

ANÁLISE DE DESEMPENHO DE CONFIGURAÇÕES DE TERMINAIS DE PASSAGEIROS EM AEROPORTOS

Anderson Ribeiro Correia

Engenharia de Infra-Estrutura Aeronáutica
Instituto Tecnológico de Aeronáutica

Cláudio Jorge Pinto Alves

Engenharia de Infra-Estrutura Aeronáutica
Instituto Tecnológico de Aeronáutica

RESUMO

Este trabalho apresenta uma avaliação de distâncias de percurso e custos de construção para terminais de passageiros em aeroportos em função dos quatro conceitos de configuração mencionados pela literatura (pier, satélite, linear e por transporte), e em função de vários níveis de demanda de passageiros. As hipóteses assumidas estão mencionadas neste artigo. O conceito linear apresentou a menor distância de percurso para passageiros embarcados, mas não possui o mesmo potencial para passageiros em trânsito; o conceito por transporte apresentou os menores custos de construção, devido à possibilidade de centralização de atividades operacionais e redução de áreas de embarque; o conceito satélite apresentou uma característica de reduzir distâncias de percurso para passageiros em trânsito em aeroportos com alto volume de tráfego. Os resultados obtidos são úteis para profissionais de planejamento aeroportuário, de forma a assisti-los na avaliação econômica e operacional de novas alternativas de edifícios de terminais de passageiros em aeroportos.

ABSTRACT

This work presents an evaluation of walking distances and construction costs for airport passenger terminals as a function of the four configuration concepts mentioned by the literature (pier, satellite, linear, and transporter), and as a function of various demand levels. Several hypotheses have been assumed and they have been mentioned throughout this paper. The linear concept presented the shortest walking distance for originating passengers; the transporter concept presented the lowest construction costs, especially because it is possible to centralize operational activities and in this case optimize their utilization; the satellite concept presented shorter walking distances for transfer passengers at airports with high traffic volume. The results provided are useful for airport planners to assist them on the economic and operational assessment of building alternatives for new airport passenger terminals.

1. INTRODUÇÃO

O terminal de passageiros (TPS) em um aeroporto é a principal interface entre o acesso terrestre e o lado aéreo (pátios de aeronaves e pistas). Várias funções são realizadas em seus componentes operacionais, incluindo-se o *check-in* de passageiros, entrega e recuperação de bagagens, inspeção de segurança, imigração e controle de passaportes. Além disso, o TPS deve prover áreas para circulação, espera, serviços aos passageiros, lojas comerciais, pessoal da administração e sistemas mecânicos. O dimensionamento dos componentes operacionais pode ser realizado através do uso de padrões de nível de serviço fornecidos pela IATA (*International Air Transport Association*). Todavia, alguns órgãos têm desenvolvido padrões de dimensionamento para diversos componentes, como é o caso da Infraero (Empresa Brasileira de Infra-Estrutura Aeroportuária) e da FAA (*Federal Aviation Administration*).

Existem vários estilos de configurações que podem ser adotados em um projeto de TPS. Analisando-se os estilos mencionados pela literatura, nota-se que cada um deles apresenta vantagens e desvantagens, porém nenhum pode ser reconhecido como um estilo ótimo. Por outro lado, há algumas indicações de vantagens que alguns estilos apresentam em função da distribuição dos passageiros e bagagens, distância de taxiamento e facilidade nas manobras de aeronaves.

Profissionais de planejamento aeroportuário geralmente enfrentam uma decisão crucial quando eles selecionam a configuração do TPS. As decisões tomadas com relação à geometria dos edifícios, os *layouts* e suas localizações geram importantes conseqüências no desempenho e rentabilidade do aeroporto (de Neufville e Odoni, 2002). Horonjeff e McKelvey (1994) apresentaram uma lista com os principais parâmetros que podem variar em função do projeto do aeroporto:

1. Custo por passageiro processado.
2. Distância percorrida para os vários tipos de passageiros.
3. Espera dos passageiros no processo.
4. Nível de ocupação e grau de congestionamento.
5. Atrasos e custos em manobras de aeronaves.
6. Consumo de combustível pelas aeronaves no movimento entre as pistas e os terminais.
7. Custos de construção.
8. Custos administrativos, operacionais e de manutenção.
9. Fontes potenciais de receitas e o nível esperado de receitas de cada fonte.

Através destes índices, percebem-se algumas entidades que devem ser o público alvo do planejador de um aeroporto: o passageiro, que deve receber um bom nível de serviço a um menor custo possível; a companhia aérea, que deseja operar em um aeroporto eficiente, através de um trabalho de parceria; as entidades financiadoras, que exigem lucratividade, com redução de custos e receitas sempre crescentes. Desta forma, qualquer modelo de análise de projetos deve ser avaliado por múltiplos atributos, demandando procedimentos complexos e eficientes.

O objetivo desta pesquisa é realizar uma avaliação quantitativa das características de configurações de TPS. O artigo é dividido em quatro etapas: (1) revisão da literatura, (2) seleção de parâmetros da análise, (3) proposta de uma metodologia e (4) análise de resultados.

2. REVISÃO DE LITERATURA

As primeiras tentativas de avaliação de configurações de terminais de passageiros em aeroportos foram realizadas qualitativamente e de forma descritiva (de Neufville, 1976; Hart, 1985). As características das configurações foram apresentadas em função da experiência dos autores em projeto e gerenciamento de aeroportos, faltando uma abordagem analítica. De Neufville (1976) não pretendeu recomendar uma determinada configuração, mas afirmou que para cada caso particular, deve ser definido o padrão de flutuação do tráfego aéreo e a intensidade de conexões entre vôos. Hart (1985) apresentou definições de quatro conceitos de TPS, descritos a seguir:

1. *Satélite*: neste conceito, as aeronaves são estacionadas ao redor de uma estrutura que é ligada ao terminal principal por um corredor ou conector posicionado abaixo, acima ou no mesmo nível do pátio.
2. *Pier*: no conceito *pier*, as aeronaves são estacionadas ao longo de um conector ligado ao prédio do terminal. Em ambos os conceitos (*satélite* e *pier*), o processamento dos passageiros e os dispositivos de entrada e saída de bagagens são centralizados geralmente no terminal principal.

3. *Linear*: no conceito linear as aeronaves são estacionadas ao longo do TPS. Nos últimos 10 ou 15 anos, o conceito linear tem sido desenvolvido para TPS de grande porte, de forma a prover funções de gerenciamento de passageiros e facilidades de transporte terrestre para cada posição de parada de aeronaves. Nestes casos, as funções do TPS são descentralizadas, modelo que será utilizado neste trabalho.
4. *Por Transporte*: o conceito por transporte envolve basicamente o distanciamento entre aeronave e TPS, onde veículos apropriados fazem a ligação entre aeronave e TPS. Portanto, a sala de embarque é móvel, inexistindo na edificação do terminal. Neste conceito, manuseio de bagagens e passageiros é centralizado no terminal principal.

A Figura 1 ilustra estes quatro conceitos.

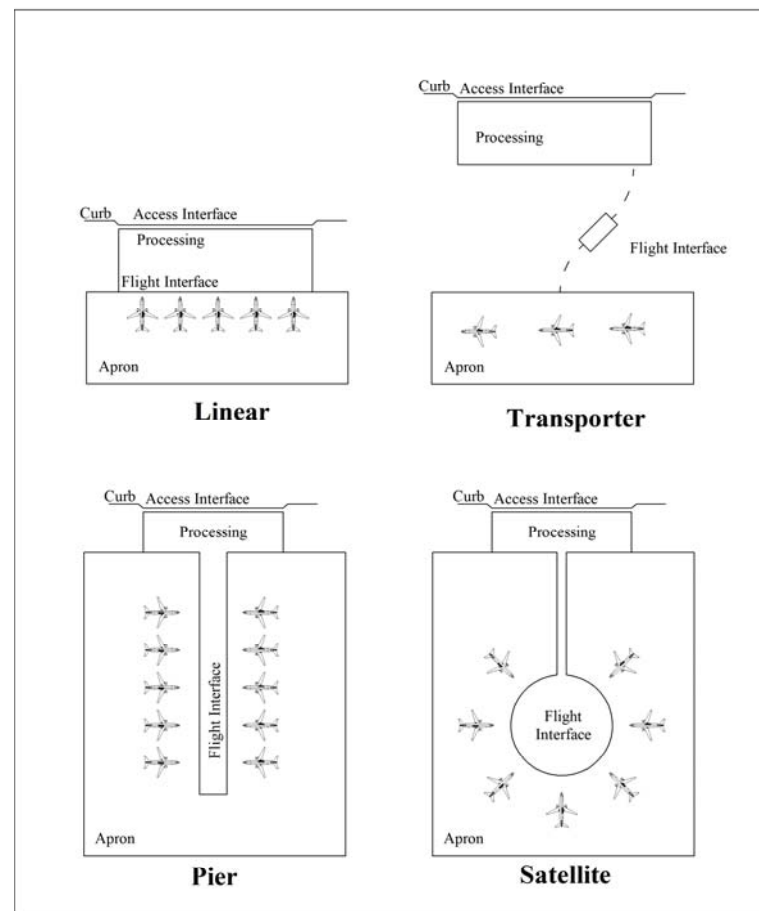


Figura 1: Conceitos de TPS (Horonjeff e McKelvey, 1994).

Com base nesse esquema de classificação, Hart (1985) indicou a aplicabilidade desses quatro conceitos em função do tipo e volume do tráfego de passageiros, levando em consideração parâmetros operacionais e de custo (Tabela 1). Como pode ser visto, o conceito linear é mais adequado para um TPS com baixo volume de tráfego de passageiros. Conceitos píer e satélite são adequados para aeroportos com alto volume de tráfego. Finalmente, o conceito por transporte não seria adequado para um TPS apresentando altos volumes de passageiros em trânsito. Apesar dessas recomendações, não existe dado quantitativo para suporte à decisão entre as várias alternativas.

Tabela 1: Aplicação dos Conceitos em Função do Volume de Tráfego

| Tamanho do Aeroporto por Passageiros Embarcados/Ano | Conceitos Aplicáveis | | | |
|--|----------------------|------|----------|-------------------|
| | Linear | Pier | Satélite | Por Transporte |
| < 25.000 | ✓ | | | |
| 25.000 a 75.000 | ✓ | | | |
| 75.000 a 200.000 | ✓ | | | |
| 200.000 a 500.000 | ✓ | ✓ | | |
| 500.000 a 1.000.000 | ✓ | ✓ | ✓ | |
| 500.000 a 1.000.000 (mais de 25% de conexões) | ✓ | ✓ | ✓ | |
| 1.000.000 a 3.000.000 (menos de 25% conexões) | | ✓ | ✓ | ✓ |
| 1.000.000 a 3.000.000 (mais de 25% de conexões) | | ✓ | ✓ | |
| > 3.000.000 (menos de 25% conexões) | | ✓ | ✓ | ✓ |
| > 3.000.000 (mais de 25% de conexões) | | ✓ | ✓ | |

Fonte: Hart (1985)

Trabalhos subsequentes foram caracterizados por uma abordagem analítica, indicando as características de configurações sob várias hipóteses operacionais e de projeto. Wirasinghe et. al. (1987) propuseram um método para determinar as geometrias ótimas para TPS de estilo pier, minimizando as distâncias de percurso entre terminais. Ele também identificou a fração de passageiros em conexão e o número de portões de embarque como os fatores de decisão na escolha de uma configuração de TPS. Wirasinghe e Bandara (1992) propõem um método para determinar a geometria ótima para uma configuração pier de um terminal de passageiros em aeroportos com o uso de APM (*automated people movers*), sob determinadas restrições. É capaz de restringir o número de piers remotos e os comprimentos dos piers, de forma a satisfazer requisitos de espaço e das companhias aéreas. Através dos estudos de caso dos aeroportos de Denver e Atlanta Hartsfield, chega-se à conclusão que a geometria ótima é proporcional à razão do custo de percurso por unidade tempo e do custo de transporte por unidade de tempo. Bandara e Wirasinghe (1992) apresentaram um cálculo da distância de percurso para configurações pier, pier-satélite e satélite. O tamanho do TPS é determinado analiticamente em função do número de portões de embarque. Para uma ampla faixa de mix de passageiros e número de portões de embarque, uma configuração pier semi-centralizada é indicada como a melhor configuração de TPS com respeito à distância de percurso dos passageiros. Robuste e Daganzo (1991) e Robuste (1991) analisaram e compararam diversas configurações centralizadas de TPS em termos da distância média de percurso e manuseio de bagagens, com todos passageiros em trânsito sendo considerados como transferências *hub*. Como eles se concentraram somente em aeroportos *hub*, suas conclusões são úteis para aeroportos *hub* ou àqueles onde existe um alto percentual de passageiros em conexão. A conclusão geral de todos estes trabalhos é que configurações pier são preferíveis sob a perspectiva de minimização de distâncias de percurso de passageiros.

De Neufville et. al (2002) usou modelos de planilhas Excel para analisar diversos tipos de configurações em função da distância de percurso e do percentual de passageiros em trânsito. Eles também pretenderam analisar o efeito do gerenciamento inteligente de posições de parada na distância média de percurso. Os resultados reportados foram obtidos para um TPS hipotético de 20 portões de embarque servindo grandes aeronaves comerciais. A Tabela 2 apresenta os resultados do estudo.

Tabela 2: Desempenho de Configurações de TPS

| Configuração | Distância média de percurso (m/passageiro) | |
|----------------------|---|---------------------------------|
| | Alto Percentual de Conexões | Baixo Percentual de Conexões |
| | (60%) | (0%) |
| Linear Mid-field | | |
| Linear | 90 | 109 |
| X-shaped | 134 | 136 |
| Pier | 202 | 316 |
| Linear, 1 lado aéreo | | |
| 3 pontos de entrada | 109 | 98 |
| 1 ponto de entrada | 144 | 157 |

Fonte: de Neufville et. al (2002)

Em resumo, a análise sugere as vantagens do estilo linear *midfield* inteligentemente gerenciado e as desvantagens do estilo pier com relação à distância média de percurso para passageiros. Considerando o tamanho dos terminais, o trabalho não foi capaz de apresentar a variação da distância média de percurso em função do número de portões de embarque. A pesquisa foi realizada supondo-se um número fixo de 20 portões de embarque servindo grandes aeronaves comerciais.

De Barros e Wirasinghe (2003) analisaram configurações de TPS para acomodar operações das novas grandes aeronaves (*new large aircraft* - NLA). A análise foi realizada individualmente para um pier individual, diversos modelos de pier-satélites e uma série de piers remotos paralelos conectados por um veículo APM. A desutilidade (*disutility*) geral de caminhar e se mover no APM foi empregada como o critério de análise. O principal objetivo do trabalho foi encontrar os melhores locais para as posições de parada de aeronaves NLA.

A maior parte dos estudos previamente apresentados é caracterizada por analisar grandes aeroportos comerciais (grande número de portões de embarque, grandes aeronaves, TPS estilos pier e satélite, terminais *hub*, etc.). Todavia, a realidade da maioria dos aeroportos localizados na América Latina é bem diferente desta perspectiva. Como exemplos, existem grandes aeroportos no Brasil (São Paulo/Guarulhos, Brasília, Rio de Janeiro/Galeão), mas a rede aeroportuária em geral é composta de aeroportos pequenos e médios. Um dos estudos mencionados na literatura utilizou o Aeroporto Internacional Atlanta Hartsfield, que atualmente é o maior aeroporto do mundo em volume de passageiros. Este aeroporto processou mais de 83 milhões de passageiros em 2004 de acordo com o ACI (*Airports Council International*). Esta cifra é mais de seis vezes superior que o volume de passageiros processados no mesmo ano no maior aeroporto da América do Sul, o Aeroporto Internacional de São Paulo/Guarulhos. Nestas circunstâncias, é necessário se desenvolver análises de configurações que são adequadas às necessidades locais.

3. PARÂMETROS

Tradicionalmente, a distância média de percurso tem sido empregada como um parâmetro para se analisar configurações de TPS sob a ótica do usuário. Geralmente os passageiros caminham grandes distâncias, às vezes em condições não muito favoráveis, devendo atravessar centenas de metros, carregando bagagens e incapazes de mover-se rapidamente. Existem ainda os casos mais críticos de passageiros acompanhados de crianças, pessoas idosas, passageiros não familiarizados com o ambiente do aeroporto ou até mesmo estressados

pela pressão de cumprir o horário estabelecido. Desta forma, a minimização de distâncias de percurso é um importante critério para o projeto de TPS (de Neufville et. al, 2002). Caves e Pickard (2000) desenvolveram pesquisa sobre a satisfação de necessidades pessoais em TPS. De acordo com o estudo, é comum atender as necessidades dos passageiros através da provisão de um percurso curto, rápido e previsível dentro do terminal, limitando a distância desde o meio-fio de embarque e desembarque até os portões de embarque e desembarque. Embora seja possível reduzir as distâncias de percurso pelo uso de esteiras rolantes ou APM's, os autores citam que alguns passageiros não os utilizam por acreditarem que eles podem mover-se mais rápido caminhando do que utilizando estes equipamentos. Seneviratne e Martel (1991) aplicaram uma pesquisa de qualidade em aeroportos canadenses e encontraram que a distância de percurso e o nível de informação são os fatores mais importantes quando se considera a qualidade de serviço dos componentes de circulação de um TPS. Com base em todas essas evidências, a distância de percurso será um dos fatores utilizados como critério de análise neste trabalho.

Muito embora seja comum oferecer-se um bom nível de serviço aos passageiros, existem algumas restrições que direcionam qualquer projeto de TPS, onde se incluem as considerações de custo. De Neufville e Odoni (2002) mencionam as mais importantes tendências futuras do transporte aéreo, que são crescimento sustentado de longo prazo, comercialização, globalização e mudanças técnicas (comércio eletrônico, NLA, etc.). As implicações dessas tendências no planejamento e projetos de TPS resultam numa mudança de contexto, objetivos e critérios de excelência. O contexto é comercial; os objetivos focalizam mais em desempenho do que em monumentos arquitetônicos; os critérios de excelência voltados para a eficiência dos custos, valor do dinheiro e lucratividade. Levando em conta todas essas implicações, os custos de construção são um dos mais importantes fatores para se empregar na análise de configurações de TPS. Por essa razão, os custos de construção serão mais um dos fatores empregados na seleção de alternativas de TPS propostas.

4. METODOLOGIA PROPOSTA

4.1. Considerações gerais

Diferentemente dos trabalhos previamente mencionados, a análise desta pesquisa será realizada em três níveis de volumes anuais de passageiros: 500.000, 2.000.000 e 5.000.000 passageiros. Esses níveis foram identificados como representativos da maioria dos aeroportos da América do Sul. Como ilustração, existem poucos aeroportos brasileiros com volume anual superior a 5 milhões de passageiros (Tabela 3). Por outro lado, a maioria dos aeroportos com volume anual inferior a 500 mil passageiros foi projetada no conceito linear; nestes casos, um estudo de diferentes configurações não se torna necessário, pois é unânime a escolha por apenas esse tipo de conceito de TPS.

A hipótese principal é que exista uma configuração de TPS mais adequada para cada faixa de volume anual de passageiros, em função dos critérios de análise propostos neste trabalho. Além disso, as vantagens e desvantagens relativas de cada configuração serão apresentadas para cada critério. A Figura 2 apresenta o fluxograma da metodologia. As configurações tipo pír, por transporte, linear e satélite serão dimensionadas e avaliadas em função do nível de volume de passageiros e os critérios propostos.

Tabela 3: 10 Maiores Aeroportos do Brasil por Volume de Passageiros (2003)

| Aeroporto | Milhões de Passageiros Anuais | Configuração do TPS |
|----------------------|-------------------------------|-------------------------|
| SBSP - Congonhas | 12,1 | Linear / Por Transporte |
| SBGR - Guarulhos | 11,6 | Pier |
| SBBR - Brasília | 6,8 | Linear / Satélite |
| SBRJ - Santos-Dumont | 5,4 | Linear |
| SBGL - Galeão | 4,6 | Linear Circular |
| SBSV - Salvador | 3,5 | Pier |
| SBBH - Pampulha | 3,0 | Linear |
| SBPA - Porto Alegre | 2,9 | Linear |
| SBRF - Recife | 2,7 | Linear |
| SBCT - Curitiba | 2,5 | Linear |
| SBFZ - Fortaleza | 1,9 | Linear |
| SBFL - Florianópolis | 1,3 | Linear |

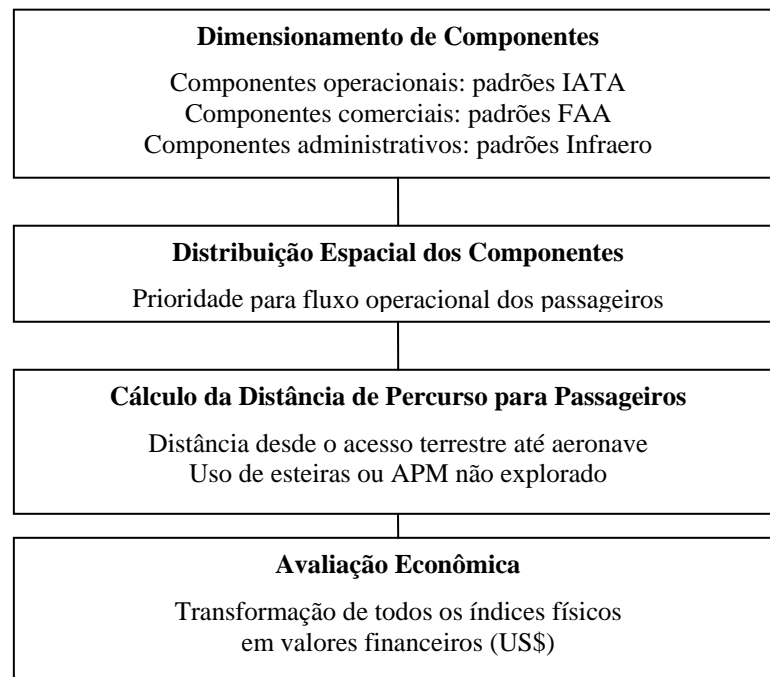


Figura 2: Metodologia Proposta

4.2. Hipóteses básicas

Foram adotadas algumas hipóteses relacionadas ao dimensionamento, localização espacial dos componentes do TPS, posicionamento das aeronaves nas posições de paradas, cálculo da distância de percurso e custos de construção. Elas foram apresentadas em Correia (2000) e incluem as seguintes questões:

- Análise de terminais de passageiros destinados a operações domésticas.
- Fluxo de percurso assumido para cálculo da distância de percurso: meio-fio/estacionamento – balcão de *check-in* – sala de embarque – portão de embarque – aeronave – restituição de bagagens – meio-fio/estacionamento. Percurso às áreas comerciais não foi considerado, pois isto não é um serviço essencial ou compulsório.
- Supõe-se que o aeroporto possui espaço suficiente para a implementação das alternativas propostas.

- Os terminais foram planejados em um único edifício em dois níveis: piso térreo para passageiros desembarcando e piso superior para passageiros embarcando. Esta prática é padrão em um grande número de aeroportos com volume de passageiros dentro da faixa estipulada neste trabalho.
- Distribuição das áreas comerciais: 80% - piso de embarque / 20% piso de desembarque (recomenda-se alocar mais áreas comerciais em áreas de embarque, pois é neste movimento que os passageiros possuem mais tempo para estas atividades (Garcia, 1995)).
- A fórmula de hora-pico utilizada para transformar volumes anuais em volumes horários foi provida pelo DAC (Departamento de Aviação Civil), refletindo a realidade brasileira.
- Percentual de passageiros utilizando o estacionamento de veículos – 60% (obtido através de um estudo de aeroportos da Infraero no Estado de São Paulo).
- Percentual de conexões: 10% (representativo aproximado de uma série de aeroportos no Brasil – São Paulo/Guarulhos, Brasília, etc).
- Custos de percurso em função do valor do tempo do passageiro: US\$ 3.47/km (Wirasinghe, 1992).
- Custos de construção: US\$ 641/m² (Wirasinghe, 1992).
- Mix de aeronaves: diferente para cada nível de demanda estudado. Foi obtido através da análise de aeroportos específicos no Brasil.
- Áreas administrativas e de apoio foram dimensionadas através de padrões fornecidos pela Infraero.

4.3. Cálculo da distância de percurso

O procedimento para análise das distâncias de percurso em TPS utilizará duas matrizes origem-destino: *matrizes de impedância* e *matrizes de fluxo*. Cada uma destas matrizes de dados básicos captura diferentes aspectos do tráfego dentro do TPS. O procedimento foi originalmente desenvolvido por Neufville e Odoni (2002).

A *matriz de impedância* define o nível de dificuldade para se transitar entre portões de embarque e desembarque (ou do ponto de acesso terrestre até os portões de acesso às aeronaves e vice-versa). Neste trabalho, o nível de dificuldade será definido como a distância de percurso, mas outras medidas poderiam ser eventualmente empregadas, como o tempo real ou uma medida modificada representando a redução da distância pelo uso de esteiras ou APM's ou a inconveniência e atrasos devidos a escadas, balcões de segurança e outras barreiras do movimento. A Tabela 4 ilustra a matriz de impedância para um caso simplificado de apenas 5 nós.

| Tabela 4: Matriz de Impedância (m) | | | | | |
|------------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Ao | Do ponto | | | | |
| Ponto | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 1 | d ₁₁ | d ₂₁ | d ₃₁ | d ₄₁ | d ₅₁ |
| 2 | d ₁₂ | d ₂₂ | d ₃₂ | d ₄₂ | d ₅₂ |
| 3 | d ₁₃ | d ₂₃ | d ₃₃ | d ₄₃ | d ₅₃ |
| 4 | d ₁₄ | d ₂₄ | d ₃₄ | d ₄₄ | d ₅₄ |
| 5 | d ₁₅ | d ₂₅ | d ₃₅ | d ₄₅ | d ₅₅ |

A *matriz de fluxo* define o volume de passageiros que se movem entre os nós origem-destino representados na matriz de impedância. Ela incorpora informações operacionais sobre o TPS,

levando em conta os padrões dos fluxos de passageiros em conexão de uma aeronave a outra, o qual análises puramente geométricas ignoram. A Tabela 5 ilustra a matriz de fluxo para um caso simplificado de 5 nós.

Tabela 5: Matriz de Fluxo (pax)

| Ao Ponto | Do ponto | | | | |
|----------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 1 | P ₁₁ | P ₂₁ | P ₃₁ | P ₄₁ | P ₅₁ |
| 2 | P ₁₂ | P ₂₂ | P ₂₂ | P ₄₂ | P ₅₂ |
| 3 | P ₁₃ | P ₂₃ | P ₃₃ | P ₄₃ | P ₅₃ |
| 4 | P ₁₄ | P ₂₄ | P ₃₄ | P ₄₄ | P ₅₄ |
| 5 | P ₁₅ | P ₂₅ | P ₃₅ | P ₄₅ | P ₅₅ |

A multiplicação das duas matrizes fornece a *matriz fluxo-impedância*, onde cada célula representa a impedância entre cada nó origem-destino, balanceada pelo número de passageiros em cada ligação. A impedância é medida em metros para serem percorridos. Desta forma, cada célula na matriz fluxo-impedância representa passageiros-metros percorridos pelo tráfego total. A soma de todos os resultados dividida pelo tráfego total fornece a distância média de percurso.

5. RESULTADOS

5.1. Cálculo da Distância de Percurso

A aplicação da metodologia fornece o cálculo das distâncias médias em função dos diversos volumes de TPS, conceitos de configuração e tipo de movimento (Tabela 6). A distância media de percurso foi calculada assumindo-se um volume de conexões de 10%.

Tabela 6: Distância de Percurso Média (m) e Custos de Percurso (US\$)

| Volume Anual | Conceito | Distância de Percurso (m) | | | | Custos de Percurso Anuais (US\$) |
|-----------------------|----------------|---------------------------|-------------|---------|-----------------|----------------------------------|
| | | Embarque | Desembarque | Conexão | Média Ponderada | |
| 500.000 Passageiros | Linear | 95 | 60 | 155 | 85 | 147.817 |
| | Pier | 156 | 154 | 226 | 162 | 280.796 |
| | Por Transporte | 96 | 94 | 107 | 96 | 166.477 |
| | Satélite | 214 | 216 | 344 | 226 | 392.634 |
| 2.000.000 Passageiros | Linear | 117 | 70 | 245 | 109 | 754.593 |
| | Pier | 245 | 251 | 357 | 259 | 1.796.877 |
| | Por Transporte | 140 | 146 | 147 | 143 | 994.544 |
| | Satélite | 270 | 277 | 408 | 287 | 1.991.544 |
| 5.000.000 Passageiros | Linear | 136 | 78 | 318 | 128 | 2.224.374 |
| | Pier | 310 | 336 | 444 | 335 | 5.813.170 |
| | Por Transporte | 160 | 186 | 164 | 172 | 2.988.992 |
| | Satélite | 302 | 328 | 428 | 327 | 5.666.215 |

De acordo com a Tabela 6, as distâncias de percurso variam em função do volume anual de passageiros. Deste modo, um terminal estilo linear está associado com distâncias médias de percurso de 85m (500 mil pax/ano), 109m (2 mi pax/ano), e 128m (5 mi pax/ano). Evidencia-se que o crescimento não é linear. A Tabela 6 também indica que as distâncias de percurso variam em função do estilo de configuração de TPS adotado. Em alguns casos, as diferenças são consideráveis.

5.2. Custos de Construção

As Tabelas 7 e 8 fornecem as áreas dos terminais e os custos de construção em função do volume de passageiros e conceito de TPS adotado.

Tabela 7: Área Total do TPS (m²)

| Conceito | Área do TPS (m ²) | | |
|----------------|-------------------------------|---------------|---------------|
| | 500.000 pax | 2.000.000 pax | 5.000.000 pax |
| Linear | 4.943 | 13.471 | 24.833 |
| Por Transporte | 3.755 | 10.206 | 20.705 |
| Pier | 5.141 | 13.228 | 26.024 |
| Satélite | 5.036 | 12.379 | 24.070 |

Tabela 8: Custos de Construção do TPS

| Conceito | Custos de Construção / Ano (US\$) | | |
|----------------|-----------------------------------|---------------|---------------|
| | 500.000 pax | 2.000.000 pax | 5.000.000 pax |
| Linear | 32.227 | 87.836 | 161.913 |
| Por Transporte | 24.482 | 66.541 | 134.999 |
| Pier | 33.518 | 86.247 | 169.674 |
| Satélite | 32.832 | 80.714 | 156.933 |

Os custos de construção foram amortizados sobre um período de 25 anos, considerando-se uma taxa de atratividade do capital de 10%/ano. A Tabela 9 apresenta dados de alguns aeroportos brasileiros, de forma a se comparar as áreas de TPS existentes com as áreas dos TPS desenvolvidos através da metodologia proposta (Tabela 9). Nota-se que em ambos os casos, os resultados são similares, ou seja, apresentam mesma ordem de grandeza.

Tabela 9: Dados de TPS de Alguns Aeroportos Brasileiros (2004)

| Aeroporto | Cidade - Estado | Capacidade Anual do TPS (pax) | Área do TPS (m ²) |
|------------------------|---------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| Vitória | Vitória – ES | 560.000 | 4.483 |
| Goiânia | Goiânia - GO | 600.000 | 7.650 |
| Augusto Severo | Parnamirim – RN | 1.500.000 | 11.560 |
| Salgado Filho – TPS II | Porto Alegre - RS | 2.100.000 | 15.540 |
| Santos - Dumont | Rio de Janeiro - RJ | 3.200.000 | 19.000 |

5.3. Evolução da Distância de Percurso

A Tabela 10 apresenta a evolução das distâncias de percurso para os vários conceitos de configurações de TPS, comparando-se as distâncias para TPS de 2mi pax/ano e 5 mi pax/ano.

Tabela 10: Taxa de Evolução da Distância de Percurso

| Conceito | Evolução da Distância de Percurso | |
|-------------|-----------------------------------|-------------------|
| | Passageiros em Conexão | Todos Passageiros |
| Linear | 30% | 18% |
| Pier | 24% | 29% |
| Transporter | 12% | 19% |
| Satellite | 5% | 14% |

Quando se considera apenas passageiros em conexão, o TPS estilo linear é associado a uma evolução de 30% na distância de percurso, o que indica que este conceito pode não ser muito

adequado a aeroportos com alto volume de tráfego de passageiros e grande volume de conexões. Por outro lado, o TPS estilo satélite apresentou uma taxa de evolução de apenas 5%, o que indica que este estilo é recomendável para altos volumes de passageiros e conexões.

5.4. Resumo

Finalmente, para facilitar a comparação entre vários conceitos de TPS, a Tabela 11 apresenta as vantagens e desvantagens relativas aos conceitos estudados em função dos critérios adotados neste trabalho.

Tabela 11: Características Relativas de Configurações de TPS

| Conceito | Vantagens | Desvantagens |
|----------------|---|--|
| Linear | - distâncias de percurso reduzidas para passageiros embarcados e desembarcados. | - distâncias de percurso superiores para passageiros em conexão, especialmente em aeroportos com alto volume de passageiros. |
| Pier | - não apresenta vantagens significativas considerando-se os critérios estabelecidos e volumes de tráfego propostos. | - altos custos de construção - distâncias de percurso superiores para os passageiros. |
| Satélite | - desempenho relativamente bom para passageiros em conexão em aeroportos com alto volume de passageiros. | - distâncias de percurso relativamente altas para passageiros embarcados e desembarcados. |
| Por Transporte | - distâncias de percurso relativamente baixas - baixos custos de construção | - não apresenta desvantagens significativas considerando-se os critérios e volumes de tráfego propostos. |

É importante considerar que outros parâmetros poderiam ser adotados para selecionar um dado conceito de TPS. O próximo item (conclusões) sugere alguns destes parâmetros, os quais não foram adotados neste estudo por restrições de tempo e recursos.

6. CONCLUSÕES

Este trabalho apresentou uma metodologia para analisar o nível de serviço oferecido por diversas configurações de TPS em função de diversos volumes anuais de passageiros e critérios adotados. O estudo de TPS existentes não é muito útil para analisar a eficiência de configurações, pois cada aeroporto foi projetado utilizando-se diferentes padrões de nível de serviço, características de tráfego e restrições de custo. Neste caso, a provisão de um método para desenvolver TPS hipotéticos oferece uma alternativa mais adequada para se analisar configurações de TPS através de um método objetivo e analítico.

Uma importante conclusão deste trabalho é que configurações de estilo linear e por transporte são mais adequadas que configurações satélite e pier, considerando-se os critérios adotados, volumes anuais de passageiros (500.000 – 5.000.000) e as condições de contorno adotadas. De Neufville et. al (2002) também encontraram que configurações lineares são mais eficientes do que configurações pier quando se considera a distância de percurso para passageiros em terminais com 20 portões de embarque e desembarque servindo grandes aeronaves comerciais. Todavia, ele não ofereceu uma análise de distâncias de percurso para diferentes níveis de volumes de passageiros, da forma que foi apresentada neste trabalho.

O cálculo dos custos de construção, tal como apresentados neste trabalho, é uma contribuição única desta pesquisa, indicando que algumas configurações de TPS apresentam economias de

espaço através do uso de espaços compartilhados (concessões, salas de embarque, etc) e centralização de operações. Neste quesito, o conceito por transporte é recomendado para utilização em projetos de TPS em aeroportos que possuem restrições de espaço.

Pesquisa futura é necessária para verificar a evolução da distância de percurso em função do percentual de conexões. Neste trabalho, este valor foi adotado como 10%, refletindo a característica dos principais aeroportos brasileiros. Todavia, este valor é muito mais elevado em aeroportos *hub*, podendo chegar a mais de 75%. Adicionalmente, mais critérios poderiam ser adotados, incluindo-se custos de taxiamento de aeronaves, área total de aeroportos e receitas totais. Com isto, poder-se-ia desenvolver uma análise mais extensiva da eficiência de configurações de TPS.

AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer à FAPESP (Fundação de Amparo à Pesquisa no Estado de São Paulo) pelo suporte oferecido nesta pesquisa.

REFERÊNCIAS

1. Bandara, S. e S. C. Wirasinghe (1992) Walking Distance Minimization for Airport Terminal Configurations. *Transportation Research A*, v. 22, n. 1, p. 59-74.
2. Caves, R. E. e C. D. Pickard (2001) The Satisfaction of Human Needs in Airport Passenger Terminals. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers*, Transport 147, February Issue I, p. 9-15.
3. Correia, A. R. (2000) *Uma Avaliação Quantitativa de Configurações de Terminais de Passageiros em Aeroportos*. Tese de Mestrado, Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos.
4. de Barros, A. G. e S. C. Wirasinghe (2003) Optimal Terminal Configurations for the New Large Aircraft Operations. *Transportation Research A*, v. 37, n. 4, p. 315-331.
5. de Neufville, R., A. G. de Barros e S. Belin (2002) Optimal Configurations of Airport Passenger Buildings for Travelers. *ASCE Journal of Transportation Engineering*, v. 121, n. 3, p. 211-217.
6. de Neufville, R. e A. Odoni (2002) *Airport Systems: Planning Design and Management*. McGraw-Hill Book Company, 1st. Edition.
7. de Neufville, R. e J. H. Stafford (1976) *Systems Analysis for Engineers and Managers*. McGraw-Hill Book Company, 1st Edition.
8. Garcia, J. M. (1993) Criterion for Commercial Space Allocation in Airport Passenger Terminals. Internal Publication of AEROSERVICE – Consulting and Design Engineering Ltd, São Paulo.
9. Hart, W. (1985) *The Airport Passenger Terminal*. John Wiley & Sons, 1st edition.
10. Horonjeff, R. e F. X. McKelvey (1994) *Planning and Design of Airports*. McGraw-Hill, 4th Edition.
11. Robusté, F. (1991) Centralized Hub-Terminal Geometric Concepts. I: Walking Distance. *Transportation Engineering Journal*, v. 117, n. 2, p. 143-158.
12. Robusté, F. e C. Daganzo (1991) Centralized Hub-Terminal Geometric Concepts II: Baggage and Extensions. *Transportation Engineering Journal*, v. 117, n. 2, p. 159-177.
13. Seneviratne, P. N. e N. Martel (1991) Variables Influencing Performance of Air Terminal Buildings. *Transportation Planning and Technology*, v. 16, N. 1, p. 1177-1179.
14. Wirasinghe, S. C., S. Bandara e U. Vandebona (1987) Airport Terminal Geometries for Minimal Walking Distances. *Transportation and Traffic Theory*, Elsevier, New York, p. 483-502.
15. Wirasinghe, S. C. e S. Bandara (1992) Planning of Paralell Pier Airport Terminals With APM Systems Under Constrained Conditions. *Transportation Research Record 1373*, National Research Council, Washington, D. C., p. 35-45.
16. Wirasinghe, S. C. (1992) Total Cost Variation for Pier Airport Terminal Configurations. Internal Publication - University of Calgary, Canada.

Anderson Ribeiro Correia (correia@ita.br)

Cláudio Jorge Pinto Alves (claudioj@ita.br)

ITA/CTA - Praça Marechal do Ar Eduardo Gomes, 50 – Vila das Acácias

12.228-901 – São José dos Campos - SP