do HUD. Nessa condição o simulador apresenta o ambiente externo com um denso nevoeiro.

Antes do início da segunda etapa, foi feita uma breve pausa, quando foram coletados os relatórios dos voos em impressora externa ao simulador, com informações como desvios de trajetória nos planos horizontal e vertical, desvios de velocidade, alturas e distâncias em relação à pista de pouso. Esses relatórios são emitidos por meio de um comando no painel de programação do simulador e retratam a evolução do exercício em andamento até o instante do comando de impressão (FIG. 2 e FIG. 3). O Autor optou pelo comando de impressão ser executado no instante em que a aeronave atingisse a DH, para comparação dos desvios, neste ponto, entre aproximações com HUD e sem HUD.

Na segunda fase foram feitas quinze aproximações sem o emprego do HGS e impressos os respectivos relatórios.

Nesta etapa a pilotagem também foi manual. Foi mantida a base de nuvens a 150 Ft de altura em relação à elevação da pista de pouso. A DH adotada foi também de 150 Ft, como na etapa com o HUD. O RVR foi ajustado inicialmente para 1200 m. No exercício 4 desta etapa reduziu-se o RVR para 550 m, que é o RVR mínimo para ILS CAT I. Como nos exercícios 4 e 5 não houve sucesso, ajustou-se o RVR para 800 m, para o 6º exercício novamente para 550 m e, finalmente, para 800 m. Do 7º ao 9º o RVR foi de 550 m e do 10º ao 15º foi de 800 m.

Após o 5º exercício desta etapa, o Autor cedeu a posição de copiloto ao P3 e passou a observar, também, a evolução dos voos nos monitores do painel de programação do simulador, guarnecido pelo P3. Nesta condição foi possível filmar alguns exercícios com a utilização de recursos de gravação de áudio e vídeo de uma câmera Sony DSC-T70 e de um celular Nokia N95.

## 1.2 CONTEXTO DAS ENTREVISTAS

Na primeira visita ao centro de treinamento foram coletadas explicações e impressões sobre o HUD, inicialmente em sala de instruções e depois dentro do simulador de voo, durante as demonstrações. Os depoimentos de dois pilotos foram anotados pelo Autor. Ambos possuíam mais de 6 mil horas de voo na carreira e, além de cumprirem as escalas de voo da empresa, um deles exerce as funções de gerente de pilotos e instrutor, e o outro a função de instrutor.

Na segunda oportunidade, no dia 6 de agosto de 2010, foram feitas entrevistas com a finalidade específica de coletar dados para este trabalho, antes, durante e após

o experimento, as quais foram gravadas, com a permissão dos entrevistados, utilizando-se um recurso de gravação de voz do aparelho celular.

Foi empregada a técnica de entrevista semiestruturada, ou seja, entrevista guiada com referência a pontos de interesse que foram explorados no decorrer do seu andamento, conforme especificações de Gil (2009).

A entrevista anterior ao experimento foi feita com dois pilotos e teve a duração de uma hora. Ela se deu na cabine do simulador, durante a ativação dos sistemas e também com estes já em funcionamento. A sua condução buscou explorar, por meio de questões predefinidas, a visão do piloto sobre os seguintes pontos referentes ao HUD: as principais características que o diferenciam dos instrumentos convencionais do painel; as características que influenciam no controle vertical e lateral da aeronave; os símbolos relacionados com a aproximação ILS; os símbolos e informações relacionados com o gerenciamento de energia da aeronave; sua influência no gerenciamento de energia e atitude da aeronave abaixo da DH; a trajetória de voo gerada por computador; e a influência do HUD na decisão do piloto em completar a aproximação no instante em que se atinge a DH.

A segunda etapa das entrevistas durou trinta minutos e teve a finalidade de discussão dos resultados apresentados nos relatórios do simulador. Focalizou-se a diferenças entre as operações com emprego do HGS e as operações com os instrumentos convencionais do painel, quanto ao gerenciamento das informações relevantes ao controle da aeronave no que se refere à manutenção da trajetória, à atitude e à energia.

No dia 29 de setembro de 2010, foram realizadas, na Escola de Aperfeiçoamento de Oficiais da Aeronáutica (EAOAR), entrevistas com dois pilotos do GTE, atualmente alunos do Segundo Curso de Aperfeiçoamento de 2010 (CAP 2-2010), que cumpriam, até o início desse curso, escalas de voo das aeronaves EMB-190, que recebem na FAB a designação Aeronave de Transporte de Pessoas Muito Importantes-2 (VC2). Ambos são qualificados como instrutores dessa aeronave.

Definida a metodologia, buscaram-se teorias relacionadas com efeitos do HUD sobre a precisão da navegação e sobre a consciência situacional, para o embasamento da interpretação dos dados coletados segundo o planejamento da pesquisa.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

Este trabalho teve como objetivo identificar os fatores relacionados ao emprego do HUD que influenciam o desempenho do piloto em uma operação de aproximação ILS CAT I com limites reduzidos de

DH e visibilidade, em condições de baixa visibilidade e teto.

Os estudos sobre a redução dos limites de RVR e teto de procedimentos de aproximação ILS mediante o emprego do HUD são ainda incipientes no Brasil, portanto o planejamento da pesquisa exigiu uma exploração inicial do assunto por meio do levantamento de alguns estudos e documentos internacionais, por meio de entrevistas preliminares e de um contato inicial com o sistema em funcionamento.

Esta exploração conduziu à investigação e coleta de dados referentes ao impacto do sistema na precisão da operação e a sua influência na consciência situacional do piloto.

Foi então feito o planejamento de um experimento em simulador de voo e de entrevistas com pilotos experientes no emprego do HUD, com o objetivo de investigar os efeitos desse sistema na precisão da operação ILS e os seus efeitos na percepção do piloto quanto aos parâmetros relevantes de voo e às condições externas, que levam à sua decisão em completar a aproximação ou iniciar uma aproximação perdida.

Para o embasamento da interpretação dos dados coletados segundo o planejamento da pesquisa, recorreu-se às teorias relacionadas com efeitos do HUD sobre a precisão e sobre a consciência situacional.

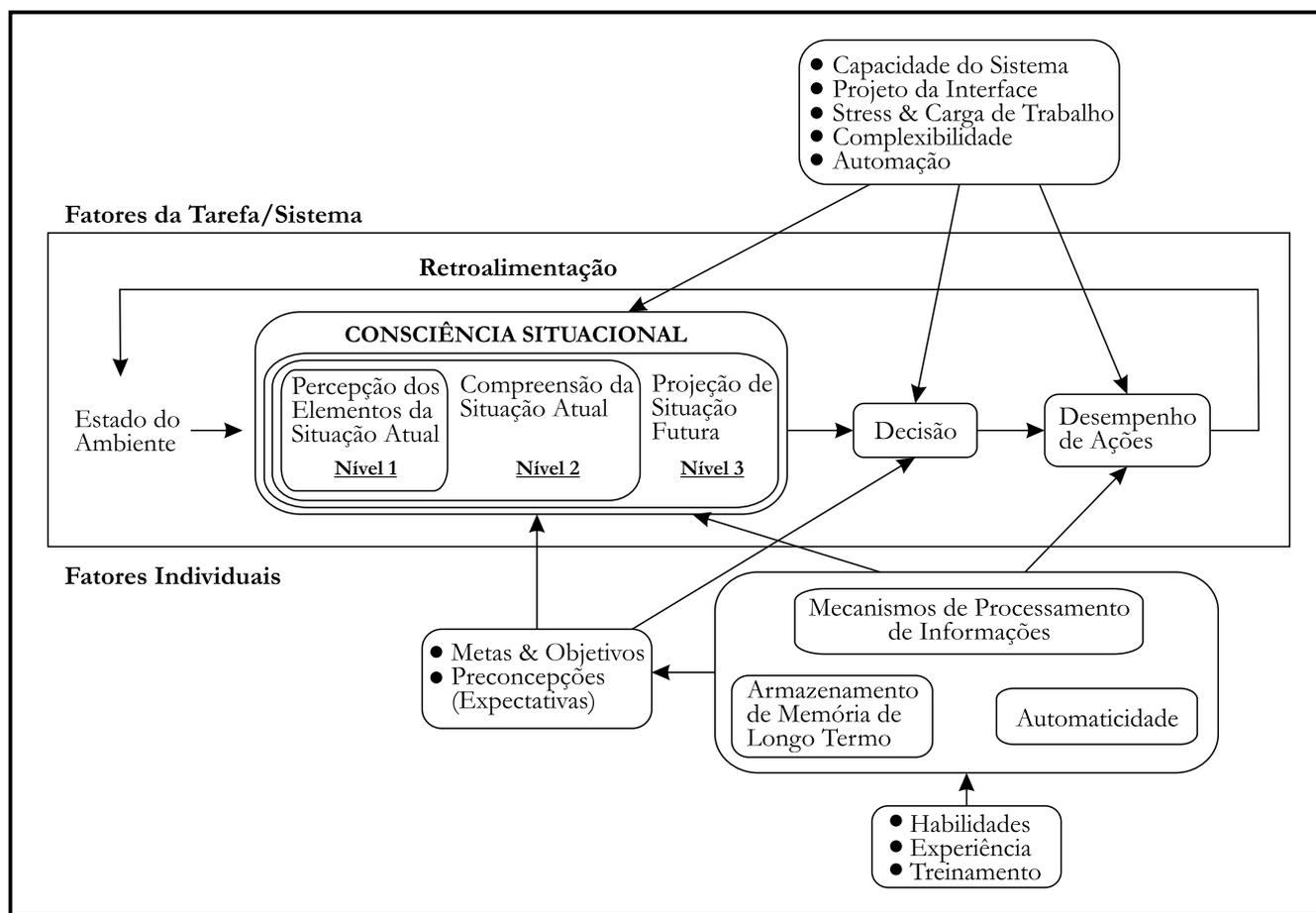
### 2.1 COMPARAÇÕES ENTRE O HUD E OS INSTRUMENTOS CONVENCIONAIS

Goteman, Smith e Dekker (2007) verificaram empiricamente que, em comparação com os instrumentos convencionais, o uso do HUD reduz a dispersão lateral de pontos de toque sucessivos em todas as condições de visibilidade, incluindo visibilidades abaixo dos mínimos permitidos, e concluíram que a visibilidade mínima para aproximações utilizando o HUD pode ser mais baixa que para aproximações sem um HUD.

Segundo Lauber *et al. apud* Goteman, Smith e Dekker (2007, p. 2), as comparações entre o HUD e os instrumentos convencionais, instalados no painel das aeronaves, têm demonstrado que o uso do HUD melhora a manutenção de trajetória, velocidade e altitude.

### 2.2 CONSCIÊNCIA SITUACIONAL (CS)

Endsley (1988) descreve a Consciência Situacional (CS) como a percepção dos elementos no ambiente dentro de um volume de tempo e espaço (nível 1), a compreensão dos seus significados (nível 2) e a projeção de suas situações no futuro próximo (nível 3).



**Figura 1:** Modelo de CS em tomada de decisão dinâmica.  
Fonte: ENDSLEY, 2000.

Nas operações de aproximação ILS em condições de baixa visibilidade, estão envolvidos todos os ingredientes da descrição acima. O piloto tem que perceber os dados relevantes do voo, como atitude da aeronave, velocidade e posição em relação à trajetória especificada, tem que compreender a situação atual de todos esses elementos e antecipar os comandos para manter o perfil ideal de voo, manter a estabilidade da aeronave, e atingir o ponto desejado com a maior precisão possível.

O modelo teórico abaixo sintetiza a teoria de Endsley sobre os processos dinâmicos de tomada de decisão, os quais servirão de embasamento para a análise das entrevistas com os pilotos.

Endsley (2000) afirma que tem sido demonstrado que há uma série de fatores que influenciam o processo de aquisição e manutenção da CS. Entre eles está o projeto das interfaces, tanto em termos do grau em que os sistemas fornecem as informações necessárias, quanto do formato no qual estas informações são fornecidas. Ele afirma também que outras características do ambiente, tais como a complexidade do sistema, também podem afetar a CS.

Para Woods (1998) a complexidade resulta de três fatores básicos: características do sistema; características dos operadores; e características das interfaces. São exemplos de características dos sistemas o dinamismo, o risco, a incerteza e as exigências da tarefa.

Essa teoria está relacionada ao trabalho de pesquisa na medida em que ele envolve as interações entre operadores e sistemas no ambiente em que está inserida a operação de uma aeronave em uma aproximação de precisão em condições de baixa visibilidade.

A interface<sup>4</sup> em estudo é a tela do HUD, onde ele apresenta para o piloto os dados e as simbologias compreensíveis.

Uma das características mencionadas, o dinamismo, ou dinâmica de processo, segundo Perrow (1984) é definido pela duração média das atividades e a velocidade de transição na mudança dos estados do sistema. Essa característica é um ponto a ser investigado na comparação entre a operação com o HUD e sem esse equipamento. No instante em que a aeronave atinge a DH e o piloto tem que fazer a transição do voo com referência aos dados fornecidos

<sup>4</sup> Interface, para efeito deste estudo, é o meio de comunicação entre dois sistemas diferentes.

pelos instrumentos para o voo com referências visuais externas.

Alguns integrantes da comunidade da aviação comercial, como Newman (1995), consideram que o uso HUD pode abrandar o problema da transição do voo com base nos instrumentos para as referências visuais externas, nas operações de pouso com baixa visibilidade, ou seja, ele pode alterar a dinâmica de mudança de estado do sistema.

Segundo Ingman (2005), a mente humana requer um tempo mínimo de 400 a 600 milissegundos para assimilar uma informação visual. Dentro de um sistema dinâmico, como uma operação de aproximação de precisão, no qual as decisões têm que ser tomadas em curto espaço de tempo, uma pequena redução do tempo requerido pelas tarefas pode ser significativo.

Agora que o leitor foi apresentado às teorias que fundamentam este estudo, torna-se oportuno apresentar os resultados da pesquisa, acompanhados das relações com a fundamentação e com o problema.

### 3 APRESENTAÇÃO DOS DADOS E ANÁLISE DOS RESULTADOS

A seguir serão apresentadas as evidências coletadas com o objetivo de esclarecimento das hipóteses formuladas na proposição do problema. Os dados serão apresentados em duas partes, conforme a utilização dos referenciais teóricos aplicados às hipóteses, e os resultados serão analisados em conjunto com os respectivos dados, à luz da teoria da consciência situacional.

## 3.1 EXPERIMENTO EM SIMULADOR DE VOO

Foram efetuadas 30 aproximações ILS CATI em simulador de voo, tendo como cenário o Aeroporto Internacional de Campinas.

Nas tabelas abaixo estão representados os dados coletados por meio da observação dos exercícios e leitura dos relatórios emitidos pelo simulador de voo.

### 3.1.1 DADOS DOS VOOS SIMULADOS COM EMPREGO DO HUD

O simulador foi programado para reproduzir um ambiente externo com base de nuvens a 150 Ft de altura em relação à elevação da pista de pouso. A DH adotada para os procedimentos foi de 150 Ft, ou seja, 50 Ft abaixo da DH normal, que é de 200 Ft. A visibilidade (RVR) foi ajustada para 400 m, ou seja, 100 m abaixo do RVR mínimo sem o emprego do HUD.

A Tabela 1 contém os dados de 15 aproximações ILS com o emprego do HUD, com DH de 150 Ft.

A Tabela 1 mostra que o desvio lateral médio foi de 2.3 m, que o desvio vertical médio foi de 2.1 Ft (0,64 m) e que o desvio médio de velocidade foi de 4.1 kts. Mostra ainda que todas as aproximações foram completadas e os pousos realizados.

### 3.1.2 DADOS DOS VOOS SIMULADOS SEM EMPREGO DO HUD

A DH adotada para a segunda etapa do experimento também foi de 150 Ft. A Tabela 2 contém os dados de

**Tabela 1:** Aproximações ILS com o emprego do HUD.

Exercício	Medições na posição da posição da DH			Condições ajustadas		Sucesso
	Desvio lateral (m)	Desvio vertical (Ft)	Desv. vel. ref. (kts)	Teto (Ft)	RVR (m)	
1	2,0	0,0	4,8	150	400	Sim
2	0,0	4,0	4,8	150	400	Sim
3	0,0	6,0	3,5	150	400	Sim
4	2,0	4,0	3,5	150	400	Sim
5	2,0	2,0	2,0	150	400	Sim
6	2,0	0,0	4,0	150	400	Sim
7	2,0	4,0	4,0	150	400	Sim
8	2,0	2,0	4,5	150	400	Sim
9	4,0	1,0	3,5	150	400	Sim
10	4,0	3,0	5,0	150	400	Sim
11	3,0	1,0	4,0	150	400	Sim
12	3,0	1,0	4,7	150	400	Sim
13	3,0	1,0	3,5	150	400	Sim
14	2,0	2,0	5,4	150	400	Sim
15	4,0	1,0	4,5	150	400	Sim
Média	2,3	2,1	4,1			100%

**Tabela 2:** Aproximações ILS sem o emprego do HUD.

Exercício	Medições na posição da posição da DH			Condições ajustadas		Sucesso
	Desvio lateral (m)	Desvio vertical (Ft)	Desv. vel. ref. (kts)	Teto (Ft)	RVR (m)	
1	3,0	5,0	5,3	150	1200	Sim
2	3,0	4,0	5,0	150	1200	Sim
3	4,0	4,0	4,8	150	1200	Sim
4	7,0	6,0	4,0	150	550	Não
5	5,0	5,0	8,0	150	550	Não
6	7,0	3,0	5,4	150	800	Sim
7	5,0	7,0	6,0	150	550	Não
8	7,0	9,0	4,7	150	550	Não
9	3,0	9,0	6,5	150	550	Não
10	3,0	5,0	6,5	150	550	Não
11	0,0	0,0	7,0	150	800	Sim
12	5,0	6,0	0,1	150	800	Sim
13	0,0	9,0	2,6	150	800	Sim
14	7,0	7,0	3,8	150	800	Sim
15	6,0	8,0	5,5	150	800	Sim
<b>Média</b>	<b>4,3</b>	<b>5,8</b>	<b>5,0</b>			<b>60%</b>

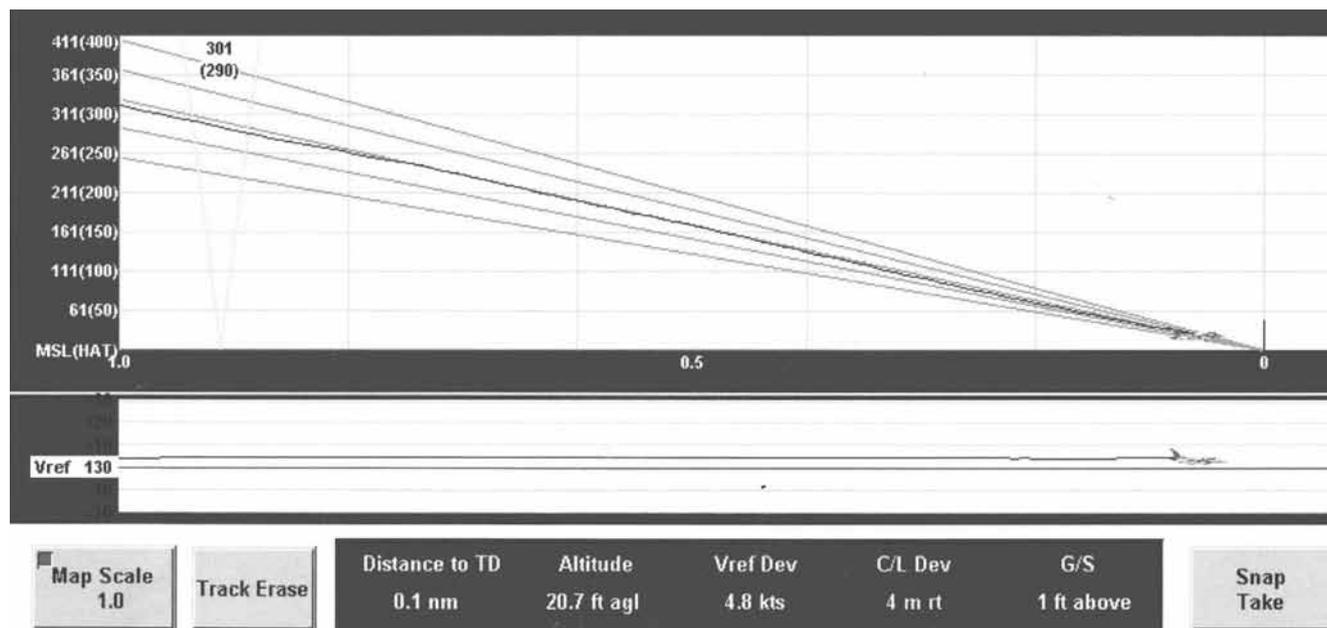
15 aproximações ILS sem o emprego do HUD, com DH de 150 Ft.

A Tabela 2 mostra que o desvio lateral médio foi de 4.3 m, que o desvio vertical médio foi de 7.7 Ft (2,35 m) e que o desvio médio de velocidade foi de 5 kts. Mostra ainda que o sucesso nas aproximações foi de apenas 60%.

Com os RVR ajustados para 1.200 m e 800 m, os pilotos conseguiram efetuar o pouso. Com o RVR em 550 m os pilotos não obtiveram referências para completar a aproximação e efetuaram procedimento de aproximação perdida.

As Figuras 2 e 3 a seguir representam exemplares dos relatórios emitidos pelo simulador de voo *FlightSafety EMB-170/190*. No relatório nº 1, com o emprego do HUD e com um RVR de 400 m, o piloto obtém referências ao atingir a DH e a aeronave mantém uma trajetória precisa até o pouso. No relatório nº 2 o piloto não obtém referências visuais e efetua o procedimento de aproximação perdida.

Os dados dos experimentos serão analisados após a apresentação da visão dos pilotos sobre o HUD, contidas nas entrevistas abaixo.



**Figura 2:** Relatório do exercício nº 1, com HUD.  
Fonte: Simulador FlygthSafety do EMB-190.

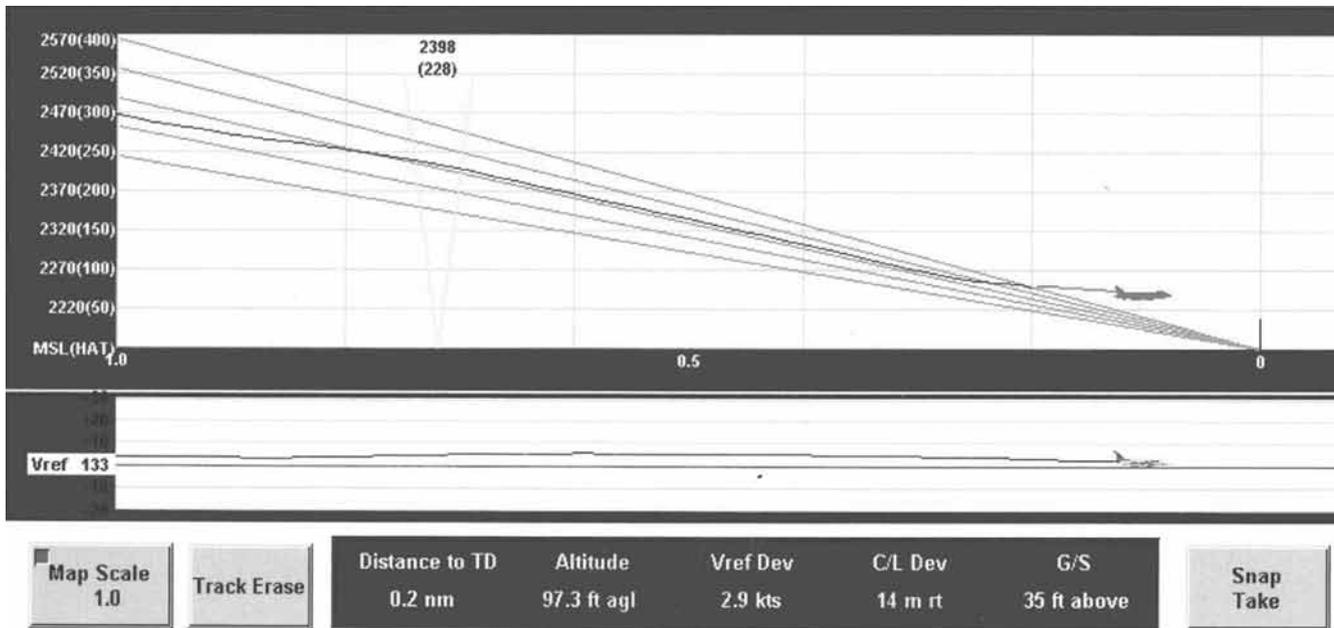


Figura 3: Relatório exercício nº 10, sem HUD.  
Fonte: Simulador FlygthSafety EMB-190.

## 3.2 ENTREVISTAS

Nesta seção serão apresentados os posicionamentos dos pilotos envolvidos com o emprego e instrução sobre o HUD, obtidos por meio de entrevistas.

### 3.2.1 ENTREVISTAS COM PILOTOS COMERCIAIS

Foram entrevistados 6 pilotos de uma empresa aérea comercial nacional de transporte de passageiros. As considerações, mesmo feitas em separado, foram bastante semelhantes entre si. Desta forma será apresentada apenas a entrevista abaixo, considerada mais abrangente.

A entrevista iniciou-se com a solicitação de que o entrevistado discorresse sobre os dados e símbolos apresentados pelo HUD, relacionados com a aproximação ILS. Foi solicitado que abordasse itens previamente levantados, como a *computer generated flight path* (trajetória gerada por computador); *energy symbols* (símbolos de energia); e os instrumentos convencionais de voo. O entrevistado destacou a simplicidade do HUD, a possibilidade que ele oferece de visualização de todos os dados essenciais de voo sem a necessidade de olhar para dentro da aeronave, ou seja, sem desviar sua atenção do ambiente externo à frente da aeronave.

Foram, também, entrevistados dois pilotos do GTE do quadro de pilotos da aeronave VC2 (EMB-190).

A estes o autor fez a seguinte pergunta: “Em um procedimento ILS CAT I, em condições mínimas de visibilidade e teto, quando a aeronave atinge a DH, o HUD te ajuda de alguma forma na decisão entre prosseguir para o pouso ou iniciar a aproximação perdida?”. Ambos os entrevistados responderam que ajuda, e muito, pois o piloto já está olhando para fora quando atinge a DH, olhando exatamente para onde a pista ou as luzes têm que aparecer. Destacaram que, sem o HUD, ao atingir a DH, quando soa alerta “*minimum*”, o piloto tem que olhar para fora, identificar as referências visuais e decidir se prossegue para pouso ou inicia o procedimento de aproximação perdida, tudo isso muito perto do solo.

## 3.3 ANÁLISE DOS DADOS

O presente estudo teve como objetivo identificar os fatores relacionados ao emprego do HGS que influenciam o desempenho do piloto em uma operação de aproximação ILS CAT I com limites reduzidos de teto e visibilidade, em condições meteorológicas equivalentes a esses limites. Com a finalidade de definir as ações de pesquisa foram construídas as seguintes hipóteses:

a) o HUD aumenta a precisão da trajetória da aeronave no plano horizontal e no plano vertical (hipótese 1); e

b) o HUD contribui para a consciência situacional do piloto (hipótese 2).

### 3.3.1 ANÁLISE DOS DADOS DOS EXPERIMENTOS

Inicialmente, para testar a primeira hipótese, recorre-se às médias dos desvios de trajetória, lateral e vertical, e de velocidade nas tabelas 01 e 02.

Observa-se que o desvio lateral médio, o desvio vertical médio e o desvio médio de velocidade com o emprego do HUD foram, respectivamente, 46,2%, 63,2% e 18% menores que os desvios médios resultantes das operações sem o emprego do HUD.

Este resultado corrobora a primeira hipótese 1, ratificando as teorias de Lauber *et al.* *apud* Goteman, Smith e Dekker (2007, p. 2), segundo os quais as comparações entre o HUD e os instrumentos convencionais, instalados no painel das aeronaves, têm demonstrado que o uso do HUD melhora a manutenção de trajetória, velocidade e altitude.

O índice de sucesso nas aproximações com o emprego do HUD foi de 100%, ou seja, 40% maior que nas aproximações sem o emprego desse sistema. Cabe ressaltar que, sem o emprego do HUD, apenas operações com RVR de 800 m ou acima tiveram sucesso, portanto as características do HUD supriram a falta de visibilidade com RVR abaixo de 800 m. Esse resultado, apesar de não ser o foco do experimento, que era a verificação dos desvios na posição em que a aeronave atinge a DH, corrobora a hipótese 2, juntamente com os posicionamentos dos entrevistados, ao mostrar que informações adicionais disponibilizadas pelo HUD, como a representação gráfica da pista de pouso na sua tela, bem como a forma com que as informações de desvio são continuamente apresentadas, mesmo abaixo da DH, enquanto o piloto olha para fora, podem influenciar a consciência situacional do piloto e o seu desempenho com relação a completar a aproximação e efetuar o pouso.

### 3.3.2 ANÁLISE DOS CONTEÚDOS DAS ENTREVISTAS

Ambos destacaram a característica da interface do HUD de permitir que o piloto tenha todas as informações relevantes do voo numa posição na qual ele não necessita olhar para dentro, ou seja, ele não desvia sua atenção para dentro da aeronave.

Na entrevista com P7 observa-se a afirmação de que o HUD ajuda o piloto no momento da decisão de completar a aproximação ou iniciar a aproximação

perdida. Do seu depoimento depreende-se que isto ocorre devido ao projeto da interface do HUD, que permite que, no instante em que atinge a DH, o piloto já esteja olhando na direção do deslocamento da aeronave.

Considerando a operação de aproximação como um sistema mais amplo e complexo, o HUD contribui com a diminuição da sua complexidade na medida em que, segundo os entrevistados, concentra em uma pequena área os dados relevantes, em uma posição favorável ao rastreamento dessas informações e à transição para o rastreamento do ambiente externo.

A concentração de dados relevantes em uma pequena área, em uma posição favorável, na direção da vista do piloto para a cena externa à frente da aeronave, também reduz o tempo dessa transição, liberando mais tempo para o piloto assimilar as informações visuais, tarefa que, segundo Ingman (2005), a mente humana leva de 400 a 600 milissegundos para executar. Lembrando o que mencionou P1, trata-se de uma situação “a baixa altura”, considerando o enfoque no segmento abaixo da DH, no qual o tempo é muito restrito, dada a velocidade envolvida e a proximidade com o terreno.

Ressalta-se que, segundo o modelo de decisões dinâmicas de Endsley (2000), tanto o projeto da interface quanto a complexidade dos sistemas envolvidos influem na Consciência Situacional. Uma vez que, com base nos depoimentos coletados nesta pesquisa, o HUD diminui a complexidade das operações citadas e sua interface favorece a execução das tarefas e a tomada de decisão do piloto, a hipótese 2 foi corroborada, ou seja, o HUD contribui para Consciência Situacional do piloto.

## CONCLUSÃO

Com os dados coletados nos experimentos em simulador de voo, pode-se concluir que o HUD proporciona uma trajetória mais precisa, tanto no plano horizontal, quanto no plano vertical, além de menores variações de velocidade, em comparação com os instrumentos convencionais, ratificando a teoria de Lauber *et al.* *apud* Goteman, Smith e Dekker (2007, p. 2), segundo a qual o uso do HUD melhora a manutenção de trajetória, velocidade e altitude. Esses são fatores que podem influenciar na redução dos limites mínimos dos procedimentos ILS CAT I.

Com os dados obtidos por meio das entrevistas, e com base no modelo de decisões dinâmicas de Endsley (2000), foi possível concluir que, em operações de aproximação ILS CAT I, em condições de baixa visibilidade e teto, com mínimos de DH e RVR reduzidos, a interface do HUD, ou seja, o conteúdo de dados relevantes que ele apresenta, bem como a forma com que

esses dados são apresentados, diminui a complexidade da operação, o tempo para o rastreamento das informações essenciais e, conseqüentemente, influencia positivamente a Consciência Situacional do piloto.

O emprego do HUD, mesmo em condições de visibilidade e teto abaixo dos limites mínimos para ILS CAT I, diminui o erro lateral e vertical, bem como os desvios de velocidade, em relação aos instrumentos convencionais, além de reduzir a complexidade das tarefas do piloto de manter a trajetória e a velocidade da aeronave e rastrear o ambiente externo para a transição para as referências visuais, na fase a partir do instante em que a aeronave atinge a DH, devido à forma com que apresenta os dados relevantes do voo.

Dessa forma, respondeu-se ao problema da pesquisa, pois foi identificado que HUD possibilita operações com

limites reduzidos de DH e visibilidade, uma vez que ele aumenta a precisão da trajetória e a consciência situacional do piloto, possibilitando a decisão pelo desenvolvimento de orientações, normas e procedimentos para a redução dos mínimos de visibilidade e DH de procedimentos ILS CAT I, mediante o emprego do HUD.

Estas normas e procedimentos trariam considerável benefício operacional para as aeronaves VC-2 da FAB, uma vez que a acessibilidade de um grande número de aeródromos com instalações ILS CAT I seria ampliada, sem novos investimentos em balizamentos luminosos.

Novos estudos podem ser desenvolvidos no sentido de expandir os objetivos de redução dos mínimos, por exemplo, para mínimos CAT II, mantendo-se as instalações CAT I, com evidente benefício operacional e econômico.

## REFERÊNCIAS

ENDSLEY, M. R.; GARLAND, D. J. **Situation Awareness: Analysis and Measurement**. 1. ed. Mahwah, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates, 2000. 371 p.

EUA. Federal Aviation Administration. **Procedures Criteria for Approval Of Category III Weather Minima For Takeoff, Landing, And Rollout**: Advisory Circular120-28D. Oklahoma City, 1999. 103 p.

EUA. Federal Aviation Administration. **Criteria for Approval of Category I And Category II Weather Minima for Approach**: Advisory Circular120-29A. Oklahoma City, 2002. 273 p.

EUA. Federal Aviation Administration. **Terminal Procedures**: ORDER 8360.3B, CHG20. Oklahoma City, 2007. 273 p. e FAA, 2007).

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2006. 175 p.

LAUBER *at al.* **An Operational Evaluation of Head-Up Displays for Civil Transport Aircraft**. Moffett Field, CA: NASA Ames Research Center, 1982 GOTEMAN, O.; SMITH, K.; DEKKER, S. **HUD**

**With a Flight-Path Vector Reduces Lateral Error During Landing in Restricted Visibility**. 2007. 19 p. Practioner Article - Department of Industrial Ergonomics, Linköping Institute of Technology, Stockholm, Sweden.

ICAO. International Civil Aviation Organization. **Aeronautical Telecommunications**: v. 1 . 6. ed.: Annex 10. Montreal, 2006. 564 p.

INGMAN, A. **The Head Up Display Concept: A Summary with Special Attention to the Civil Aviation Industry**. 2005. Dissertation (Professional qualifications in Aviation) - School of Aviation, Lund University, Lund, Sweden, 2005. 18 p.

Newman, R. L. **Head-up displays**: Designing the way ahead. Aldershot, England: Ashgate. 1995.

PERROW, C. **Normal accidents**: living with highrisk technologies. Princeton, NJ, United States: Princeton University Press, 1984. 386 p.

WOODS, D. D. **Designs are hypotheses about how artifacts shape cognition and collaboration**. Ergonomics Journal, Institute for Ergonomics and Human Factors, Loughborough, UK, v.41, p. 168-173, 1998.