

**O HMD e a consciência situacional do piloto de F-5M em cenários
de combate visual**

Rio de Janeiro
2015

RESUMO

O presente artigo tem como objetivo analisar a influência do voo sem HMD na consciência situacional do piloto de F-5M, quando voando em cenários de combate visual. A pesquisa foi considerada descritiva por estabelecer relação entre as variáveis: o voo sem HMD e a consciência situacional. Para embasar a pesquisa, foi utilizada a teoria contida nos estudos de Mica R. Endsley. A pesquisadora definiu a consciência situacional como sendo a percepção dos elementos no ambiente dentro de um volume de tempo e espaço, a compreensão do seu significado, e a projeção do seu *status* em um futuro próximo. Para verificação dessa teoria, foi feita uma pesquisa experimental no simulador de voo da aeronave F-5M, e também uma pesquisa bibliográfica para fundamentar o trabalho. Os resultados da pesquisa mostraram que, os pilotos sem HMD variam 3 vezes mais a velocidade em uma curva de alta performance; demoram, em média, 2,5 vezes mais para adquirirem a compreensão de uma situação tática contra dois alvos; e tem menores chances de sobrevivência em um engajamento contra duas aeronaves. Conclui-se que o voo sem HMD, em combate visual, influencia negativamente os três níveis da consciência situacional.

Palavras-Chave: F-5M. Consciência Situacional. HMD. Combate Visual.

ABSTRACT

This article aims to analyze the influence of the flight without HMD at the situational awareness of the F-5M pilots, flying in dog fight scenarios. The research was considered descriptive as establish relation between the variables: the flight without HMD and the situational awareness. In order to support the research, we used the theory contained in the studies of Mica R. Endsley. The researcher defined the situational awareness as "the perception of the elements in the environment within a volume of time and space, the comprehension of their meaning and the projection of their status in the near future". To check this theory was made a experimental research in the flight simulator of the F-5M aircraft, and also a bibliographic research for theoretical substantiation. The results of the research showed that, the pilots without HMD vary 3 times higher the speed in a high performance turn; delay, on average, 2,5 times higher to acquire the comprehension of the tactical situation against two targets; and have less chances of survive in a engagement against two aircraft. It was concluded that the flight without HMD, in dog fights, has a negative influence on the three levels of the situational awareness.

Keywords: F-5M. Situational Awareness. HMD. Dog Fight.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	5
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	9
3 METODOLOGIA	11
4 COLETA, ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DE DADOS	14
5 CONCLUSÃO	19
REFERÊNCIAS.....	21
APÊNDICE A	23
APÊNDICE B	24
APÊNDICE C	25
APÊNDICE D	26

1 INTRODUÇÃO

A Doutrina Básica da Força Aérea Brasileira (DCA 1-1) estabelece como missão-síntese da Aeronáutica “manter a soberania do espaço aéreo nacional com vistas à defesa da pátria” (BRASIL, 2012, p.7). Dentre as tarefas básicas da Força Aérea Brasileira (FAB), "o Controle do Ar é a tarefa básica realizada com os propósitos de dominar o espaço aéreo e o espacial de interesse e de impedir que o inimigo faça o mesmo" (BRASIL, 2012, p.45).

A Aviação de Caça no Brasil, uma das aviações responsáveis pela defesa do espaço aéreo, têm vivenciado diversas mudanças na sua doutrina de emprego, principalmente na última década. Novos equipamentos foram incorporados, utilizando a tecnologia em favor da eficiência do emprego do armamento.

Dentre as ações de Força Aérea destinadas aos Esquadrões de Caça da FAB, a Defesa Aérea "é a ação que consiste em empregar os meios para detectar, identificar e destruir vetores aéreos inimigos que ameacem forças amigas e áreas de interesse" (BRASIL, 2012, p.54). O Primeiro Esquadrão do Décimo Quarto Grupo de Aviação (1º/14º GAV) é um dos Esquadrões da FAB que operam a aeronave F-5 modernizada (F-5M), e cumpre cerca de 60% de seu esforço aéreo em missões de Defesa Aérea (BRASIL, 2015). Para isso, o Combate Aéreo é o principal meio pelo qual as aeronaves de Caça cumprem esta missão.

Atualmente, o tipo de Combate Aéreo mais treinado é o combate *Beyond Visual Range* (BVR)¹, pois prevê o lançamento do armamento a uma distância maior, se comparado ao combate visual, permitindo assim uma menor exposição ao inimigo. Porém, fatores como: perda de consciência situacional (CS), mau funcionamento do radar da aeronave, escassez de mísseis ativos², dentre outros, podem levar as aeronaves em uma arena de combate BVR a se aproximarem e ingressarem em uma arena de combate visual.

Conforme relatado em um estudo realizado nos Estados Unidos (STILLION; PERDUE, 2008), das 588 aeronaves abatidas em combate aéreo desde o advento dos mísseis BVR, somente 24 foram abatidas por este tipo de míssil. As demais

¹ BVR: Além do Alcance Visual.

² Míssil ativo: míssil normalmente lançado além do alcance visual, possuindo capacidade de realizar uma navegação inercial até uma distância em que adquiri contato com o alvo com um sistema de detecção próprio.

aeronaves foram abatidas em combate visual através de emprego de mísseis, ou até mesmo canhão.

A missão de combate visual é muito dinâmica e o tempo de reação para as ações ofensivas e defensivas é pequeno. Neste ambiente, a consciência situacional pode ser primordial para a sobrevivência e para a letalidade das ações. No Manual da Aviação da Caça (MACAÇA), manual utilizado pela Força Aérea Brasileira, são citados alguns aspectos importantes a serem considerados em um combate visual tais como:

- a) planeje voar com elevado *mach*³, assim que a situação tática permita, e nunca seja apanhado em uma velocidade abaixo da *corner speed*⁴;
- b) nunca perca de vista seu oponente, uma vez que você tenha o visto. Você tem que ver o inimigo para poder manobrar eficientemente. Caso o perca de vista, tenha sempre em mente uma manobra que permita readquirir o visual, ou até mesmo, separar. (BRASIL, 2013, p.4.3)

Para que estes aspectos sejam considerados, o nível de consciência situacional do piloto deve ser apurado. A consciência situacional é definida como sendo "a percepção dos elementos no ambiente dentro de um volume de tempo e espaço, a compreensão do seu significado, e a projeção do seu *status* em um futuro próximo" (ENDSLEY, 1999, p.258, tradução nossa). Sendo assim, em um ambiente de combate visual, o piloto necessita de meios que auxiliem a percepção, a compreensão e a projeção de suas ações futuras para que sua missão seja cumprida.

A Força Aérea Brasileira dispõe de equipamentos avançados para missões de combate visual. Dentre eles, destaca-se o capacete *Helmet Mounted Display* (HMD) e o míssil *Python 4*, os quais, atuados em conjunto, podem ser muito eficientes.

O HMD é um capacete que provê ao piloto, conforme figura 1, diversas informações na própria viseira do capacete tais como: velocidade, altitude, proa, carga G⁵, dados de emprego de míssil, dentre outras informações importantes. Isso permite ao piloto manter a sua atenção para fora da nacele⁶, deixando de buscar as

³ *mach*: é uma unidade de medida de velocidade, sendo definida pela relação entre a velocidade do objeto e a velocidade do som (1234,8km/h).

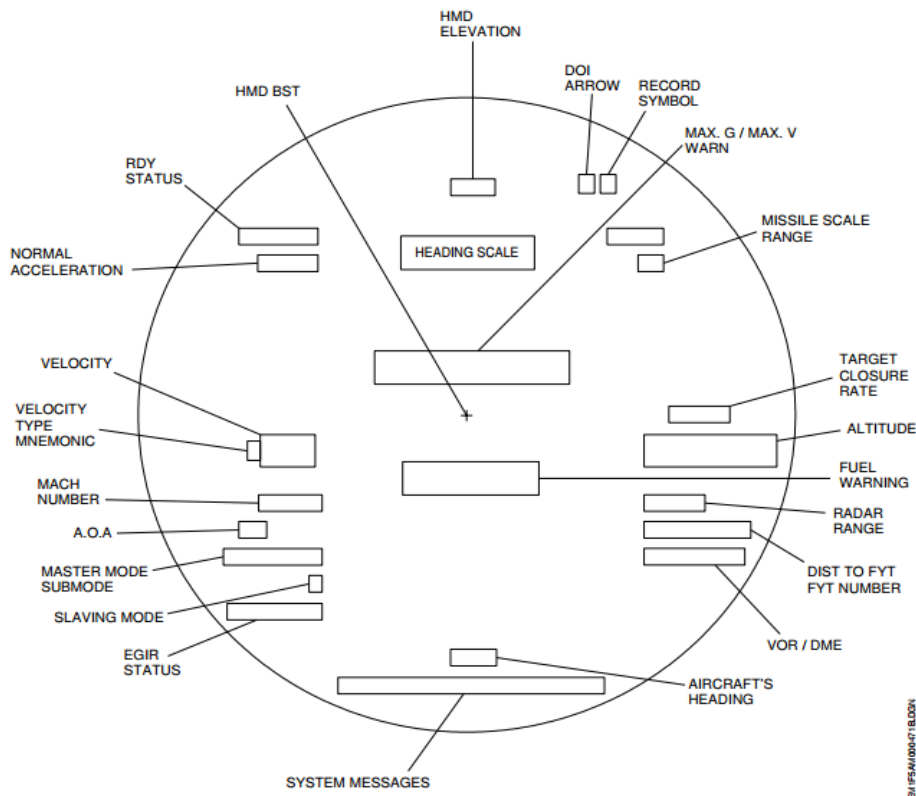
⁴ *corner speed*: menor velocidade com a qual se consegue o máximo G instantâneo e também o máximo G sustentado, neste último caso, proporcionando a melhor performance de curva.

⁵ carga G: ou fator de carga, é a razão entre a sustentação produzida pela asa de uma aeronave e o seu peso.

⁶ nacele: cabine ou cockpit da aeronave.

informações de voo e da missão no Head Up Display (HUD)⁷. Uma outra funcionalidade desse capacete, é a possibilidade de escravizar⁸ o míssil *Python 4* ao HMD, fazendo com que o *seeker*⁹ do míssil seja direcionado para onde o capacete esteja apontando até o momento do lançamento. Nesse caso, o míssil fica limitado a 107° (limite do *seeker*) de abertura lateral, sendo que, escravizado ao radar da aeronave em um dos seus modos utilizados em combate visual, o limite é de 60°.

Figura 1 - HMD WINDOWS



Fonte: EMBRAER (2005a, p.6.4)

O *Python 4* é um míssil infravermelho de 4ª geração que possui características de desempenho superiores aos seus antecessores de 3ª geração, tais como: capacidade de acoplar alvos em até 107° *off-boresight*¹⁰, baixo tempo de aquisição do alvo, melhora na performance, dentre outras características que possibilitam um ganho operacional significativo.

Ao verificar que a missão de combate visual continua sendo importante na guerra moderna, que as características operacionais do HMD podem aumentar a consciência situacional de um piloto de F-5M em um combate visual, permitindo

⁷ HUD: dispositivo fixo, localizado na linha de visada do piloto, o qual fornece informações de voo.

⁸ escravizar: capacidade que o HMD possui de ser a fonte pelo qual o míssil *Python 4* "procura" seu alvo.

⁹ *seeker*: sensor do míssil responsável pela identificação do alvo ("olhos" do míssil).

¹⁰ *off-boresight*: além da linha de visada.

assim um possível aumento das chances de sua sobrevivência e incremento de sua letalidade, e que a disponibilidade das aeronaves para o uso do HMD está baixa, surgiu uma inquietação neste pesquisador a respeito do seguinte problema de pesquisa: qual o impacto do voo sem HMD na consciência situacional do piloto de F-5M, em cenários de combate visual?

Diante do exposto, o objetivo geral deste trabalho é analisar a influência do voo sem HMD na consciência situacional do piloto de F-5M, em cenários de combate visual.

Com a finalidade de atingir o objetivo proposto, foram elaborados algumas questões que nortearam esta pesquisa:

QN1: Qual a influência do HMD na percepção do piloto (nível 1 da CS) em arena de combate visual?

QN2: Qual a influência do HMD na compreensão do piloto (nível 2 da CS) em arena de combate visual?

QN3: Qual a influência do HMD na projeção das ações do piloto (nível 3 da CS) em arena de combate visual?

A fim de responder estes questionamentos, foram definidos os seguintes objetivos específicos:

OE1: identificar o nível de percepção do piloto (nível 1 da CS) em arena de combate visual, com HMD.

OE2: identificar o nível de percepção do piloto (nível 1 da CS) em arena de combate visual, sem HMD.

OE3: identificar o nível de compreensão do piloto (nível 2 da CS) em arena de combate visual, com HMD.

OE4: identificar o nível de compreensão do piloto (nível 2 da CS) em arena de combate visual, sem HMD.

OE5: identificar o nível de projeção das ações do piloto (nível 3 da CS) em arena de combate visual, com HMD.

OE6: identificar o nível de projeção das ações do piloto (nível 3 da CS) em arena de combate visual, sem HMD.

O resultado obtido na pesquisa permite que fique claro de que forma o voo sem HMD influencia na consciência situacional dos pilotos de F-5M em cenário de combate visual. Dessa forma, é possível que seja ratificada a importância do uso

desse capacete para a sobrevivência e para a letalidade do piloto, ou seja, para o cumprimento da missão com redução de perda de recursos humanos e materiais.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A missão de combate visual é complexa e dinâmica, exigindo dos pilotos percepção dos elementos envolvidos em uma arena de combate visual, compreensão do significado das percepções, e habilidade para projetar ações futuras. Esta análise baseia-se na definição de consciência situacional dada por Endsley (1999).

Em uma de suas obras, Endsley delineou sua definição de consciência situacional, especificamente para aeronaves de caça que cumprem missões ar-ar, dando alguns exemplos de situações que ilustram os três níveis da CS:

- a. nível 1: localização, altitude, e proa da sua aeronave e do inimigo; localização do inimigo mais próximo; detecções; *status* dos sistemas; localização das ameaças de solo e obstáculos;
- b. nível 2: tempo da missão e seu status; impacto de degradação de sistemas; autonomia de combustível; situação tática da aeronave inimiga (ofensiva/defensiva/neutra);
- c. nível 3: projetar táticas e manobras, e tempo e posição de tiro.(ENDSLEY, 1995, p.37, tradução nossa)

Na missão de combate visual, o nível 1 da CS pode ser observado por meio da percepção de informações básicas de voo, como a velocidade por exemplo, com o objetivo de o piloto melhorar a performance das manobras executadas, além de dividir sua atenção com a manutenção do visual com a aeronave inimiga. Endsley (1999) elencou os erros da CS (nível 1) como sendo os mais básicos, onde informações importantes, apesar de estarem disponíveis, podem não ser corretamente percebidas, ou difíceis de detectar.

O nível 2 pode ser adquirido na compreensão das informações recebidas dos sensores da aeronave, tais como: detecção radar, tone míssil¹¹ ou simbologia do alvo apresentada no HMD. Esses recursos podem auxiliar na compreensão da situação tática das aeronaves inimigas, conforme citado por Endsley (1995).

O último nível da CS (nível 3), pode ser verificado na projeção das ações futuras no que diz respeito ao emprego do armamento, após a compreensão dos dados recebidos pelos sensores. Nesse nível, a projeção das táticas e o tempo para

¹¹ tone míssil: sinal auditivo recebido pelo piloto quando o míssil "enxerga" o alvo.

o emprego do armamento citados por Endsley (1995) pode determinar a sobrevivência de um piloto e o sucesso de sua missão.

Este trabalho pesquisou os efeitos do uso do HMD nos três níveis da consciência situacional durante um combate visual. Foi verificado nesse ambiente: se a informação de velocidade na viseira do HMD afetou a performance de uma manobra (nível 1 da CS), e como a compreensão da situação tática das aeronaves inimigas (nível 2 da CS) e a efetividade do emprego do armamento (nível 3 da CS) foram afetados.

"O processo de obtenção e manutenção de consciência situacional torna-se cada vez mais difícil na medida em que a complexidade e a dinamicidade do ambiente aumenta" (Endsley, 1995, p.33, tradução nossa). Em um cenário de combate visual, existem diversas possibilidades de engajamentos entre as aeronaves, o que torna complexa esse tipo de missão. Além disso, esse tipo de cenário evolui de forma rápida, ficando explícita a dinamicidade citada por Endsley.

Ainda, segundo Endsley (1995, p.51, tradução nossa), "a habilidade em dividir a atenção entre múltiplas tarefas e informações será muito importante em um cenário complexo". Em um combate visual, a complexidade exige dos pilotos esta habilidade em dividir várias tarefas e informações tais como: olhar para fora da nacele na busca visual de um alvo enquanto "procura" a informação de velocidade nos instrumentos para manobrar de forma eficiente, compreender a correta posição do inimigo através das informações adquiridas pelos sistemas da aeronave, além de realizar o emprego do armamento de forma eficiente.

Sendo assim, um aumento na consciência situacional, em arena de combate visual, pode maximizar a capacidade de atacar e defender antes que o inimigo o faça. Cabe ressaltar que, nesse tipo de combate, a sobrevivência de uma aeronave depende da sua capacidade de atacar, já que a proximidade do inimigo não permite, na maioria das vezes, uma fuga da arena de combate.

Levando em consideração os fatos levantados, ao associar o uso do HMD com o aumento da consciência situacional, e a Teoria da Consciência Situacional em Sistemas Dinâmicos de Endsley, pretende-se analisar qual o impacto do voo sem HMD na consciência situacional dos pilotos de F-5M, em cenários de combate visual.

3 METODOLOGIA

Conforme a classificação prevista por Gil (2010), esta pesquisa se enquadra como descritiva, pois busca estabelecer a relação entre as variáveis: o voo sem HMD e a consciência situacional.

Para definir os conceitos de consciência situacional, foi realizada uma revisão bibliográfica, através da consulta de livros e artigos científicos que tratam do assunto em questão. Para definição de conceitos, nomenclaturas e termos técnicos utilizados, foi feita uma pesquisa documental baseada nos manuais e doutrinas do Comando da Aeronáutica.

Após, foi feita uma pesquisa experimental (Gil, 2010), através da utilização do simulador da aeronave F-5M, localizado na Base Aérea de Canoas, para identificar a influência do voo sem HMD na consciência situacional em ambiente de combate visual.

O voo simulado teve como participantes os pilotos do 1º/14º GAV. A fim de que os resultados pudessem ser generalizados para a população, segundo a definição de Gil (2010), os pilotos participantes foram considerados a amostra por apresentarem uma característica comum, serem operacionais na utilização do HMD.

Foram realizados dois tipos de testes no simulador, de modo a ser analisada a influência do voo sem HMD nos três níveis da CS, sendo que o 1º teste verificou o nível 1, e o 2º teste verificou os níveis 2 e 3.

O cenário previsto para os OE1 e OE2 foi uma simulação da situação de combate um contra um (1 x 1), ou seja, a aeronave avaliada contra outra aeronave, sendo utilizado somente o canhão¹². Tal cenário foi selecionado por ser uma situação mais básica de combate, onde o piloto precisa manobrar a aeronave da melhor forma possível para se posicionar no setor traseiro do alvo e atingir parâmetros de tiro. Nesta situação, a manutenção da velocidade durante a manobra foi o parâmetro para verificar qual o nível de percepção (nível 1 da CS) de um piloto com e sem o HMD. Segundo Shaw (1987, p.409, tradução nossa), "a manutenção da velocidade é muito importante para a performance das curvas prolongadas com carga G sustentadas".

¹² canhão: dispositivo instalado na fuselagem da aeronave com a finalidade de disparar tiros tensos, no caso do F-5M, de cartuchos 20mm.

Para os OE3, OE4, OE5 e OE6, foi simulado um combate um contra dois (1 x 2), ou seja, a aeronave avaliada, equipada com míssil Python 4, contra dois alvos. Os dois alvos iniciaram o teste a 5NM da aeronave avaliada, visto que tal separação é a mais adequada para simular o início de um engajamento visual. Todas as aeronaves mantiveram 450KT¹³, sendo que a aeronave avaliada manteve 10000ft¹⁴ de altitude e os alvos 2000ft de separação vertical dessa aeronave. Esses parâmetros foram adotados por representarem situações comuns de combate para a aeronave F-5M. A situação tática escolhida para o teste é descrita por Shaw (1987) como *Lead Around*, na qual um alvo intercepta a aeronave avaliada pelo setor frontal e o outro pelo setor lateral. Foi escolhido um cenário defensivo por se tratar de uma das piores situações em que uma aeronave pode se encontrar em um combate visual, neste caso, em desvantagem numérica. Além disso, neste exercício em específico, a configuração da aeronave com míssil, ao invés de somente com canhão, é explicada devido às diferenças de manobrabilidade existentes entre o combate 1 x 1 (com canhão) e o 1 x 2 (com míssil).

Com isso, os testes abrangeram as situações básicas de combate visual. O combate 1 x 1, somente com o uso do canhão, é a situação mais básica, e foi utilizada para analisar o nível mais básico da CS (nível 1). O combate 1 x 2, com o uso do míssil, é uma situação que serve de base para combates mais complexos, com mais de três aeronaves, e foi utilizada para analisar os níveis 2 e 3 da CS. Portanto, os resultados puderam ser extrapolados para outras situações de combate existentes, amenizando a principal limitação da pesquisa e do método utilizado, a de não conseguir abranger a grande quantidade de situações possíveis em um combate visual.

Para atingir o OE1, o de identificar o nível de percepção do piloto (nível 1 da CS) em arena de combate visual, com HMD, a aeronave iniciou a simulação de um engajamento com uma curva mantendo 360KT (*corner speed*) a 5000ft. Foi verificada a variação da velocidade em relação a *corner speed*, durante um período de um minuto. A altitude de 5000ft foi escolhida por ser uma das altitudes que são referências no gráfico de desempenho de curva (EMBRAER, 2005b), e por ser uma altitude comum de combate para a aeronave F-5M. A velocidade escolhida foi a *corner speed* por esta permitir a melhor relação entre razão de curva e raio de curva,

¹³ KT: *Knot* - unidade de velocidade utilizada na aviação (1 KT = 1,852 Km/h)

¹⁴ ft: *feet* (pés) - unidade de medida utilizada na aviação para altitude. (1 pé = 0,3048 metros)

ou seja, uma velocidade bastante utilizada em um combate visual. Segundo Shaw (1987), um combate visual pode ter uma duração média de 5 minutos ou até menos. O tempo de um minuto foi considerado adequado para o teste por ser uma curva simples de alta performance, sendo esta manobra apenas uma porção do combate como um todo, e julgada suficiente para identificar o nível de percepção.

Para atingir o OE2, o de identificar o nível de percepção do piloto (nível 1 da CS) em arena de combate visual, sem HMD, foi feita a mesma simulação do OE1, com o detalhe de não estar utilizando o HMD.

Para atingir o OE3, o de identificar o nível de compreensão do piloto (nível 2 da CS) em arena de combate visual, com HMD, foram coletados os tempos de cada piloto na seguinte situação: um alvo se aproximando pelo setor frontal e outro pelo setor lateral, ambos a 5NM da aeronave avaliada, quando foi disparado o cronômetro. Quando o piloto reportou contato radar¹⁵ com o alvo frontal e tone míssil com o lateral, o que significou ter compreendido a situação tática de ambos, foi aferido o tempo.

Para atingir o OE4, o de identificar o nível de compreensão do piloto (nível 2 da CS) em arena de combate visual, sem HMD, foram coletados os tempos de cada piloto com os alvos na mesma situação tática do OE3. Porém, nesse caso, o piloto teve que compreender a situação tática de um alvo por vez, já que, sem o HMD, ele não pôde direcionar o míssil para o alvo lateral e o radar para o alvo frontal ao mesmo tempo, tendo que, após o contato radar e o conseqüente lançamento do míssil no alvo frontal, manobrar para adquirir contato radar com o alvo lateral. Somente após o contato radar com este último, o cronômetro foi travado, significando que o piloto adquiriu a CS (nível 2) dos dois alvos propostos.

Para atingir o OE5, o de identificar o nível de projeção das ações do piloto (nível 3 da CS) em arena de combate visual, com HMD, foram utilizados os mesmos dados do OE3 com o acréscimo da análise do lançamento dos mísseis, o que significou o resultado da projeção das ações futuras, ou o tempo e a posição de tiro, conforme exemplo dado por Endsley (1995) para definir o nível 3 da CS para aeronaves de caça.

¹⁵ contato radar: detecção radar.

Para atingir o OE6, o de identificar o nível de projeção das ações do piloto (nível 3 da CS) em arena de combate visual, sem HMD, foram utilizados os mesmos dados do OE4 com o método do OE5.

Os resultados obtidos nos OE1 e OE2 verificaram se o voo sem HMD, para uma aeronave manobrando em um combate, afeta a capacidade do piloto em manter a *corner speed*, velocidade que permite a melhor performance de curva. Neste caso, foi avaliada a consciência situacional no nível 1, e pôde ser checado se a possibilidade de o piloto estar visualizando o tempo todo os parâmetros de voo no capacete, e ao mesmo tempo estar realizando a busca visual do alvo (olhando para fora da nacele), fez diferença no desempenho da manobra.

Ainda, foi verificado por meio dos OE3, OE4, OE5 e OE6 se, no caso do voo sem HMD, o tempo para adquirir o contato radar e/ou o tone míssil dos dois alvos influenciou a consciência situacional nos níveis 2 e 3. Nessa situação, o nível 1 não foi considerado porque o piloto teve a percepção básica do posicionamento dos alvos por intermédio do sinal auditivo do RWR¹⁶. Nos níveis 2 e 3, o piloto, ao demorar a compreender a situação tática dos alvos, atrasa o nível 3, que é projetar suas ações no futuro no sentido de efetuar o lançamento de mísseis contra os alvos.

4 COLETA, ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DE DADOS

Nesse trabalho a coleta dos dados foi realizada por meio da realização de 24 missões em simulador de voo da aeronave F-5M.

Dentre a amostra total de 15 pilotos do 1º/14º GAV, todos operacionais em HMD, 12 (80% da população) participaram dessa pesquisa. Esse índice atendeu à proposta do estudo e pode ser extrapolado para a população com 95% de confiança, segundo Tagliacarne (1976, apud GIL 2010).

Para determinar a relevância do fator "experiência" no teste aplicado no simulador, foi considerado o parâmetro de 300 horas de F-5M por ser o valor necessário para um piloto se tornar instrutor na aeronave, sendo assim um divisor de experiência na aeronave, podendo interferir no resultado final dos testes.

Para atingir o OE1 e OE2, foram realizadas 12 missões que simularam uma situação de combate 1 X 1 em arena visual no simulador de voo.

¹⁶ RWR: radar warning receiver. Equipamento que capta sinais do radar inimigo e emite sinal auditivo ao piloto nessa situação.

A tabela 1 apresenta a variação média de velocidade, em relação a *corner speed*, com e sem HMD. A análise dos dados mostrou que a experiência de voo na aeronave F-5M não influenciou o resultado do teste.

Tabela 1 – Dados relativos aos OE1 e OE2

PILOTO	Experiência de voo (h)	Variação de velocidade com HMD (KT)	Variação de velocidade sem HMD (KT)	Diferença de variação (KT)	Diferença de variação %
A	>300	10	28	18	64%
B	>300	8	22	14	64%
C	<300	13	29	16	45%
D	<300	11	46	35	76%
E	<300	15	54	39	72%
F	>300	14	61	47	77%
G	>300	18	69	51	74%
H	<300	21	85	64	75%
I	<300	47	61	14	23%
J	<300	10	23	13	57%
K	>300	31	55	24	44%
L	>300	40	177	137	77%
MÉDIA ARITMÉTICA		19,8	59,2	39,4	67%

Fonte: O autor.

Os dados da tabela 1 acima responderam os OE1 e OE2: de identificar o nível de percepção do piloto (nível 1 da CS) em arena de combate visual, com HMD e sem HMD.

Foi identificado que os pilotos que não utilizaram o HMD apresentaram uma variação média de velocidade de 59,2KT, enquanto que os pilotos que utilizaram esse capacete apresentaram variação média de 19,8KT.

Dessa forma, os dados apresentados respondem a QN1: Qual a influência do HMD na percepção do piloto (nível 1 da CS) em arena de combate visual?

Percebe-se que os pilotos sem HMD variaram a velocidade cerca de 3 vezes mais que aqueles que utilizaram o referido equipamento. A situação apresentada indicou uma influência direta do voo sem HMD no nível 1 da CS, pois a necessidade de ficar olhando para fora da nacele na busca visual do inimigo, fez com que os pilotos não conseguissem desviar suas atenções para dentro da nacele na busca da informação de velocidade.

Além disso, a diferença de variação de velocidade apresentada influenciou no desempenho da curva, principalmente quando a variação aconteceu abaixo da *corner speed*. Analisando o gráfico de desempenho (EMBRAER, 2005b) correspondente à situação proposta para os OE1 e OE2, verificou-se que, mantendo-se uma velocidade igual a 300KT durante a curva, 60KT a menos do ideal (variação média aproximada sem HMD), é possível sustentar uma carga G de 3,1. Com HMD, mantendo-se 340KT de velocidade, 20KT a menos (variação média com HMD), é possível manter 3,8G durante a curva. Com esta diferença, o piloto com HMD consegue diminuir o raio de curva em relação ao piloto sem HMD, obtendo vantagem no combate. Já no caso de a variação de velocidade ser acima da *corner speed*, a diferença de desempenho não foi significativa, corroborando com o que está descrito no MACAÇA (2013), sobre nunca deixar a velocidade cair abaixo da *corner speed*.

Segundo Endsley (1999), em muitos casos, a informação está diretamente disponível, mas por várias razões, não é observada ou incluída no cheque cruzado¹⁷, sendo a principal causa de erro de CS (nível 1). Foi o que aconteceu com os pilotos que estavam sem o HMD, pois eles tinham a informação de velocidade diretamente no HUD (dentro da nacele), porém o cheque cruzado com este instrumento não foi possível, um vez que a prioridade naquele momento era manter a busca e o contato visual com o alvo. Já os pilotos que estavam com o HMD, conseguiram manter a atenção para fora da nacele com as informações de velocidade na viseira de seus capacetes.

Para atingir o OE3, OE4, OE5 e OE6, foram realizadas 12 missões de combate 1 X 2 no simulador de voo.

A tabela 2 apresenta os tempos médios gastos para adquirir a consciência situacional dos dois alvos, com e sem HMD, e se houve o lançamento dos mísseis. A análise dos dados encontrados mostrou que a experiência de voo na aeronave F-5M não influenciou os resultados dos testes.

¹⁷ cheque cruzado: procedimento pelo qual o piloto realiza a verificação dos parâmetros de voo, por meio dos instrumentos da aeronave, de forma alternada com outra tarefa que necessite olhar para fora da nacele.

Tabela 2 – Dados relativos aos OE3, OE4, OE5 e OE6

PILOTO	Experiência de voo (h)	Tempo com HMD (seg)	Houve emprego dos 2 mísseis?	Tempo sem HMD (seg)	Houve emprego dos 2 mísseis?	Diferença de tempo (seg)	Diferença de tempo %
A	>300	5	SIM	15	SIM	10	67%
B	>300	4	SIM	10	SIM	6	60%
C	<300	5	SIM	13	SIM	8	62%
D	<300	4	SIM	9	SIM	5	56%
E	<300	5	SIM	12	SIM	7	58%
F	>300	4	SIM	16	SIM	12	75%
G	>300	5	SIM	12	SIM	7	58%
H	<300	4	SIM	11	SIM	7	64%
I	<300	6	SIM	11	SIM	5	46%
J	<300	4	SIM	12	SIM	8	67%
K	>300	4	SIM	8	SIM	4	50%
L	>300	5	SIM	11	SIM	6	55%
MÉDIA ARITMÉTICA		4,6		11,7		7,1	61%

Fonte: O autor.

Os dados da tabela 2 acima responderam os OE3 e OE4: de identificar o nível de compreensão do piloto (nível 2 da CS) em arena de combate visual, com e sem HMD. A média de tempo para obter o nível 2 da CS com HMD foi 4,6 segundos, enquanto que os pilotos sem HMD tiveram uma média de 11,7 segundos, ou seja, foram 7,1 segundos mais lentos na aquisição da compreensão (nível 2 da CS) da situação tática dos dois alvos.

Dessa forma, os dados apresentados responderam a QN2: Qual a influência do HMD na compreensão do piloto (nível 2 da CS) em arena de combate visual?

Verificou-se que os pilotos que utilizaram o HMD tiveram uma resposta mais rápida na aquisição da compreensão do cenário tático proposto, permitindo assim a rápida mudança para o nível 3 da CS, que foi projetar as ações futuras. Já os pilotos sem o HMD, tiveram que compreender a situação tática dos dois alvos de forma fracionada, pois, sem o referido capacete, não foi possível "direcionar" o míssil para o alvo lateral. Primeiro, foi obtido o contato radar do alvo frontal e, somente após foi adquirido tal contato com o alvo lateral. Assim o nível 2 da CS, em relação aos dois alvos, só foi atingido em um tempo 2,5 vezes maior se comparado aos pilotos que

utilizaram HMD. Sendo assim, houve um aumento significativo no tempo de exposição, principalmente em relação ao alvo lateral, colocando em risco a sobrevivência.

Foi observado que, em relação ao piloto sem HMD, a complexidade e a dinamicidade da situação levou esse piloto a focar toda a sua atenção em um só alvo, deixando de compreender a situação do outro alvo por um período de tempo. Segundo Endsley (1999, p.260), "quando o armazenamento de atenção é limitado, mais atenção para uma informação pode significar a perda de CS de outros elementos". O piloto sem HMD teve sua atenção limitada no momento em que não pôde adquirir a CS do alvo lateral.

Os dados da tabela 2 também responderam os OE5 e OE6: de identificar o nível de projeção das ações do piloto (nível 3 da CS) em arena de combate visual, com e sem HMD. Devido ao fato de o lançamento dos mísseis serem realizados imediatamente após a aquisição da CS (nível 2), a mesma defasagem de tempo pode ser utilizada na identificação da influência desta variável na projeção das ações futuras (nível 3 da CS). Os pilotos com HMD, após 4,6 segundos, realizaram o lançamento dos mísseis nos dois alvos. Já os pilotos sem HMD, devido ao fato de terem que compreender a situação tática de um alvo por vez, realizaram o lançamento no alvo frontal e seguiram para o alvo lateral para adquirir o contato radar e, somente após 11,7 segundos (em média) do início da simulação, tiveram a oportunidade de lançar o míssil no alvo lateral. No teste realizado, todos os pilotos, com ou sem HMD, conseguiram realizar os lançamentos dos mísseis nos alvos propostos.

Sendo assim, os dados responderam a QN3: Qual a influência do HMD na projeção das ações do piloto (nível 3 da CS) em arena de combate visual?

Verificou-se que os pilotos com HMD conseguiram lançar os mísseis nos dois alvos quase de forma simultânea. Neste caso, o míssil que prosseguiu para o alvo lateral foi por meio do "direcionamento" do HMD, enquanto o míssil destinado ao alvo frontal foi "direcionado" pelo radar. Já os pilotos sem HMD, ao necessitarem de mais tempo para a compreensão da situação tática, tiveram um atraso na projeção de suas ações futuras (nível 3 da CS), tendo demorado no mínimo 7,1 segundos a mais para realizar o emprego do míssil no 2º alvo.

Os dados médios descritos na tabela 2 foram reproduzidos pelo *software*

PMA 2¹⁸, sendo observado que o resultado do atraso na projeção das ações dos pilotos sem HMD significou uma degradação das chances de sobrevivência. A seguinte situação ficou evidente: após o lançamento no alvo frontal, se o alvo lateral já tivesse realizado um lançamento de míssil, o piloto sem HMD receberia o impacto desse míssil antes mesmo do lançamento do seu segundo míssil. Já o piloto com HMD, iria conseguir realizar o lançamento dos dois mísseis e ainda defenderia os mísseis lançados pelos alvos. Isto foi possível devido a diferença de tempo de projeção das ações dos pilotos com e sem HMD.

Nesse caso, ficou evidente a correlação com a observação de Endsley (1999, p.266) em sua obra *Situation Awareness in Aviation Systems*: "as capacidades da aeronave em adquirir as informações necessárias, e a maneira como elas são apresentadas irão causar grande impacto na CS da tripulação". A capacidade do HMD em adquirir a informação necessária do alvo lateral por meio do míssil Python 4 causou grande impacto na CS dos pilotos, que viram este equipamento influenciar diretamente a sobrevivência e a letalidade de suas ações.

5 CONCLUSÃO

A Força Aérea Brasileira, nos últimos anos, tem vivido diversas mudanças no que diz respeito à capacidade operacional. A Defesa Aérea do Brasil utiliza as aeronaves F-5M, as quais passaram por um processo de modernização no início deste século, como um de seus meios de cumprir a missão. Estas aeronaves passaram a realizar missões complexas de combate aéreo, nas quais os pilotos são exigidos na percepção dos elementos desse ambiente, compreensão da situação, e projeção de suas ações futuras. Esta foi a definição de Endsley (1999) para os três níveis da consciência situacional.

Sabendo-se da existência de um equipamento moderno, como o HMD, o qual pode ser decisivo na construção da consciência situacional, e de sua importância na sobrevivência e letalidade de um piloto em um combate visual, surgiu uma inquietação que foi transformada em problema de pesquisa: qual o impacto do voo sem HMD na consciência situacional do piloto de F-5M, em cenários de combate visual?

¹⁸ PMA 2: *software* utilizado pela FAB para planejamento e *debriefing* de missões operacionais.

Para responder o problema em questão e atingir o objetivo geral foram formulados 6 objetivos específicos (OE). Os OE1 e OE2 foram relacionados à percepção (nível 1 da CS), os OE3 e OE4 à compreensão (nível 2 da CS), e os OE5 e OE6 à projeção das ações futuras (nível 3 da CS).

Respondendo ao OE1, o de identificar o nível de percepção do piloto (nível 1 da CS) em arena de combate visual, com HMD, foi realizada uma curva de alta performance, obtendo-se o resultado de uma variação média de velocidade, em relação a *corner speed*, de 19,8KT. Em relação a OE2, ao identificar o nível de percepção do piloto sem HMD, por meio do mesmo método anterior, verificou-se uma variação média de 59,2KT. Foi identificado que o piloto sem HMD variou cerca de 3 vezes mais do que o piloto com HMD, e que esta variação, quando verificada abaixo de 360KT (*corner speed*), degrada a performance de uma curva de alta performance realizada em um combate visual.

Para responder ao OE3, o de identificar o nível de compreensão do piloto (nível 2 da CS) em arena de combate visual, com HMD, foi realizado um engajamento 1 x 2, sendo que o piloto conseguiu compreender a situação tática dos dois alvos em um tempo médio de 4,6 segundos. Para o OE4, o piloto sem HMD compreendeu a mesma situação tática em 11,7 segundos. Nesse caso, o piloto sem HMD demorou quase 2,5 vezes o tempo em comparação ao piloto com HMD.

Em relação ao OE5, o de identificar o nível de projeção das ações do piloto (nível 3 da CS) em arena de combate visual, com HMD, utilizou-se o mesmo engajamento 1 x 2 dos OE3 e OE4, tendo sido verificado que o piloto conseguiu o lançamento dos mísseis nos dois alvos logo após a compreensão da situação tática de ambos. Nessa situação, a aeronave ainda conseguiria defender os possíveis lançamentos de mísseis por parte dos inimigos. Já na resposta ao OE6, o piloto sem HMD conseguiu o lançamento de um míssil no alvo frontal, porém, devido a demora na compreensão da situação tática do alvo lateral, iria sofrer o impacto de um possível lançamento de míssil do segundo alvo antes que o seu segundo míssil fosse lançado.

Assim, por meio do referencial teórico e da metodologia apresentada, verificou-se que o impacto do voo sem HMD na consciência situacional do piloto de F-5M, em cenários de combate visual, é negativo nos três níveis apresentados. No nível 1, houve variação de velocidade 3 vezes maior em relação ao piloto com HMD; no nível 2, o tempo de aquisição da compreensão foi cerca de 2,5 vezes maior; e no

nível 3, o piloto sem HMD não sobreviveria ao ataque de um dos alvos, sendo que o piloto com HMD, além de sobreviver, conseguiria sucesso no ataque aos dois alvos.

Portanto, a disponibilidade das aeronaves para o uso do HMD deve ser valorizada pela Força Aérea Brasileira, visto que o impacto da não utilização desse equipamento influencia diretamente a CS e, conseqüentemente, a sobrevivência e a letalidade de um piloto voando em cenários de combate visual.

Por fim, em virtude desse trabalho possuir uma limitação, a de não conseguir abranger todas as situações de combate que possam ratificar o resultado da pesquisa, este pesquisador sugere que os estudos relativos ao HMD e a consciência situacional do piloto de F-5M, em cenários de combate visual, sejam continuados, procurando atingir outros tipos de engajamentos visuais que possam reforçar a conclusão desse trabalho sob um outro ponto de vista.

REFERÊNCIAS

BRASIL. Comando da Aeronáutica. Estado Maior da Aeronáutica. Portaria N° 278/GC3, de 21 de junho de 2012. Aprova a reedição da Doutrina Básica da Força Aérea Brasileira (DCA 1-1). **Boletim do Comando da Aeronáutica**, Rio de Janeiro, n. 121, f. 4394, 26 jun. 2012.

_____. _____. Terceira Força Aérea. Portaria COMGAR N° R-8/EMGAR-11.6, de 20 de maio de 2015. Aprova o Programa de Trabalho (PTA) da III FAE 2015. **Boletim do Comando da Aeronáutica**, Rio de Janeiro, Reservado n° 16, de 29 maio. 2015.

_____. _____. _____. **Manual da Aviação de Caça**. Brasília, DF, 2013.

EMBRAER (Org.). **Flight manual: T.O. 1F-5EM-1-1 - Avionics system supplemental manual F5EM: Section 6**. São José Dos Campos, 2005a.

_____. **Flight manual: T.O. 1F-5EM-1 - Appendix I Part 8. Combat**. São José Dos Campos, 2005b.

ENDSLEY, M. R. **Situation awareness in aviation systems**. In: GARLAND, D. J.; WISE, J. A.; HOPKIN, V. D. Handbook of aviation human factors. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, 1999. p.257-276.

_____. **Toward a Theory of Situation Awareness in Dynamic Systems**. Human Factors, 1995. p. 32-64.

FERNANDES, T. S. **A influência do Datalink no tempo da tomada de decisão nas missões de combate BVR**. 2013. 29f. Artigo Científico (Curso de

Aperfeiçoamento de Oficiais) - Escola de Aperfeiçoamento de Oficiais da Aeronáutica, Universidade da Força Aérea, Rio de Janeiro, 2013.

GIL, A.C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2010.

NAVARRO, A. L. G. **A influência do interrogador IFF no tempo utilizado para a tomada de decisão em missões de combate BVR**. 2014. 19f. Projeto de Pesquisa. (Curso de Aperfeiçoamento de Oficiais) - Escola de Aperfeiçoamento de Oficiais da Aeronáutica, Universidade da Força Aérea, Rio de Janeiro, 2014

RAMALHO, A. A. S. **O RWR e a consciência situacional do piloto de A-29 em cenários de combate BVR**. 2015. 25f. Artigo Científico (Curso de Aperfeiçoamento de Oficiais) - Escola de Aperfeiçoamento de Oficiais da Aeronáutica, Universidade da Força Aérea, Rio de Janeiro, 2015.

SHAW, R. L. **Fighter Combat, Tactics and Maneuvering**. 5. ed. Annapolis, Maryland: United States Naval Institute, 1987.

STILLION, J; PERDUE, S. **Air Combat Past, Present and Future**. Agosto 2008. Disponível em:

http://www.mossekongen.no/downloads/2008_RAND_Pacific_View_Air_Combat_Briefing.pdf. Acesso em: 20 ago. 2015.

TAGLIACARNE, G. **Pesquisa de mercado**. São Paulo: Atlas, 1976.

APÊNDICE A – MISSÃO DE COMBATE VISUAL 1 X 1 (CURVA DE ALTA PERFORMANCE) COM HMD

O conteúdo programático do Curso de Aperfeiçoamento (CAP) da EAOAR prevê a confecção de um Artigo Científico. Neste Artigo, será abordado a consciência situacional do piloto de F-5M em um cenário de combate visual. Para tal, será necessário verificar a variação da velocidade, em relação a *corner speed*, de uma aeronave durante uma curva de alta performance, simulando uma situação de combate 1 x 1 com HMD.

Critérios estabelecidos para a missão com HMD:

- A aeronave já estará voando a uma altitude de 5000ft e 360KT;
- A aeronave estará configurada com 02 mísseis Python 4;
- No *briefing* serão lembrados os conceitos de *corner speed*.

O VOO

Após o início do exercício, quando será disparado o cronômetro, o piloto deverá realizar uma curva para qualquer um dos lados, simulando um engajamento contra uma aeronave, e tentará manter uma puxada com 360KT de velocidade constante durante um minuto.

O objetivo desse exercício é verificar a variação de velocidade, em relação a *corner speed*, durante a curva. Será analisada a consciência situacional no nível 1, por avaliar a percepção do piloto em relação à informação de velocidade, neste caso, disponível na própria viseira do capacete.

APÊNDICE B – SIMULADOR MISSÃO DE COMBATE VISUAL 1 X 1 (CURVA DE ALTA PERFORMANCE) SEM HMD - SIMULADOR

O conteúdo programático do Curso de Aperfeiçoamento (CAP) da EAOAR prevê a confecção de um Artigo Científico. Neste Artigo, será abordado a consciência situacional do piloto de F-5M em um cenário de combate visual. Para tal, será necessário verificar a variação da velocidade, em relação a *corner speed*, de uma aeronave durante uma curva de alta performance, simulando um combate 1 x 1 sem HMD.

Critérios estabelecidos para a missão com HMD:

- A aeronave já estará voando a uma altitude de 5000ft e 360KT;
- A aeronave estará configurada com 02 mísseis Python 4;
- No *briefing* serão lembrados os conceitos de *corner speed*.

O VOO

Após o início do exercício, quando será disparado o cronômetro, o piloto deverá realizar uma curva para qualquer um dos lados, simulando um engajamento contra uma aeronave, e tentará manter uma puxada com 360KT de velocidade constante durante um minuto. O piloto deverá manter sua atenção para fora da nacele, simulando estar na busca ou mantendo o visual com o alvo.

O objetivo desse exercício é verificar a variação de velocidade, em relação a *corner speed*, durante a curva. Será analisada a consciência situacional no nível 1, por avaliar a percepção do piloto em relação a velocidade.

APÊNDICE C – MISSÃO DE COMBATE VISUAL 1 X 2 COM HMD - SIMULADOR

O conteúdo programático do Curso de Aperfeiçoamento (CAP) da EAOAR prevê a confecção de um Artigo Científico. Neste Artigo, será abordado a consciência situacional do piloto de F-5M em um cenário de combate visual. Para tal, será necessário medir o tempo médio que um piloto de F-5M demora para se obter o nível 2 (compreensão) de consciência situacional com HMD. Ainda será analisada o nível 3 da CS (projeção das ações futuras), sendo avaliado se houve o lançamento de míssil nos dois alvos, e o resultado destes lançamentos por meio do *software* PMA 2.

Critérios estabelecidos para a missão com HMD:

- A aeronave já estará voando a uma altitude de 10000ft e 450KT;
- A aeronave estará configurada com 02 mísseis Python 4;
- Os alvos manterão 2000ft de separação vertical em relação à aeronave avaliada e a mesma velocidade desta;
- O modo ACM SLEWABLE do radar deverá ser selecionado.

O VOO

Após o início do exercício, quando o cronômetro será disparado, os dois alvos já estarão a 5NM, um situado a aproximadamente 90º e o outro no setor frontal da aeronave avaliada. O piloto deverá utilizar o HMD para adquirir o tone míssil com o alvo que está ingressando pelo setor lateral e o radar para conseguir o contato com o alvo que está ingressando pelo setor frontal. No momento em que o piloto tiver o tone míssil com o alvo lateral e o contato radar com o alvo frontal, ao mesmo tempo, deverá informar esta situação e o cronômetro deverá ser travado. O emprego do Python 4 deverá ser efetuado se a situação assim permitir, servindo também para a análise do nível 3 da consciência situacional.

O objetivo desse exercício é mensurar quanto tempo o piloto demora para adquirir a consciência situacional (nível 2) ao ter o tone míssil do alvo lateral e o contato radar do alvo frontal, compreendendo assim a situação tática das aeronaves inimigas. Ainda, será verificado se houve emprego do míssil nos dois alvos como forma de avaliar o nível 3 da consciência situacional.

APÊNDICE D – MISSÃO DE COMBATE VISUAL 1 X 2 SEM HMD - SIMULADOR

O conteúdo programático do Curso de Aperfeiçoamento (CAP) da EAOAR prevê a confecção de um Artigo Científico. Neste Artigo, será abordado a consciência situacional do piloto de F-5M em um cenário de combate visual. Para tal, será necessário medir o tempo médio que um piloto de F-5M demora para se obter o nível 2 (compreensão) de Consciência Situacional sem HMD. Ainda será analisada o nível 3 da CS (projeção das ações futuras), sendo avaliado se houve o lançamento de míssil nos dois alvos, e o resultado destes lançamentos por meio do *software* PMA 2.

Critérios estabelecidos para a missão sem HMD:

- A aeronave já estará voando a uma altitude de 10000ft e 450KT;
- A aeronave estará configurada com 02 mísseis Python 4;
- Os alvos manterão 2000ft de separação vertical em relação à aeronave avaliada e a mesma velocidade desta;
- O modo ACM SLEWABLE do radar deverá ser selecionado.

O VOO

Após o início do exercício, quando o cronômetro será disparado, os dois alvos já estarão a 5NM, um situado a aproximadamente 90° e o outro no setor frontal da aeronave avaliada. O piloto deverá tentar o contato radar com o alvo frontal, efetuar o disparo e prosseguir para o alvo lateral para o mesmo procedimento. Ao conseguir o contato radar com o 2º alvo, deverá informar e o cronômetro travado. Tal procedimento foi realizado devido ao fato de, sem HMD, o piloto não conseguir "direcionar" o míssil para o alvo lateral, enquanto mantém o contato radar com o alvo frontal.

O objetivo desse exercício é mensurar quanto tempo o piloto demora para adquirir a consciência situacional (nível 2) ao ter o contato radar do alvo lateral após ter efetuado o disparo no alvo frontal, significando ter compreendido nesse momento a situação tática dos dois alvos. Ainda, será verificado se houve emprego do míssil nos dois alvos como forma de avaliar o nível 3 da consciência situacional.