ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DE NOVA CIRCULAÇÃO E DE MELHORIAS NA INFRAESTRUTURA NA CAPACIDADE DE PISTA DO AEROPORTO INTERNACIONAL DE GUARULHOS

Marcelo Carvalho Cabral de Vasconcellos
Grupo de Engenharia de Tráfego Aéreo – Instituto Tecnológico da Aeronáutica
Praça Marechal Eduardo Gomes, 50 – Vila das Acácias CEP 12.228-900, São José dos Campos, SP - (12) 98255-7004 Marceloccv@gmail.com

João Luiz de Castro Fortes
Grupo de Engenharia de Tráfego Aéreo - Instituto Tecnológico da Aeronáutica
Praça Marechal Eduardo Gomes, 50 – Vila das Acácias CEP 12.228-900, São José dos Campos, SP

Rafael de Araújo Almeida
Instituto de Controle do Espaço Aéreo (ICEA)
Praça Marechal Eduardo Gomes, 50 – Vila das Acácias CEP 12.228-900, São José dos Campos, SP

Carlos Müller
Grupo de Engenharia de Tráfego Aéreo - Instituto Tecnológico da Aeronáutica
Praça Marechal Eduardo Gomes, 50 – Vila das Acácias CEP 12.228-900, São José dos Campos, SP

RESUMO

Apesar do arrefecimento do setor aéreo no atual cenário econômico vivenciado pelo país, o impacto do forte crescimento da demanda na última década tem resultado em constantes desafios para gestores relacionado à infraestrutura aeroportuária brasileira, tendo o sistema de pistas de pouso e decolagem como um dos gargalos nos principais aeroportos do Brasil. Os elevados custos ambientais, sociais e financeiros aparecem como um possível limitador da expansão física da infraestrutura já existente. Diante desse cenário, este trabalho tem por objetivo avaliar a capacidade do sistema de pistas de pouso e decolagem do Aeroporto Internacional de Guarulhos (SBGR) considerando a implementação de uma nova circulação aérea e de mudança no seu layout de pista, por meio da utilização da ferramenta de simulação computacional em tempo acelerado (*fast-time)* TAAM (Total Airspace and Airport Modeler) visando auxiliar no processo de tomada de decisões e planejamento do aeroporto. Os resultados mostraram que mudanças no layout do sistema de pistas com a inserção de novas saídas, associada a redução na circulação aérea, poderá proporcionar o aumento de até 20,9% no número de movimentos.

Palavras-chave: Simulação *Fast-time*, TAAM, Capacidade de Pista.

1. INTRODUÇÃO

Uma das principais preocupações dos usuários de aeroportos e seus operadores são os atrasos. Apesar da redução no número de passageiros transportados nos últimos 12 meses propiciado pelo cenário de instabilidade econômica vivenciado pelo país, o crescimento acumulado de demanda por transporte aéreo tem resultado na saturação dos sistemas e na consequente redução do nível de serviço oferecido aos passageiros e às companhias aéreas nos maiores aeroportos do Brasil. Diante disso, a capacidade dos sistemas de pistas de pouso e decolagem e os atrasos associados ao aumento da demanda e saturação desses sistemas tem recebido grande atenção por parte dos profissionais da área e do poder público.

De acordo com o estudo publicado pela Consultoria Mckinsey, os sistemas de pistas dos 20 principais aeroportos brasileiros necessitam de investimentos de maior porte, aparecendo como um dos principais problemas em diversos aeroportos, entre eles, o de Guarulhos. Entretanto, é extremamente difícil e demanda grande quantidade de tempo aumentar substancialmente a capacidade desses sistemas em aeroportos que possuem grande movimento diário. A execução de novas pistas além de necessitar de grandes áreas e elevado custo associado, precisa se adequar às restrições de ruído em seu entorno e apresenta um significante impacto ambiental (Neufville e Odoni, 2013).

Dessa forma, o presente estudo tem por objetivo determinar a capacidade do Sistema de pista de pouso e decolagem do Aeroporto Internacional de Guarulhos, através da ferramenta de simulação em tempo acelerado TAAM (*Total Airspace and Airport Modeler)*, a partir de mudanças na infraestrutura, com a implantação de saídas rápidas de pista e aumento do comprimento de uma das pistas, e nas condições operacionais, a partir da redução da separação longitudinal entre aeronaves na fase final e com a implantação de uma nova circulação em uma das cabeceiras.

2. REVISÃO DE LITERATURA

A capacidade do sistema de pistas de pouso e decolagem pode ser definida como o número de operações realizadas em determinado período de tempo para uma pista simples ou a combinação dessas a partir de condições locais provendo um nível de serviço razoável. Existem duas definições comumente utilizadas para descrever a capacidade aeroportuária: a capacidade máxima e a prática.

Capacidade Prática pode ser definida pelo número de operações que pode ser acomodada pela pista em um determinado período de tempo considerando todas as restrições existentes do aeroporto, com um determinado atraso dado (Wells, 2000). De acordo com a FAA, existem dois parâmetros da capacidade prática que podem avaliar a eficiência das operações aeroportuárias, a capacidade prática horária e a capacidade prática anual, que podem ser definidas como o número máximo de operações que podem ser realizadas em um aeroporto, gerando um atraso máximo de quatro minutos em média durante as duas horas de maior congestionamento (pico) por hora e ao ano, respectivamente (Young e Wells, 2014).

A capacidade máxima ou capacidade de saturação, por sua vez, pode ser definida pelo número máximo de operações que pode ser acomodada em um determinado período de tempo sem considerar qualquer imprevisto e que todas as aeronaves estarão presentes seja para realizar procedimentos de pouso ou de decolagem (Wells, 2000; Ashford e Wright, 1992). A Figura 1 mostra que, após atingir a capacidade prática para um determinado atraso médio aceitável, o mesmo apresenta um crescimento exponencial.

Os atrasos podem ser definidos como a duração entre o horário desejado em que a operação ocorra e o horário em que de fato ocorre. Mesmo em horários que há baixo movimento de aeronaves, os atrasos ainda sim estão presentes, causados pelo pequeno intervalo de tempo estimado para a operação entre duas aeronaves distintas. Porém, são nos momentos de alta demanda que os atrasos aumentam de forma exponencial, se aproximando da capacidade do aeroporto. De acordo com Circular 150/5060-5 (*Advisory Circular 150/5060-5 – Airport Capacity and Delay)* da *Federal*

Aviation Administration (FAA) o atraso médio aceitável é de 4 minutos, entretanto, de acordo com o *Airport Coorporative Research Program* (ACRP 79 – *Evaluating Airfield Capacity*) o atraso de 6 minutos pode ser considerado aceitável.

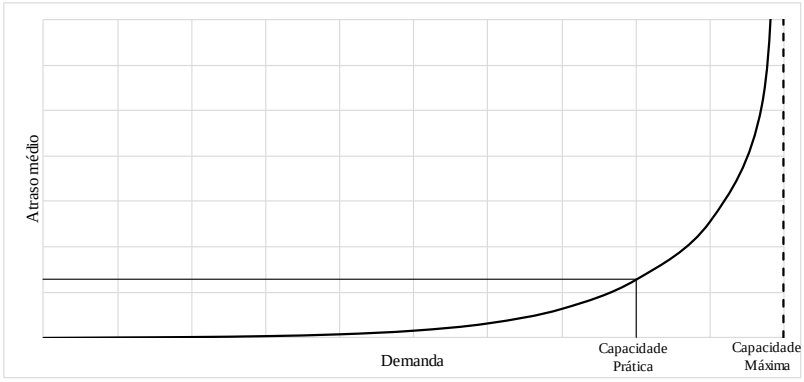


Figura 1: Atrasos em função da capacidade e demanda

Diversos são os parâmetros e fatores que influenciam na capacidade do lado ar, como o sistema de pistas de pouso e decolagem e seu layout, o número e localização de saídas de pista e de pistas de taxi, o tempo de ocupação da pista durante o pouso e decolagem, o mix de aeronaves e a relação entre o número de pousos e decolagem (Horonjeff et al, 2010). As regras de separação de tráfego aéreo aparecem como um dos fatores mais importantes que afetam a capacidade das pistas de pouso e decolagem.

As características físicas e layout do sistema de pistas de pouso, taxiways e *gates* são determinantes para a acomodação das aeronaves e para a taxa em que podem utilizar. Essas características estão também relacionadas com o tempo de ocupação de pista de pouso (ROT – runway occupancy time), que é definido como o período de tempo que uma aeronave precisa para partir da posição inicial na pista até o instante em que de fato deixa esse ambiente. O ROT é também função do mix de aeronaves (Young e Wells, 2014).

Somado a infraestrutura do aeroporto há as regras seguidas pelo Controle de Tráfego Aéreo. Os procedimentos realizados pelos controladores primam garantir a segurança nas operações por meio de separações longitudinais mínimas que levam em consideração desde as possíveis imprecisões dos equipamentos de navegação até a esteira de turbulência, que está diretamente relacionada a categoria da aeronave. Quando duas aeronaves se encontram em aproximação, a separação longitudinal exigida também definida pelo mix de aeronaves, ou seja, o percentual de leves (com peso máximo de até 7.000 kg), médias (peso máximo superior a 7.000 kg e inferior a 136.000 kg) e pesadas (peso máximo superior a 136.000 kg), que realizam operações de decolagem e/ou pouso ao longo de determinado período de tempo na pista (Young e Wells, 2014)

3. METODOLOGIA

3.1. Obtenção e Tratamento de Dados

O TATIC (*Total Air Traffic Information Control* – Controle Total de Informações de tráfego), elaborado pelas Torres de Controles dos aeródromos e fornecidos pelo Centro de Gerenciamento de Navegação Aérea (CGNA), fornece anotações de eventos relacionados aos movimentos das aeronaves (horário de pouso ou decolagem, modelo e classe da aeronave, pista em uso). Através desse sistema foi possível extrair informações estatísticas, como a porcentagem de uso das cabeceiras do aeroporto, número de voos diários, modelos de aeronaves, etc. Ainda a partir dessas informações foi possível obter a hora-pico, ou seja, a hora com maior número de movimentos.

Já para a implementação dos procedimentos de chegada (STAR), saída (SID) e Aproximação por Instrumento (IAC) foram utilizadas as cartas disponibilizadas pelo Departamento de Controle do

Espaço Aéreo (DECEA), através do portal AISWEB, assim como para a geometria do sistema de pistas de pouso e decolagem a partir da carta de Aeródromo (ADC). As regras de tráfego aéreo também foram obtidas a partir das publicações do Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), com ênfase a ICA 100-37, em conformidade com o Anexo 11 e no Documento 4444, da Organização Internacional da Aviação Civil (*International Civil Aviation Organization* – ICAO).

3.2. Estudo de caso - Aeroporto Internacional de Guarulhos

O Aeroporto Internacional de Guarulhos – Governador André Franco Montoro (ICAO: SBGR; IATA: GRU) localizado no município de Guarulhos, região metropolitana de São Paulo, é o maior aeroporto em número de passageiros e movimentos do país. Em 2015 o aeroporto registrou, aproximadamente, 300.000 movimentos de pouso e decolagem, movimentando 38.985.000 passageiros, sendo o mais movimentado do Brasil e a principal porta de entrada para estrangeiros.

O complexo aeroportuário é composto por duas pistas paralelas próximas, uma utilizada prioritariamente para decolagens (09L/27R) com 3.700 m e uma com 3.000 m (09R/27L) utilizada preferencialmente para procedimentos de pouso. A partir dos dados obtidos através do CGNA, cerca de 80% dos procedimentos são realizados através das cabeceiras 09R/09L (RWY 09), enquanto os 20% restantes pela cabeceira oposta (RWY 27). A capacidade horária declarada, ainda de acordo com o CGNA, aumentou de 48 movimentos para 52 movimentos em 2015.

A Figura 2 apresenta a configuração do sistema de pistas de pouso e decolagem no Aeroporto de Guarulhos obtida em meio digital através da Carta de Movimento no Solo (GMC) no portal AISWEB, produzida pelo DECEA. É possível perceber que, apesar de não interferir no presente estudo, a carta utilizada não se encontra atualizada, visto que o Terminal de Passageiros 3 (TP3) ainda não está representado na carta

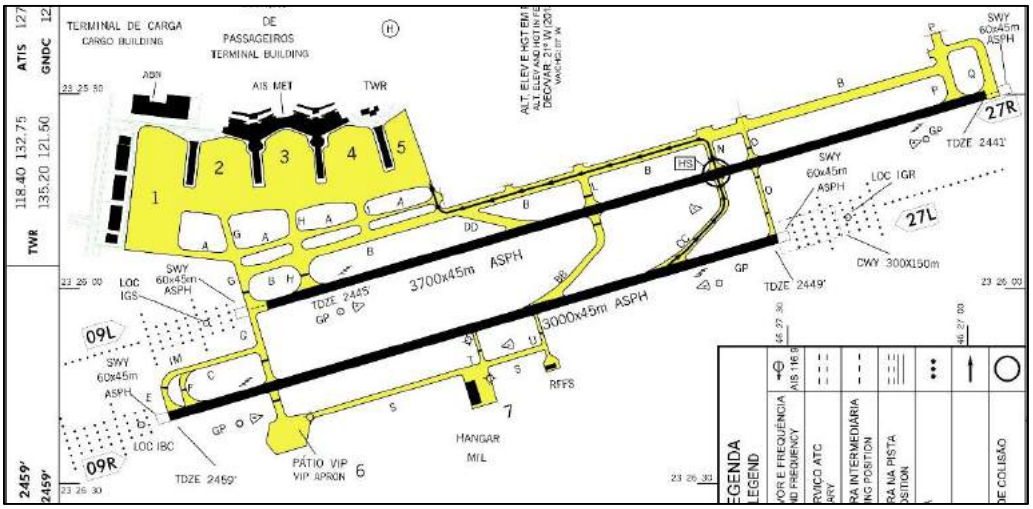


Figura 2: Carta de aeródromo de Guarulhos, modificada pelo autor.

Por estar localizado no centro do município de Guarulhos, a implantação de uma terceira pista, paralela as duas já existentes ou em outra direção, poderia apresentar elevado custo, aliado ainda com possíveis restrições operacionais devido ao ruído gerado pelas operações aéreas. Dessa forma, o aumento da capacidade por meio de modificações apenas no layout das pistas já existentes ou a partir de mudanças nas regras de tráfego aéreo aparece como uma possível alternativa para a absorção da futura demanda.

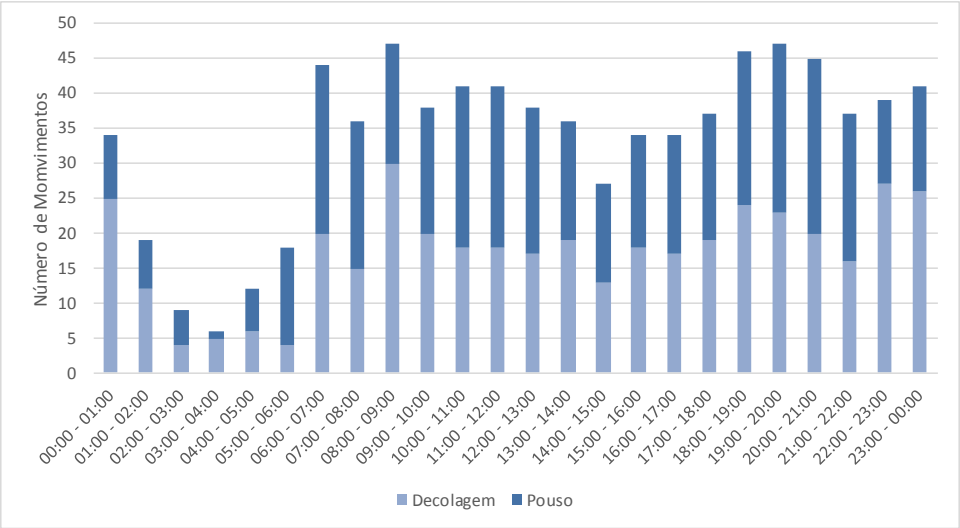


Figura 3: Número de movimentos por hora em 06/03/2015

A Figura 3 apresenta o número de movimentos (pousos e decolagens) ocorridos no dia 06 de março de 2015, dia escolhido para a simulação por ser o dia com o maior número de movimentos nesse mês e por ser o mês mais atualizado para o início dos estudos, com o percentual de decolagens representando 52,05% do total. A partir dos dados fornecidos pelo CGNA também foi possível identificar que o mix de aeronaves que operam nesse aeroporto é composto por 3,34% de aeronaves leves, 80,10% por aeronaves médias e 16,56% de aeronaves classificadas como pesadas.

3.3. Simulação

A ferramenta computacional utilizada para o desenvolvimento do estudo foi o TAAM, desenvolvido pela Jeppesen. Este, supre a necessidade da caracterização dos aeroportos e do espaço aéreo, a partir da criação de layouts dos aeroportos, das saídas de pistas e dependência entre elas, do mix e do desempenho operacional das aeronaves, velocidades e procedimentos de aproximação e saída, etc (ALMEIDA, 2014). Além disso, o TAAM tem sido utilizado em larga escala por diversas entidades da aviação, como a FAA nos Estados Unidos para a análise do espaço aéreo (BOESEL et al., 2001), estimação da capacidade aeroportuária (pátios, pistas de pouso e decolagem), projetos de expansão de aeroportos e de implementação de novos procedimentos em áreas Terminais (SID, STAR) (BAZARGAN, FLEMING e SUBRAMANIAN, 2000).

Estudos por meio de simulação devem apresentar informações de entrada confiáveis, de modo a representar de maneira fiel à realidade. O desempenho das aeronaves é um dos principais dados em modelos de simulação no transporte aéreo. O software TAAM apresenta em sua base de dados, BADA (*Base of Aircraft Data)*, informações de desempenho operacional das aeronaves, sendo estas disponibilizadas pelas próprias fabricantes de aeronaves e a mais utilizada na indústria. É importante destacar que, para melhor representar a realidade, o simulador conta com um modelo de aleatoriedade dos parâmetros, baseado em uma distribuição normal, de modo a representar as flutuações que acontecem na prática, como, por exemplo, velocidades de aproximação, posição de toque durante o pouso, dentre outras.

3.4. Elaboração dos Cenários

O estudo buscou comparar quatro diferentes cenários, com duas configurações de layout. O primeiro visou analisar a capacidade do sistema da pista de pouso e decolagem na sua atual configuração, levando em consideração o uso na cabeceira mais utilizada (09L/09R). O segundo ainda com a configuração atual, mas considerando o uso da cabeceira menos utilizada (27R/27L). O terceiro

cenário considerou a implantação de uma nova saída rápida na pista 27L (01), levando em consideração a infraestrutura já existente. Por fim, o quarto cenário propôs a expansão da pista 09R-27L e a implantação de duas saídas rápidas (01 e 02).

Para cada um dos cenários foram analisadas três situações de circulação para aproximação do aeródromo: o primeiro caso consiste nos procedimentos padrão que entraram em vigor em 06 de março de 2015, o qual previa um mínimo de separação longitudinal de 5 NM na trajetória final de aproximação e a técnica conhecida como trombone ou STAR deslocada não estava implementado; o segundo caso considerou um mínimo de separação longitudinal de 3 NM na trajetória final de aproximação e também sem a STAR deslocada; por fim, o terceiro caso, que considerou um mínimo de separação longitudinal de 3 NM na trajetória final de aproximação e a inserção da STAR deslocada. A aplicação da separação longitudinal de 3NM é prevista quando respeitada a separação mínima devido à esteira de turbulência conforme publicada pelo DECEA por meio da CIRCEA 100-61 (DECEA, 2014).

O procedimento denominado como STAR deslocada pelo DECEA é similar ao procedimento trombone. Tal procedimento é uma técnica que tem por finalidade otimizar e facilitar o sequenciamento de aeronaves através da definição de uma área que possibilita diversas trajetórias de aproximação para alongamento do segmento de voo, conforme ilustrado na Figura 4. Vale ressaltar que esse procedimento passou a vigorar na Área Terminal de São Paulo em novembro de 2015.

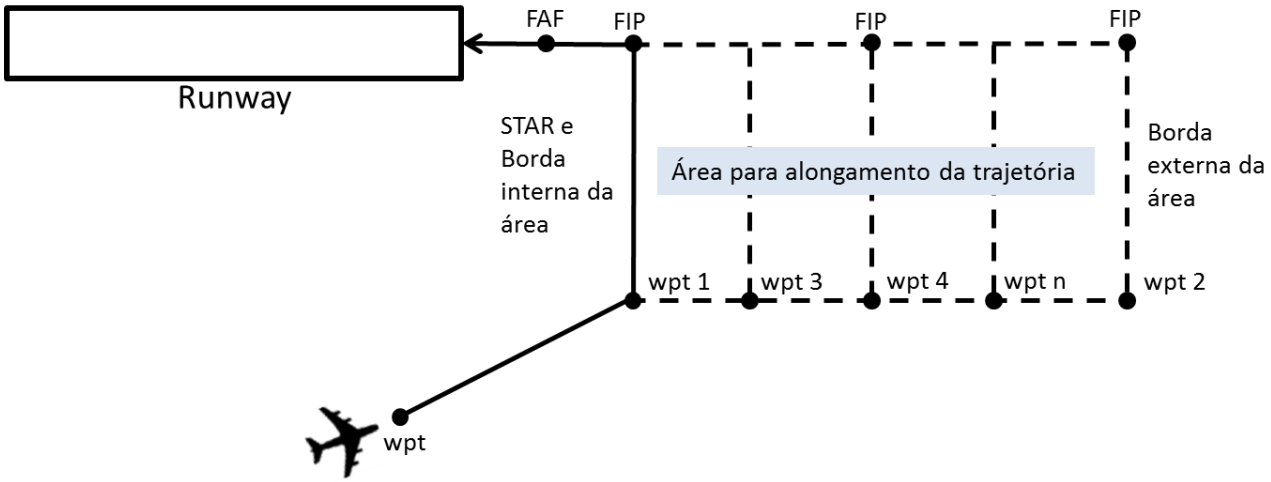


Figura 4 - Esquema do procedimento STAR deslocada

Com o objetivo de validar o modelo foi, inicialmente, simulado a atual configuração do sistema de pistas de pouso e decolagem a partir das condições operacionais em uso naquele momento, ou seja, com separação longitudinal de 5NM na final e com a atual infraestrutura. Em seguida, foram realizadas as mudanças de modo a analisar isoladamente o efeito de cada umas das alterações no sistema, seja na infraestrutura, com a implementação de novas saídas de pista e com o aumento do comprimento da pista, seja na mudança na circulação, reduzindo para 3NM a distância entre duas aeronaves na aproximação final, respeitando, no entanto, a separação mínima devido a esteira de turbulência.

No entanto, como as principais alterações de layout impactam diretamente as operações nas cabeceiras 27R/27L, o foco dos cenários será apenas a utilização da cabeceira 27, que hoje é a mais limitada em questão de capacidade de pista.

A Figura 5 apresenta o cenário com a execução das saídas 01 e 02 além do aumento da extensão da pista 09R/27L em 700 m, permitindo que as duas pistas apresentassem o mesmo comprimento total. Percebe-se que as posições de saída foram escolhidas de modo a tentar aproveitar a infraestrutura já presente no aeroporto, exceto no último acesso à cabeceira 27L, onde o aumento na extensão da pista não possibilitou utilizar a estrutura existente.

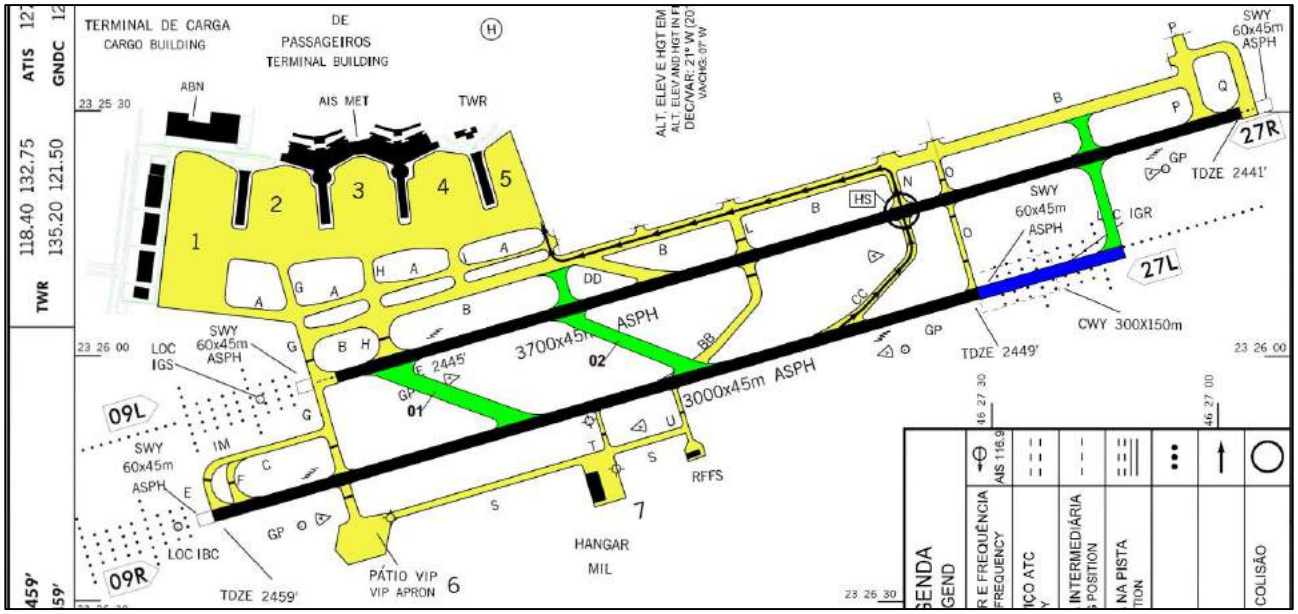


Figura 5: Nova proposta de layout da carta de aeródromo de Guarulhos (Fonte: modificada da Carta de Movimento de Solo).

3.5. Cálculo de capacidade de pista

A construção do modelo foi realizada a partir da simulação do cenário base e de incrementos na demanda variando de 10% até 60% a partir da execução de cenários com diferentes configurações. A fim de se obter a curva de capacidade da pista foi realizada uma regressão exponencial, como mostra a Eq. (1), de modo a determinar a movimentação horária produzindo um atraso médio determinado como aceitável. Com o objetivo de linearizar a curva foi utilizado o logaritmo da equação, utilizando valores de ln(y), conforme Eq. (2) para o cálculo da regressão.

$$Y = Ae^{BX} \quad (1)$$

Sendo: Y: Atraso médio observado (em minutos);
X: Movimentação horária observada;
A e B: Constantes

$$\ln(Y) = C + BX \quad (2)$$

Sendo: ln(Y): logaritmo neperiano do atraso médio observado (em minutos);
X: Movimentação horária observada;
B e C: Constantes, onde $C = \ln(A)$

É importante destacar que a capacidade estimada por meio das simulações para um atraso médio de 6 minutos já é considerada a capacidade prática, não sendo necessário, portanto, a aplicação de uma margem de 20% (geralmente adotado pelo DECEA) para cálculos teóricos.

4. RESULTADOS E ANÁLISES

A fim de validar o modelo foi, inicialmente, estimada a capacidade Prática da pista de pouso para as duas cabeceiras, considerando a atual configuração física/geométrica do sistema, com a disposição das saídas rápidas conforme apresentadas na Figura 2 e com a separação mínima

longitudinal na aproximação final de 5NM (padrão durante a elaboração do estudo). A Figura 6 apresenta as estimativas das capacidades para as operações realizadas através da pista 09R/09L, enquanto a Figura 7 mostra as capacidades para as pistas 27R/27L. Os gráficos apresentam as médias dos resultados obtidos a partir do incremento na demanda.

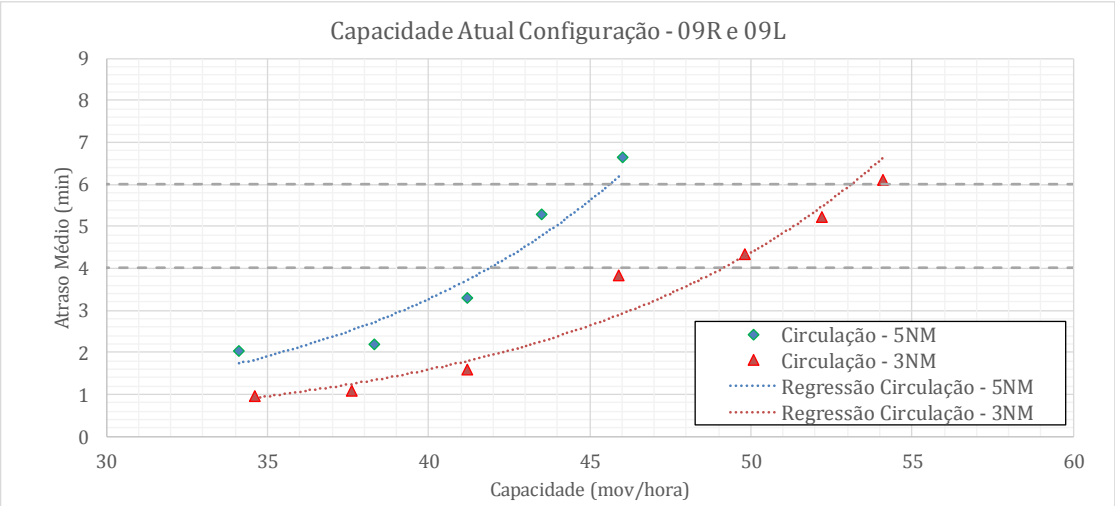


Figura 6: Capacidade Prática da Pista 09 para atual configuração do Sistema de pistas de pouso e decolagem com Separações longitudinais de 5NM e 3NM

Assim, para a atual configuração da infraestrutura e com separação mínima de 5NM, o conjunto de pistas possui uma capacidade horária variando de 43 movimentos para as operações realizadas por meio da cabeceira 27, e 46 movimentos para cabeceira 09, considerando o atraso médio de 6 minutos. Percebe-se que há um ganho de médio de 9,85% quando comparado com o atraso médio anteriormente utilizado de 4 minutos.

A capacidade da pista 09R/09L, portanto, pode ser definida como a capacidade máxima horária para essas configurações, similar àquela apresentada pelo CGNA à época, de 47 mov/h, validando, portanto, o modelo elaborado. Percebe-se que a cabeceira 09 apresenta três movimentos a mais quando comparada com a oposta, justificada pela presença do maior número de saídas ao longo do seu eixo longitudinal. Com a mudança na separação entre aeronaves, reduzindo de 5NM para 3NM, a capacidade da pista apresentou um crescimento médio de 15,6%, aumento para 49 e 54 movimentos/hora para cabeceiras 27 e 09.

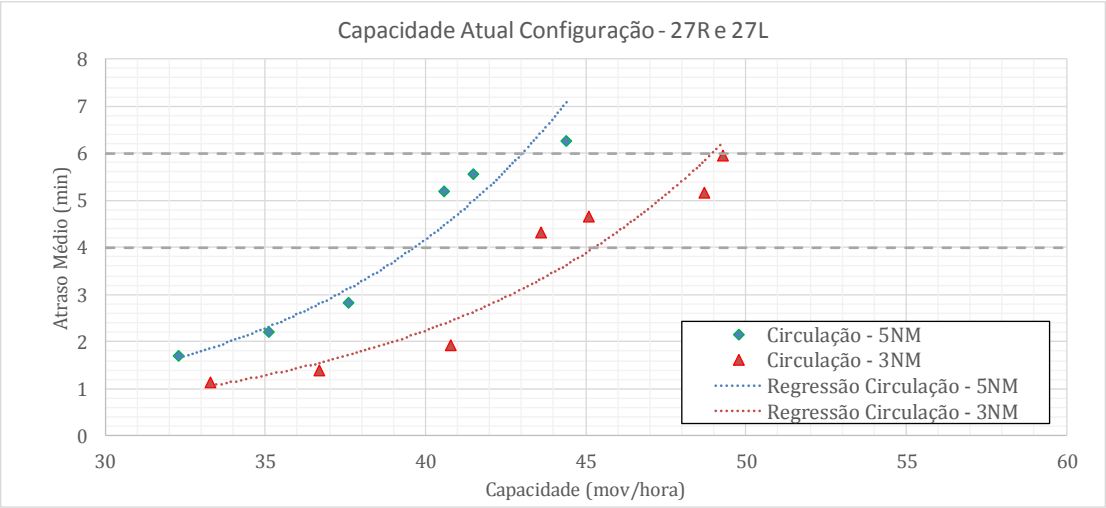


Figura 7: Capacidade Prática da Pista 27 para atual configuração do Sistema de pistas de pouso e decolagem com Separações longitudinal de 5NM e 3NM

A segunda configuração levou em consideração implantação de uma saída rápida na pista 27L (denominada 01), localizada a, aproximadamente, 1.750 m da cabeceira. A partir da Figura 8, percebe-se que capacidade horária se manteve constante para o circuito de tráfego com 5NM de separação longitudinal. Esse fato apenas mostra que a implantação de uma saída rápida seria indiferente visto que a separação longitudinal ainda se manteria como o limitador da capacidade nessa cabeceira. Entretanto, com a redução dessa para 3NM a capacidade apresentaria um aumento de 20,9%, ou seja, um incremento de 9 movimentos, passando de 43 para 52 movimentos por hora, como pode ser observado na Figura 8.

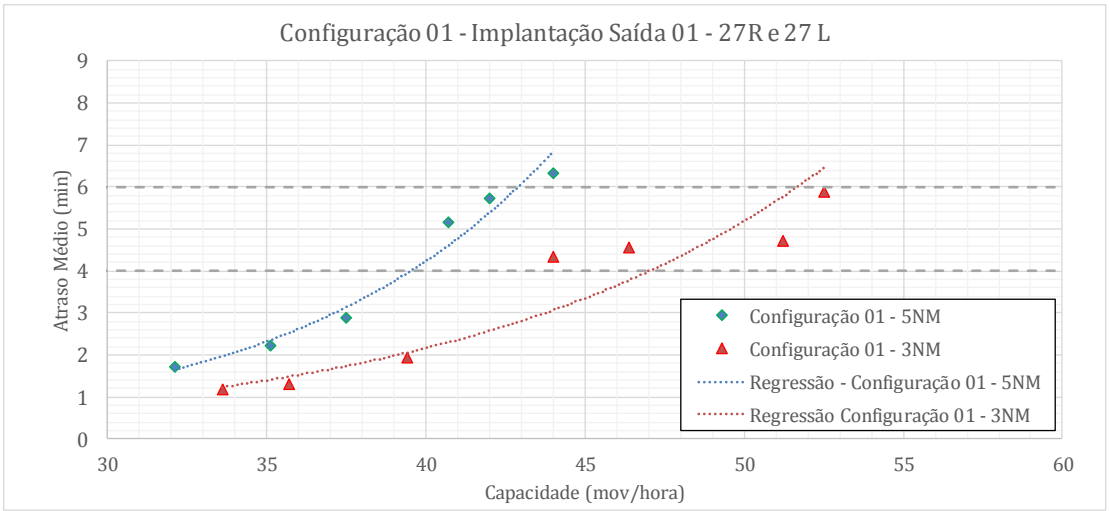


Figura 8: Capacidade Prática da Pista 27 para Configuração 01 – Implantação da Saída 01 no Sistema de pistas de pouso e decolagem com Separações longitudinal de 5NM e 3NM

Já com a expansão da pista 09R/27L em, aproximadamente, 700,0 m e com a implantação de duas saídas (01 localizada 2.480 m e 02 a 1.750 m da cabeceira deslocada), o sistema de pistas apresentou um aumento de 3 movimentos, ou 6,97%, considerando as condições operacionais à época utilizada, com 5NM de separação entre aeronaves na final, e 7 movimentos, 16,2%, a partir da redução para 3NM.

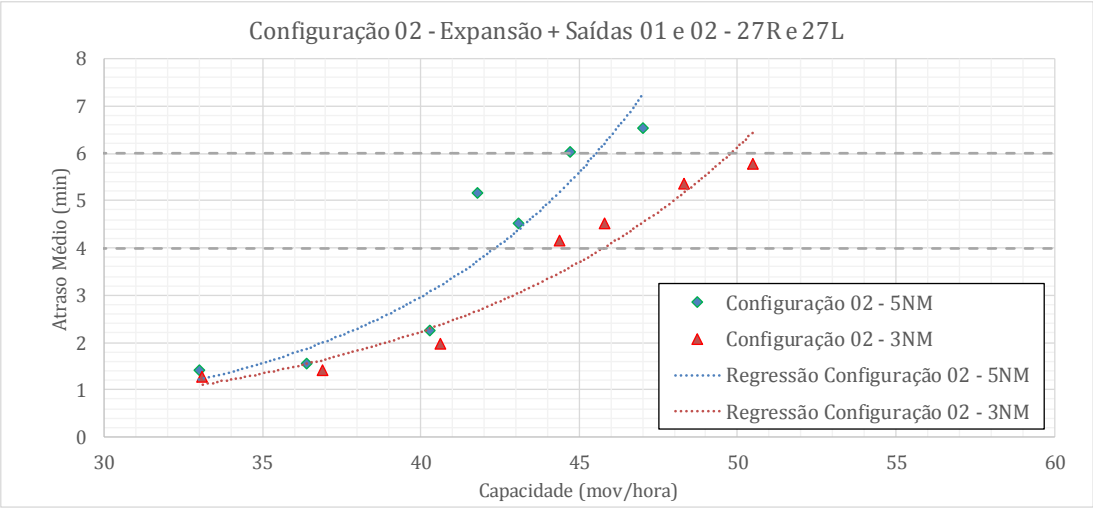


Figura 9: Capacidade Prática da Pista 27 para Configuração 02 – Expansão da Pista 09R/27L e Saídas 01 e 02 no Sistema de pistas de pouso e decolagem com Separações longitudinal de 5NM e 3NM

Por fim, considerando a condição operacional com 3NM e com o procedimento de STAR deslocada, ou trombone, para a cabeceira 09, as simulações mostraram que o conjunto de pistas apresentaria uma capacidade de 56 movimentos/hora, totalizando um acréscimo de 21,7% quando comparado com àquela praticada durante o início do estudo, e 3,7% utilizando apenas a separação longitudinal de 3NM sem a presença do trombone.

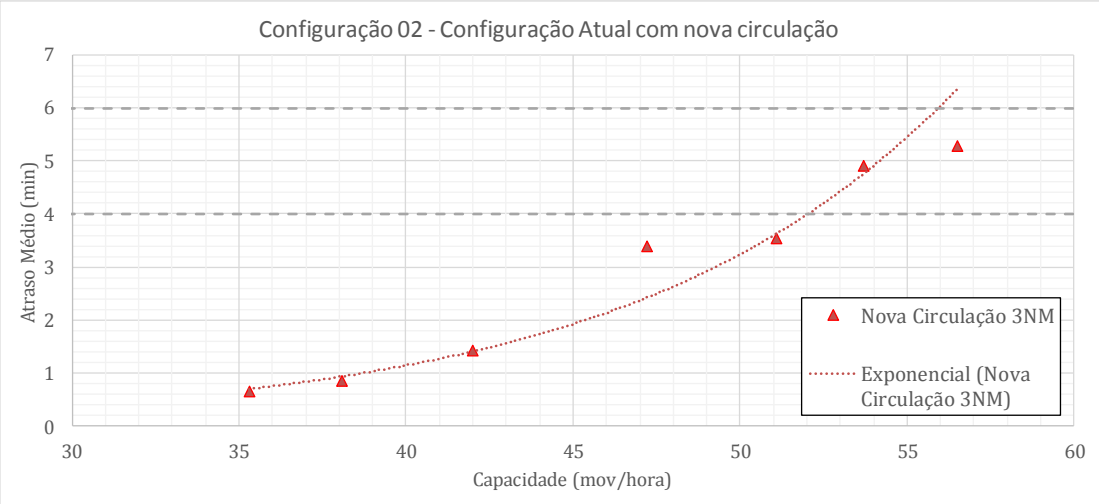


Figura 10: Capacidade Prática da Pista 09 com a implementação da nova circulação com separação longitudinal de 3NM

A Tabela 1 apresenta os ganhos na capacidade para cada um dos cenários estudados considerando um atraso médio de 6 minutos. Os resultados foram obtidos a partir das regressões exponenciais apresentadas na Eq. (2).

Tabela 1: Resumo dos resultados obtidos a partir das simulações realizadas para diferentes configurações

		Circulação 3NM		*Trombone*	
Configuração da Pista	***5NM***	***3NM***	***Δ%***	***Trombone***	***Δ%***
RWY09	46	54	17,4%	56	21,7%
RWY27	43	49	13,9%	49	13,9%
RWY27 + HH	43	52	20,9%	52	20,9%
RWY27 HH+JJ	46	50	8,6%	50	8,6%

5. CONCLUSÕES

O aumento da demanda tem propiciado a saturação dos sistemas aeroportuários brasileiros. O alto custo e os possíveis impactos ambientais e sociais para àqueles que vivem no entorno dos aeroportos associado à execução de novas infraestruturas fazem com que os aeroportos reduzam o nível de serviço oferecido aos usuários a partir da geração de atrasos, ocasionando também o aumento dos custos para as companhias aéreas.

A partir da utilização da ferramenta de simulação em tempo acelerado TAAM, é possível apontar algumas alternativas que resultem no aumento da capacidade do sistema de pistas de pouso e decolagem do Aeroporto Internacional de Guarulhos. A partir da modificação da circulação aérea com a redução da separação longitudinal mínima durante o processo de sequenciamento na final a capacidade horária apresentou um aumento de 17,4% para a pista 09 e 21,7% com a implantação do sistema de STAR descolada. Já para mudanças no layout do sistema de pistas, com a implantação de uma saída rápida, o aumento de 20,9% para a pista 27 aparece como uma possível solução para o aumento do número de movimentos nessa pista.

6. REFERENCES

Airports Council International and International Air Transport Association. **Airport Capacity/Demand Management**. 3rd ed. 1996.

Almeida, R. **Aumento da capacidade de pistas paralelas e próximas: um estudo de caso do aeroporto internacional de Guarulhos**. 2014. 132f. [s.l.] Tese de Mestrado - Instituto Tecnológico da Aeronáutica, São José dos Campos, 2014.

Bazargan, M.; Fleming, K.; Subramanian, P. Proceedings of the 2002 Winter Simulation Conference – **A simulation study to investigate runway capacity using TAAM.**

Boesel, J. et al. **TAAM Best Practices Guidelines**, 2001

Geneva: Airports Council International: International Air Transport Association.

Ashford, N., Wright, P (1992) **Airport Engineering**. John Wiley & Sons, 3th ed., New York, 1992.

DECEA - Departamento de Controle do Espaço Aéreo. (2013a) **ICA 100-12. Regras do Ar**.

DECEA - Departamento de Controle do Espaço Aéreo (2013b). **ICA 100-37. Serviços de Tráfego Aéreo**

DECEA – Departamento de Controle do Espaço Aéreo (2014). **CIRCEA 100-61. Aplicação de Separação Radar Mínima de 3NM entre Aeronaves.**

Neufville, R., e Odoni, A. 2003. **Airport systems planning, design, and management**, McGraw-Hill, New York.

FAA - Federal Aviation Administration (1995). **Advisory Circular 150/5060-5: Airport Capacity and Delay**. Disponível em <http://www.faa.gov>. Último acesso em: 20 de maio 2015

Horonjeff, R., McKelvey, F. X, Sproule, W., Young, S. (2010) **Planning and Design of Airports**. McGraw-Hill, N.Y., 5th ed.

MCKINSEY COMPANY. **Estudo do Setor de Transporte Aéreo do Brasil**. Rio de Janeiro, 2010.

TRB - Transportation Research Board. (2012) ***Airport Coorperative Researh Program – ACRP 79: Evaluating Airfield Capacity***. Washington, DC.

Young S. e Wells, A. T – **Airport Planning and Management**, 6th edition – McGraw Hill, 2011.

Wells, A. T. 2000. **Airport Planning & Management**. 4th ed. New York: McGraw-Hill