

## Animações como solução para treinamento preventivo

Paulo Manoel Razaboni<sup>1,3</sup>, Cynthia Cristina de Paula<sup>2</sup>, Luís Gustavo dos Santos<sup>2</sup>

1 Supervisor de Segurança de Voo

2 Engenheira de Suporte ao Cliente

3 [paulo.razaboni@embraer.com.br](mailto:paulo.razaboni@embraer.com.br)

---

**RESUMO:** “O inteligente aprende com os próprios erros, o sábio com o erro dos outros”. O treinamento de tripulações a partir de situações já vividas é fundamental para se antever situações de risco à segurança de voo. Os relatórios de acidentes são documentos valiosos, mas podem aparentar ser frios e distantes. Sessões de simulador, ao contrário, permitem vivenciar condições de forma realista, porém dispendiosa. Com a evolução tecnológica, as aeronaves têm se tornado cada vez mais confiáveis e mais complexas. Assim, o fator humano sempre será vital para garantir um nível adequado de segurança operacional. Para potencializar as capacidades humanas é necessário utilizar-se da melhor forma os recursos disponíveis no treinamento para assimilação. Este é o objetivo da proposta aqui apresentada. A utilização de animações para reconstrução de eventos já tem sido empregada em muitos casos. Propõe-se agora que mesmo eventos nunca ocorridos possam ser animados, na visão da prevenção. A solução desenvolvida pode utilizar desde dados de gravadores de voo, sessões de simulador, simulação computacional baseada em desempenho ou mesmo informações entradas manualmente. O resultado é processado por um navegador geográfico que provê imagens e relevo realísticos. A animação gerada pode agregar ainda uma série de elementos referenciais, como cartas de aproximação, estimativas de sistemas de proteção contra impacto em terreno, ruído sonoro, radiação de antenas, planos de voo, desvios vertical e lateral, obstáculos, luzes, trajetórias, modelos, outras aeronaves e parâmetros relevantes projetados ao longo da trajetória em um ambiente tridimensional, sob vários ângulos de visada. A importância da solução reside na sua flexibilidade de uso e baixo custo, aliados à riqueza de informações incorporadas e à facilidade de acesso aos vídeos produzidos, quer em treinamentos, antes de sessões de simulador, em dispositivos móveis pessoais ou mesmo a bordo, como antevisão a determinada operação.

**Palavras chave:** Animação, Inovação, Prevenção, Treinamento.

### Animation as a Solution for Preventative Training

**ABSTRACT:** “He who is intelligent learns from his own mistakes, while the wise one learns from others’ mistakes”. The training of crews based on situations already experienced is vital for the anticipation of situations of risk to safety. Reports of accidents are invaluable documents, but they may seem cold and distant. Simulator sessions, on the contrary, allow experience situations in a realist, although expensive, manner. With the evolution of technology, aircraft have become more and more dependable and complex. Thus, human factors will always be vital for guaranteeing an adequate level of operational safety. In order to potentialize human abilities, it is necessary to utilize the training resources available in the best possible way. Such is the objective of the proposal presented herein. Animations for the reconstruction of events have been employed in many cases. Now, the proposal is that even events that never occurred may be animated, with the intention of prevention. The solution developed may utilize a variety of data, from flight recorders, simulator sessions, computer simulation based on performance or even on pieces of information entered manually. The result is processed by a geographical navigator which provides realistic images and relief. The animation generated may also gather a series of reference elements, such as approach charts, estimates from systems of protection against impact with the terrain, sound noise, radiation from antennae, flight plans, vertical and lateral deviations, obstacles, lights, trajectories, models, other aircraft, and relevant parameters projected along the trajectory in a 3-D environment from various angles of sight. The importance of the solution lies in its flexibility of use and low cost, in addition to the abundance of incorporated pieces of information and to the ease of access to the videos produced during training sessions, before simulator sessions, in personal mobile devices, or even on board, as an anticipated view of a given operation.

**Key words:** Animation. Innovation. Prevention. Training

**Citação:** Razaboni, PM, Paula, CC, Santos, LG. (2016) Animações como solução para treinamento preventivo. *Revista Conexão Sipaer*, Vol. 7, No. 1, pp. 103-110.

#### 1 BIOGRAFIA

##### Paulo Manoel Razaboni

Atua como supervisor do time de Programas de Segurança de Voo, no escritório central da Embraer, com abrangência para a América do Sul. Engenheiro Eletricista

pela USP, cursou MBA em Gestão da Produção pela Universidade Federal de São Carlos e Gestão Empresarial Competitiva pelo INPG. É membro credenciado Fator Material do SIPAER (Sistema de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos), com especialização em segurança de voo pela Embraer. Ministra cursos na área de

segurança de voo, engenharia e projeto. Desenvolveu especificamente o aplicativo para geração de animações em navegador geográfico tridimensional utilizado neste trabalho.

### Cyntia Cristina de Paula

Atua no time de Suporte a Operações de Voo da aviação comercial. Engenheira Industrial e Mestre em Ciências pelo ITA, especialista em desenvolvimento de software de desempenho de aeronaves, com foco em elaboração de requisitos e validação junto aos clientes. Trabalha no desenvolvimento de serviços que buscam otimizar a operação de empresas aéreas e reduzir o consumo de combustível. É representante do time no grupo de Excelência Empresarial Embraer.

### Luís Gustavo dos Santos

Engenheiro Mecânico pela USP, com MBA em Gestão de Negócios e mestrando em Gestão de Projetos de P&D. Desenvolvedor de negócio e gerente de produto para novas soluções de serviços e suporte via Internet (eSolutions), relacionados com manutenção de aeronaves e operações de voo. Conduziu o desenvolvimento de serviços tais como: AHEAD-PRO (Monitoramento de saúde de aeronaves) e eSRM (registro de danos e reparos estruturais). Participou do desenvolvimento do ePERF (sistema iPad para redução da carga de trabalho de pilotos) e no FlyBack (sistema descrito neste artigo). Anteriormente, foi supervisor no desenvolvimento dos programas de manutenção programada da aviação comercial.

## 2 INTRODUÇÃO

Ao longo dos anos, muitos esforços têm sido empregados na análise das causas de acidentes aéreos e, desta forma, o aprendizado vem sendo difundido pela indústria, companhias aéreas, controladores de tráfego e até entre os passageiros.

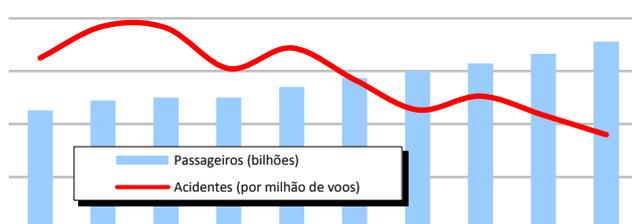


Gráfico 1 – Evolução histórica

Conforme o Gráfico 1 (IATA, 2016), embora a taxa de acidentes por voos venha diminuindo como resultado direto das ações acima, o número absoluto de eventos tende a aumentar seguindo a crescente quantidade de passageiros transportados. Assim, novas ações são sempre necessárias como forma de melhorar a percepção da segurança aérea.

Os acidentes podem ser interpretados como o pico de uma pirâmide, para o qual concorre certa quantidade de incidentes (precursores). Abaixo destes, uma série de eventos

menores reportados, e abaixo ainda, uma grande quantidade de eventos de menor relevância que passam sem registro. Em cada nível, podem figurar elementos com potencial de se combinar e escalar até o grau máximo. Além de falhas em componentes, fatores como a complexidade crescente dos sistemas e a interface com a tripulação merecem análise. Os recursos para análise e treinamento baseados em ocorrências precisam atingir um público mais amplo, assim como a análise de eventos precursores ou, em uma escala mais profunda e eficaz, das ocorrências em qualquer grau.

## 3 OBJETIVO

Tendo-se em vista as necessidades de análise e treinamento levantadas, elaborou-se um aplicativo para gerar animações em um ambiente tridimensional realístico a partir de:

- Recuperação de informações de gravadores de voo;
- Sistemas de aquisição utilizados durante ensaios;
- Simulações matemáticas;
- Cálculos baseados em análise de desempenho;
- Arquivos gravados em sessões de simulador de voo;
- Introdução manual, conforme necessidade específica.

O arquivo de vídeo final deve colimar elementos necessários à análise e ser compreendido de maneira eficaz por diferentes públicos: engenheiros, projetistas, pilotos, advogados, analistas etc. Assim, podem ser necessários suportes, como:

- Representação de grandezas (apresentados em painel de instrumentos e/ou projetados ao longo da trajetória);
- Áudio sincronizado (real ou sintético);
- Traçados, diagramas, mapas ou cartas de navegação;
- Condição ambiente (sol, neblina, chuva etc.);
- Elementos gráficos (obstáculos, rotas, antenas etc.);
- Outros elementos (veículos, aeronaves...).

A visão aumentada assim obtida potencializa a análise e o treinamento da tripulação, elevando assim o nível de segurança operacional, como desejado inicialmente.

Nessa linha, objetiva-se transpor para um formato audiovisual quaisquer situações de risco relevantes ocorridas, bem como prevenir a ocorrência, antecipando-se a elas. Neste último aspecto, dados de desempenho típicos de determinado modelo de aeronave podem ser utilizados para simular uma operação ainda não executada. Isso permite prospectar aeroportos, estudando-se antecipadamente suas condições geográficas e desenhando rotas dentro da faixa de condições possíveis de operação, incluindo condições de falha previstas em projeto.

Os arquivos de vídeo gerados podem, por exemplo, ser disponibilizados em áreas com acesso liberados a instrutores e funcionários, bem como armazenados em dispositivos

móveis como celulares e tablets. Adicionalmente, pode-se assistir aos eventos no ambiente de um simulador.

A familiarização com rotas pouco ou ainda sequer utilizadas e a visualização da operação em condições não usuais podem então ser feitas de uma maneira rápida e facilmente assimilável pela tripulação responsável por tal operação.

#### 4 METODOLOGIA

Um aplicativo, idealizado originalmente para analisar eventos passados a partir das informações registradas em gravadores de dados de voo, foi adaptado. Neste, dados esparsos em tabelas são interpolados e traduzidos para a linguagem KML – Keyhole Markup Language (KML, 2016), uma notação que segue as diretrizes XML – eXtensible Markup Language (XML, 2016), para anotações geográficas. Tal linguagem é interpretada por um navegador tridimensional, por exemplo, Google Earth® (Google Earth, 2016), produzindo animações em formatos correntes, como WMV – Windows Media Video – ou MP4 – MPEG-4. Saídas para simuladores de voo, como o X-Plane®, por exemplo, também estão previstas.

Assim, a partir de um estágio em que já era possível até gerar-se trajetórias a partir de dados de voo reais, ampliou-se a abrangência de forma a incorporar dados teóricos de desempenho, obtidos de outros aplicativos já desenvolvidos pela área de Operações de Voo da empresa. A associação a este time também possibilitou o contato com as companhias aéreas, as quais por sua vez informaram suas necessidades mais prementes, permitindo a evolução do aplicativo de forma a solucionar também estas necessidades. A troca de dados bidirecional com simuladores de voo, ou mesmo a entrada ou ajuste manual de grandezas, cobrem a gama necessária para gerar os vídeos para treinamento.

#### 5 RESULTADOS E APLICAÇÕES

O desenvolvimento do aplicativo para geração de animações foi sempre orientado pela necessidade. Desta forma, inicialmente dedicou-se à análise de eventos a partir de dados de voo gravados.

Quando se estendeu a utilização para dados de saída de outros aplicativos, foram desenvolvidas rotinas especiais para interpretar esta natureza de dados, adaptando o processamento para gerar saídas compatíveis.

Rotinas especiais, como a representação de ruído acústico, iluminação sequencial na aproximação, além de cálculos matemáticos para geração das rotas, incluindo suavização de transições entre estados, completaram o pacote.



Fig. 1 – Animação de evento real

A Fig. 1 representa uma animação através do posicionamento sequencial da aeronave ao longo da trajetória. Neste caso, relatos de observadores, documentação fotográfica e até um croqui (mostrado sobreposto ao terreno) foram utilizados para fornecer elementos que possibilitaram reproduzir o evento.

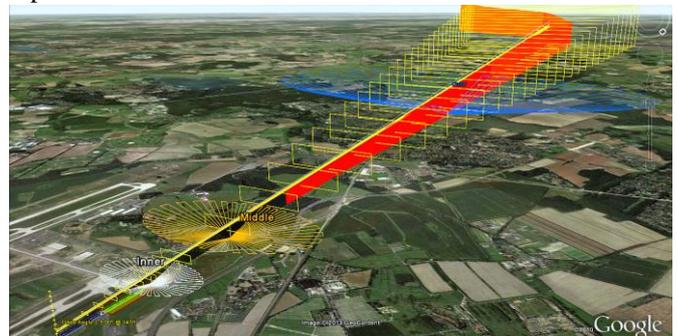


Fig. 2 – Radiação de antenas

Como auxílio visual, elementos acessórios podem ser representados no ambiente tridimensional. Rotinas específicas foram criadas para gerar geometrias a partir de um conjunto básico de informações. Na Fig. 2, por exemplo, o campo de radiação das antenas "marker beacon" é representado em suas cores padronizadas.

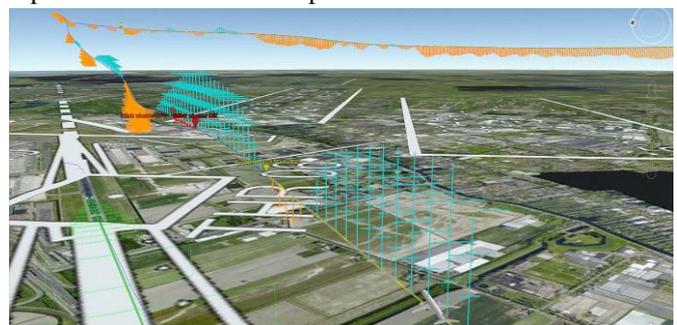


Fig. 3 – Animação de evento real

Na Fig. 3, elementos acessórios, como cartas de navegação, foram incluídos no ambiente. Leituras também podem ser incluídas ao longo da trajetória, ampliando a visão sobre o evento. No caso, linhas cor ciano / laranja representam desvios verticais positivos / negativos em relação à rampa de aproximação, conforme interpretado pelo computador de bordo. Neste caso, devido à aeronave encontrar-se muito acima da altitude adequada, o sinal

apresentou-se distorcido, gerando reações indevidas por parte da unidade de controle e até mesmo da tripulação. A zona ideal de aproximação está simbolizada pelos retângulos em verde, abaixo à esquerda.

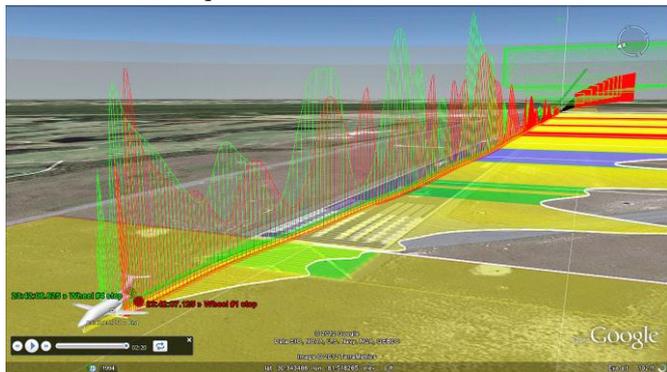


Fig. 4 – Análise de saída de pista

Os recursos gráficos também se mostram úteis na análise de saídas de pista, por exemplo, como é ilustrado pela Fig. 4. As curvas verticais nas cores vermelha / verde representam a pressão de frenagem nas rodas esquerda / direita. Esta representação é muito mais visual do que gráficos traçados em relação ao tempo, como é usual em análises deste tipo. A curva traçada horizontalmente sobre o terreno representa uma previsão da distância necessária para parada total da aeronave, calculada a cada instante. As cores significam:

- Azul: dentro dos limites da pista (*runway*);
- Verde: dentro da superfície pavimentada (*stopway*);
- Amarelo: fora da pista, sem obstáculos (*clearway*);
- Vermelho: risco de colisão com obstáculos.

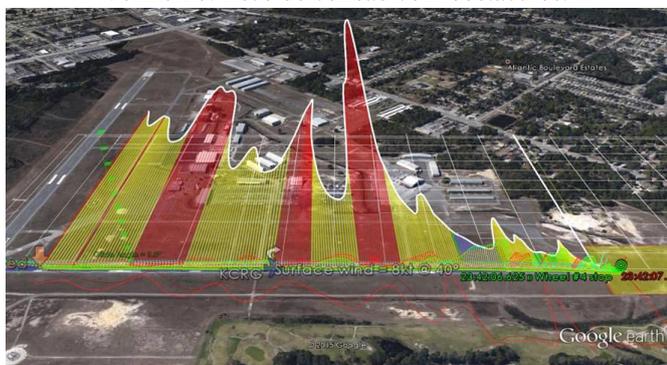


Fig. 5 – Análise de saída de pista

Na vista superior representada na Fig. 5, fica claro que a aeronave, na maior parte do trajeto, não conseguiria se manter dentro dos limites da pista, já a partir do toque inicial. A pista encontra-se na horizontal, na base do gráfico. O pouso ocorre da esquerda para a direita.



Fig. 6 – Rota planejada sobre carta

Partindo-se para a prevenção, pode-se representar a rota planejada a partir de uma carta, como na Fig. 6 (na cor rosa). Ao animar-se a aeronave, é possível analisar sua aderência à rota pré-estabelecida.



Fig. 7 – Animação no simulador "X-Plane"

O aplicativo permite também gerar arquivos que podem ser interpretados por simuladores de voo, como na Fig. 7.



Fig. 8 – Painel de instrumentos

Na Fig. 8 é possível observar a representação instantânea de parâmetros relevantes em um painel (à esquerda). Incluem-se atitudes, dados de motores, posição de superfícies etc. Uma representação da posição relativa à pista também pode ser exibida (à direita). A vista superior, incluindo uma porção de mapa ou carta de navegação, incluindo a simbolização da aeronave, é mostrada no canto superior direito. Já na parte inferior, observa-se o perfil vertical de aproximação, incluindo a rampa teórica e a executada, representado também na vista tridimensional por planos horizontais. Uma bússola que acompanha a aeronave também provê uma referência visual quanto à sua atitude.

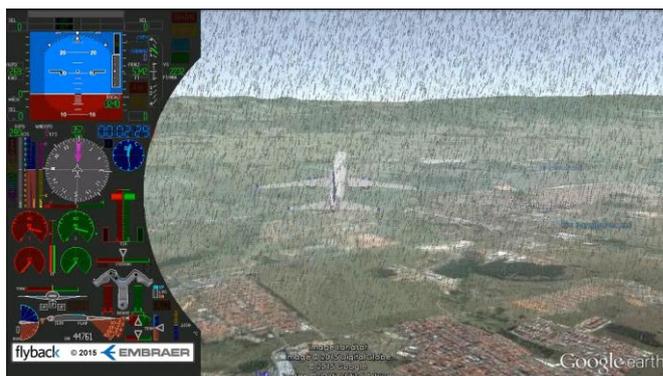


Fig. 9 – Introdução de condições ambientes

A Fig. 9 apresenta condições ambientes como chuva e neblina. Outros elementos, como neve, quebra de pára-brisa etc. também são possíveis. Há diversos parâmetros de ajuste para que se possa representar a situação de forma coerente, incluindo gradientes, movimento etc.



Fig. 10 – Posicionamento do sol

A Fig. 10, por sua vez, apresenta o posicionamento do sol, que pode ser definido utilizando-se ajustes do navegador geográfico, ou em função do próprio horário do evento.



Fig. 11 – Visão do piloto

A Fig. 11 apresenta a animação do ponto de vista do piloto. Pode ser incluída a representação do HUD (Head-Up Display – projeção na linha de visão), simultânea ao painel. Esta vista tem se demonstrado muito útil ao treinamento de pilotos, por traduzir o ambiente ao qual eles se encontram acostumados.



Fig. 12 – Animação simultânea

Animações simultâneas também são possíveis, como mostra a Fig. 12, com a vantagem de permitir situações como esta. No caso, trata-se de dois pousos em momentos

diferentes na mesma pista, que foram combinados e permitem, assim, a comparação visual das diferenças de procedimento entre ambos. Também é possível gerar o perfil ideal para determinado procedimento, e comparar-se contra a execução, detectando quais seriam as diferenças significativas. Efeitos de câmera lenta e reposicionamento de câmera são possíveis ao longo de toda a trajetória.

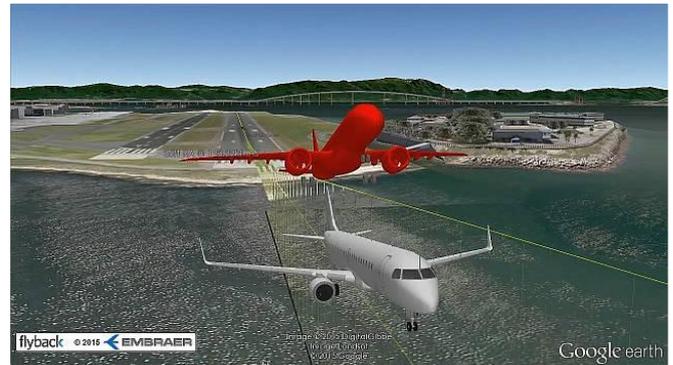


Fig. 13 – Animação simultânea – outro exemplo

A Fig. 13 ilustra diferentes procedimentos de decolagem, que são fruto de um estudo para aperfeiçoar o desempenho das aeronaves. Uma instrução em que seja apresentada esta animação deixará muito claro aos alunos as diferenças críticas entre ambas, concorrendo para uma melhor execução.

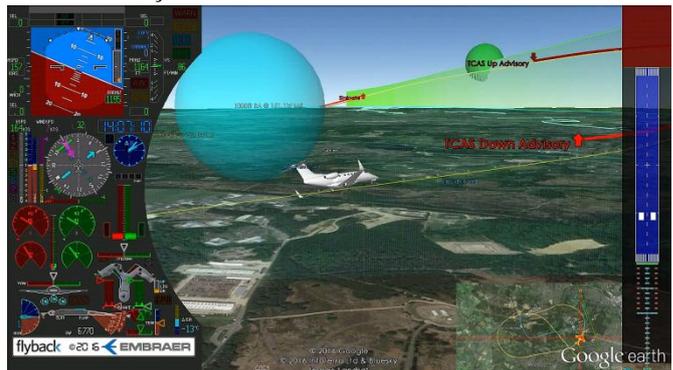


Fig. 14 – Animação simultânea em evento real

Cenários mais complexos podem ser gerados, como é o caso da Fig. 14. Aqui, analisa-se a aproximação para pouso com duas outras aeronaves na vizinhança, posicionadas ao centro das esferas azul e verde. Estas esferas se constituem em um recurso visual, dada a pequena dimensão relativa destes elementos. As trajetórias, vistas de cima, encontram-se representadas no detalhe no canto inferior direito. Alertas são simbolizados ao longo da trajetória também.



Fig. 15 – Voo em formação

A animação simultânea é particularmente útil quando se representa voos em formação, como na Fig. 15. Tanto é possível combinar-se as informações de cada aeronave, quanto gerar as trajetórias tomando-se uma como referência. De posse das informações adequadas, é possível gerar manobras em formação para treinamento ou briefing (instruções concisas e objetivas) de missão imediatamente antes da execução real das manobras planejadas.



Fig. 16 – Ejeção

Perspectivas interessantes podem ser obtidas para eventos singulares, como é o caso da ejeção, Fig. 16. Obviamente, os custos e riscos envolvidos são muito menores para se realizar uma animação que apresente os elementos necessários para um treinamento neste assunto.

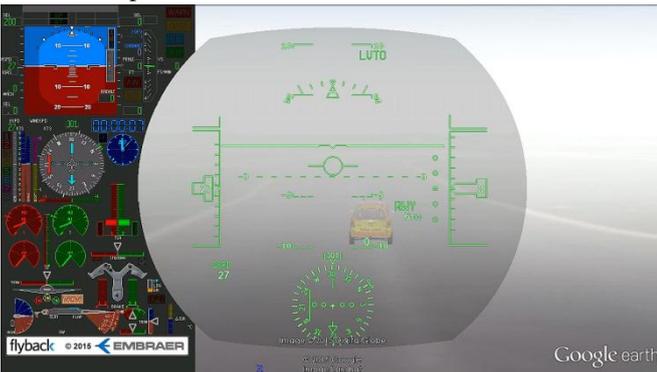


Fig. 17 – Decolagem com baixa visibilidade

Aplicações práticas incluem procedimentos de decolagem com baixa visibilidade (LVTO – Low Visibility Takeoff), como mostrado na Fig. 17. Nela, foi introduzida a neblina como um fator ambiente, e um veículo de acompanhamento ("follow-me") com animação simultânea, além das indicações correspondentes no visor (ao centro e acima, dizeres "LVTO" e guia circular, ao centro). Esta animação já foi utilizada por um operador como apoio ao processo de certificação do procedimento junto à autoridade nacional.



Fig. 18 – Calibração do efeito de neblina

O aplicativo permite uma série de ajustes para a geração dos efeitos, como pode ser observado na Fig. 18. Definições de intensidade, cor, gradiente, bem como instantes de início e término gradual do efeito são configuráveis.

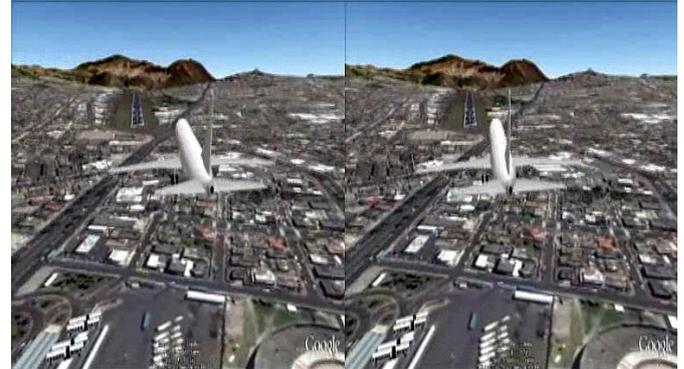


Fig. 19 – Visualização tridimensional

Com o objetivo de enriquecer a experiência, é possível também gerar arquivos para visualização tridimensional, compatíveis com monitores com esta capacidade, como mostrado na Fig. 19. Dois vídeos são gerados, com câmeras posicionadas à esquerda e à direita, depois combinados através de um editor de vídeo comercial.



Fig. 20 – Procedimento de decolagem monomotor

Um exemplo típico para um vídeo de instrução é mostrado na Fig. 20. Trata-se de um evento de falha de motor em decolagem no aeroporto de Santos Dumont, no Rio de Janeiro. O vídeo contendo as referências visuais, entremeado com as falas do procedimento padrão e outros efeitos sonoros, constitui-se em um material de referência para a tripulação, que pode ser ministrado em sala de aula e também facilmente consultado imediatamente antes da decolagem.



Fig. 21 – Decolagem monomotor – visão externa

Decolagem monomotor, evidenciado o instante em que o copiloto detecta a falha e a anuncia (Fig. 21). O mapa no

canto superior direito mostra a posição atual da aeronave, e fornece indicação visual da trajetória prevista. Os navegadores geográficos contam cada vez mais com elementos de cenário (notar ponte Rio-Niterói, ao fundo). Os números em amarelo, às margens da pista, indicam a sua extensão restante.



Fig. 22 – Decolagem monomotor – visão do piloto

Na Fig. 22 pode-se ver o mesmo procedimento através de uma câmera localizada na posição do piloto, incluindo-se o dispositivo auxiliar “Head-Up Display”.



Fig. 23 – Aproximação não estabilizada

Na Fig. 23 apresenta-se uma aproximação em desacordo com os critérios comuns de estabilidade. No caso, os vídeos podem ser gerados de maneira segura, ilustrando situações que seriam arriscadas se executadas na realidade.



Fig. 24 – Aproximação padrão

Na Fig. 24 é apresentada uma aproximação padrão, com vários elementos adicionais para facilitar o entendimento por parte da tripulação, como as guias de desvio vertical (1 e 2 pontos acima / abaixo) e lateral (1 e 2 pontos à esquerda / direita) para referência. Incluem-se pistas visuais, como as luzes sequenciais ao longo da projeção no solo, prédios ou outros elementos geográficos. A representação da posição do

sol pode ser relevante em determinados horários. Podem ser adicionados outros tráfegos que existiriam em situações normais.

Este tipo de vídeo pode ser disponibilizado em equipamentos portáteis, e acessado pela tripulação antes do voo ou mesmo imediatamente antes da realização do procedimento.

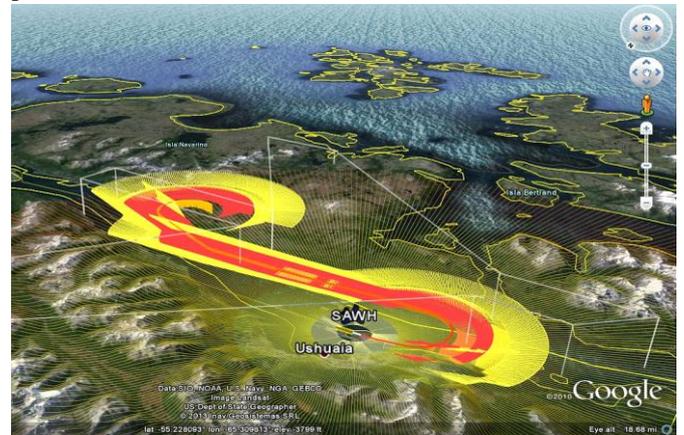


Fig. 25 – Prospecção de aeródromos

Uma utilização possível é o estudo de viabilidade de novas rotas, utilizando informações geográficas em conjunto com os dados de desempenho da aeronave. Isto permite, além da familiarização com o local e procedimentos, otimizar a operação do ponto de vista de carga paga. A Fig. 25 mostra projeções sobre o terreno, correspondentes a possíveis alertas de proximidade para a trajetória em estudo.

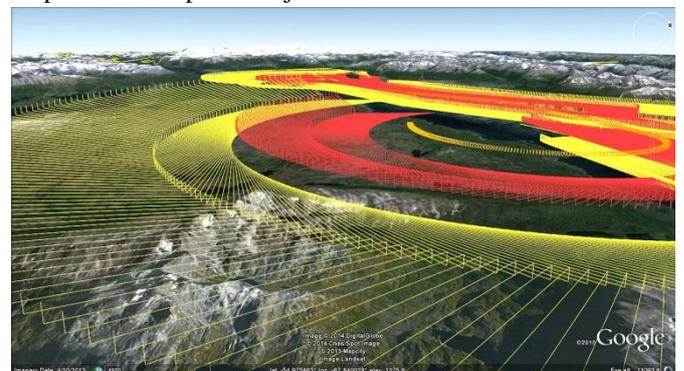


Fig. 26 – Prospecção de aeródromos - detalhe

A Fig. 26 evidencia detalhes das projeções de alerta de proximidade com terreno, utilizadas na prospecção de aeródromos.

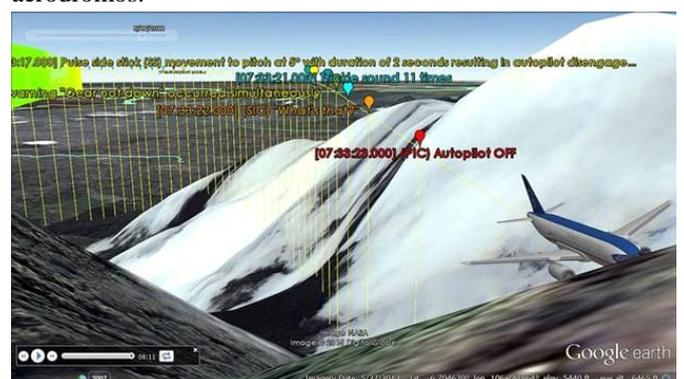


Fig. 27 – Animação de evento real

As lições aprendidas não precisam se limitar à frota ou aos eventos históricos do operador. Na Fig. 27 observa-se a reconstituição de um evento de repercussão mundial, que pode se desdobrar em recomendações para fabricantes, autoridades e operadores. As informações para reconstrução foram obtidas a partir de relatórios públicos.



Fig. 28 – Avaliação de emissão de ruído sonoro

Com vistas ao cumprimento de legislação, as rotas podem ser avaliadas quanto à emissão de ruído sonoro (Fig. 28).

## 6 CONCLUSÃO

A premissa inicial, ou seja, a de prover treinamento em linguagem acessível, de forma prática e utilizando informações fidedignas, pôde ser plenamente satisfeita. Apesar de haver sido desenvolvido para aeronaves de asa fixa, o aplicativo pode se adaptar rapidamente a helicópteros, embarcações ou outros veículos, cada um com sua própria lista de necessidades a serem exploradas. Inclua-se briefing (instruções concisas e objetivas) e debriefing (relatório sobre a execução) de missões, também para veículos não tripulados.

Em termos de uso na aviação, encontrou-se utilização nos segmentos comercial, executivo, defesa e agrícola. Já foram produzidos vídeos para atender a análises de eventos relacionados à segurança operacional, certificação, treinamento, desenvolvimento de sistemas aeronáuticos, prospecção de rotas, simulação de procedimentos, estudo de alternativas de negócio, dentre outros.

Desta forma, as possibilidades de utilização ainda se encontram longe de se esgotar. A facilidade de gerar soluções conforme a necessidade do cliente tem sido o ponto chave deste serviço.

## AGRADECIMENTOS

À Embraer, na figura dos gestores e colegas, incluindo o grande incentivo recebido pelo programa interno “Innova” na alocação de tempo e recursos para desenvolvimento.

À família, pela compreensão quanto à fase em que a ideia foi desenvolvida em períodos extraordinários de trabalho.

## REFERÊNCIAS

- Google Earth. Em: <https://www.google.com/earth/>, acessado em 12 de maio de 2016.
- IATA Safety Report 2015 – 52nd Edition. Em: [http://www.iata.org/publications/Pages/safety\\_report.aspx](http://www.iata.org/publications/Pages/safety_report.aspx), acessado em 12 de junho de 2016.
- KML - Keyhole Markup Language Reference. Em: <https://developers.google.com/kml/documentation/kmlreference>, acessado em 12 de maio de 2016.
- XML - eXtensible Markup Language. Em: <https://www.w3.org/XML/>, acessado em 12 de julho de 2016.