



SPOLM 2009

ISSN 2175-6295

Rio de Janeiro- Brasil, 05 e 06 de agosto de 2009.

072/2009 - METODOLOGIA DA AMOSTRAGEM PARA O CÁLCULO DE CAPACIDADE DOS SETORES ATC

José Vagner Vital

Centro de Gerenciamento da Navegação Aérea
Avenida General Justo, 160, 4º andar – Centro – Rio de Janeiro (RJ)
vital@cgna.gov.br

Ary Rodrigues Bertolino

Centro de Gerenciamento da Navegação Aérea
Avenida General Justo, 160, 4º andar – Centro – Rio de Janeiro (RJ)
bertolino@cgna.gov.br

Isabela Gomes da Fonseca

Centro de Gerenciamento da Navegação Aérea
Avenida General Justo, 160, 4º andar – Centro – Rio de Janeiro (RJ)
isabela@cgna.gov.br

RESUMO

A metodologia para o cálculo da capacidade ATC (Controle de Tráfego Aéreo) utilizada no Brasil tem como objetivo definir o número de aeronaves que podem ser controladas, simultaneamente, por um controlador de tráfego aéreo (ATCO) em um determinado setor de Região de Informação de Vôo (FIR) ou de Área Terminal (TMA). O uso desta metodologia implica na busca de características e peculiaridades da rotina operacional dos controladores e dos tráfegos presentes no espaço aéreo avaliado. Tais dados são capturados através de criteriosas pesquisas baseadas em amostras. Para que as amostras representem o universo real é necessário definir-se o espaço amostral com determinado grau de confiança e erro amostral. Este *paper* apresenta como se utilizar as metodologias de amostragem aleatória simples para populações finita e infinita a fim de se calcular a amostra do número de controladores e quantidade de comunicações (terra-ar) a serem observadas seguindo os padrões estabelecidos. Também, é apresentado um exemplo numérico da aplicação dos métodos nos setores 2 (isolado) e 9/10 (agrupados) da FIR Curitiba no Brasil.

Palavras-Chaves: CGNA; ATFM; Capacidade ATC; Amostragem; Gerenciamento de Fluxo; ATM; Número de Controladores; Quantidade de Comunicações.

ABSTRACT

The methodology for ATC (Air Traffic Control) capacity calculation used in Brazil aims to set the number of aircraft that can be simultaneously controlled by an air traffic controller (ATCO) in a certain sector of a Flight Information Region (FIR) or Terminal Area (TMA). The use of this methodology implies in a search for the characteristics and peculiarities related to the controllers' operational routine as well as the existing traffics in the assessed airspace. These data are collected with a thorough research based on samples. In order to ensure that the samples represent the real universe it is necessary to define the sample space with specific liability level and sample error. This paper shows how to use the simple random sampling methods for finite and infinite populations can be used to calculate the number of controllers and quantity of communications (land-air) following the established standards. It is also presented a numerical example of the application of the methods in (the) sectors 2 (isolated) and 9 / 10 (combined) of (the) Curitiba FIR, in Brazil.

Keywords: CGNA; ATFM; ATC Capacity; Sampling; Flow Management; ATM; Number of of Controllers; Quantities of Communications.

1. INTRODUÇÃO

A necessidade de implantar um Sistema Centralizado de Gestão do Fluxo de Tráfego Aéreo no Brasil surgiu na metade da década de 90, após a constatação do excesso de movimentos de tráfego aéreo, em comparação com a capacidade existente, em algumas partes do espaço aéreo, especialmente, nos principais aeroportos no Brasil, localizados na Região Sudeste do país (aeroportos de São Paulo/Congonhas, Belo Horizonte/Pampulha e do Rio de Janeiro/Santos Dumont).

O Centro de Gerenciamento da Navegação Aérea (CGNA), criado em 2007, tem investido significativos esforços na capacitação de RH e no desenvolvimento de metodologias adequadas à gestão do fluxo de tráfego aéreo nas condições da infra-estrutura prevalente no Brasil. O estudo da metodologia para o cálculo da capacidade ATC, desenvolvida no Brasil, foi aceita no SAMIG 2 (*Solth American Implementation Group*) da OACI (Organização da Aviação Civil Internacional), com a finalidade de estabelecer bases de conhecimento entre os Estados da região para posterior desenvolvimento de uma metodologia regional para estes cálculos buscando, desta forma, garantir a unificação de metodologias de gestão de tráfego aéreo. Além disso, a metodologia foi apresentada em uma Nota de Estudo na OACI, em Junho/2009, na quinta reunião do Grupo de Tarefa de Gestão de Fluxo de Trânsito Aéreo nas Regiões CAR/SAM do Comitê ATM do Subgrupo ATM/CNS de GREPECAS.

Para permitir um gerenciamento de fluxo de tráfego aéreo eficaz é importante determinar a capacidade da infraestrutura do espaço aéreo. O passo anterior a essa determinação é o principal foco do estudo, onde são apresentados: os métodos de amostragem; o espaço amostral; o nível de significância; e o erro amostral tolerável para se definir o número de controladores e a quantidade de comunicações (terra-ar) a serem observadas, para se determinar o tempo médio de duração de cada mensagem (*tm*). O modelo matemático que determina a capacidade dos setores do espaço aéreo é estabelecido pela ICA 100-30 (Instrução do Comando da Aeronáutica), um documento oficial do Comando da Aeronáutica.

O item 2 deste *paper* refere-se a metodologia utilizada para a definição do espaço

amostral. O item 3 apresenta uma aplicação prática da metodologia. Os comentários e as conclusões sobre o estudo são apresentados no item 4.

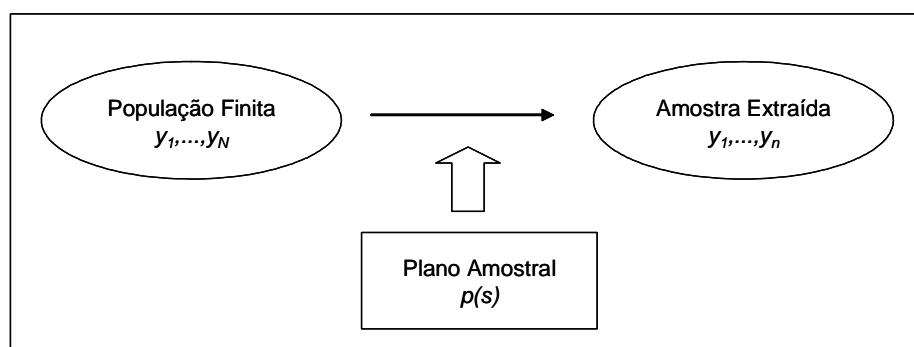
2. METODOLOGIA

Com o objetivo de obter informações sobre a população e tendo o pressuposto do alto custo para pesquisar todo o contingente de elementos, mesmo a população sendo finita, faz-se necessária a obtenção de uma amostra. O processo de escolha de elementos que pertencem a uma amostra, é denominado amostragem. A idéia básica é extrair uma fração da população (amostra) que seja representativa e permita fazer afirmações e inferências. Para que tais considerações tenham validade, deve-se garantir que a amostra tenha sido selecionada de maneira aleatória e probabilística.

Para que uma amostragem seja probabilística é necessário que ela seja oriunda de uma população finita, ou seja, $U=\{1, \dots, N\}$. A partir de uma população finita, seleciona-se uma amostra $s = \{i_1, \dots, i_N\}$, e, a essa amostra, é atribuída uma probabilidade de seleção designada por $p(s)$. A forma como o processo de seleção da amostra é executado denomina-se plano amostral ou desenho amostral. Este processo forma um conjunto bem definido de todas as amostras possíveis designado por S e também se supõe que a probabilidade de seleção de cada amostra $p(s)$ seja conhecida ou calculável.

Em relação à população, algumas suposições devem ser estabelecidas: cada elemento da mesma ($i \in U$) tem uma probabilidade não-nula de seleção e os valores de interesse da variável na população pesquisada y_1, \dots, y_N devem ser considerados fixos e desconhecidos (VIEIRA, 2001). Mantida a generalidade, pode-se também reindexar a população de maneira que a amostra selecionada seja representada pelos índices $s=\{1, \dots, n\}$. VIEIRA (2001) ressalta que apenas uma amostra $s \in S$ é escolhida utilizando-se um mecanismo de aleatoriedade de forma que s seja selecionada com probabilidade $p(s)$. Pessoa e Nascimento Silva (1998) apresentam um esquema na Figura 1 que descreve tal procedimento:

Figura 1 – Amostragem Aleatória ou Probabilística

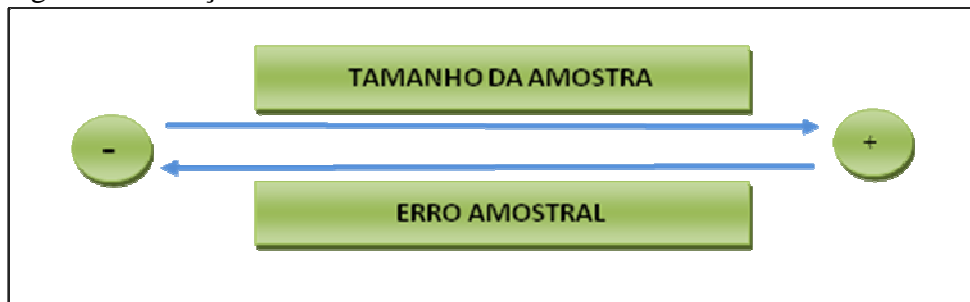


Fonte: Pessoa e Nascimento Silva (1998, p.20)

Os resultados obtidos numa pesquisa elaborada a partir de amostras não são rigorosamente exatos em relação ao universo. Esses resultados apresentam um erro de

medição denominado erro amostral (ε). Não podemos evitar a ocorrência do erro amostral, porém podemos limitar seu valor através da escolha de uma amostra de tamanho adequado. Obviamente, o erro amostral e o tamanho da amostra seguem sentidos contrários (figura 2). Quanto maior o tamanho da amostra, menor o erro cometido e vice-versa.

Figura 2 – Relação intuitiva entre o tamanho da amostra e o erro amostral



Usualmente, trabalha-se com uma estimativa de erro de 3% a 5%. No contexto dessa abordagem, a estimação dos parâmetros populacionais é feita permitindo também a estimação de sua margem de erro (PESSOA; NASCIMENTO SILVA, 1998). As técnicas de amostragem utilizadas pelo CGNA, para medir a capacidade dos setores dos órgãos ATC do SISCEAB, são a amostragem aleatória simples para população infinita e a amostragem aleatória simples para população finita. Estas técnicas foram escolhidas com o objetivo de respeitar os critérios previstos na ICA 100-30, que contém o modelo matemático que determina o número de aeronaves sob controle simultâneo de um Controlador de Tráfego Aéreo.

2.1. AMOSTRAGEM ALEATÓRIA SIMPLES PARA POPULAÇÃO INFINITA

Para se obter amostras em tamanhos compatíveis com o nível de confiança e ao erro amostral desejáveis, o CGNA utiliza a fórmula (1) para se determinar o tamanho da amostra dos parâmetros do modelo matemático que calcula a capacidade dos setores dos órgãos ATC. Como não é possível definir, com precisão, o tamanho da população destes parâmetros, utiliza-se a técnica para população infinita.

$$n = \left(\frac{Z_{\alpha/2} \cdot \sigma}{\varepsilon} \right)^2 \quad (1)$$

onde:

n = Tamanho da amostra;

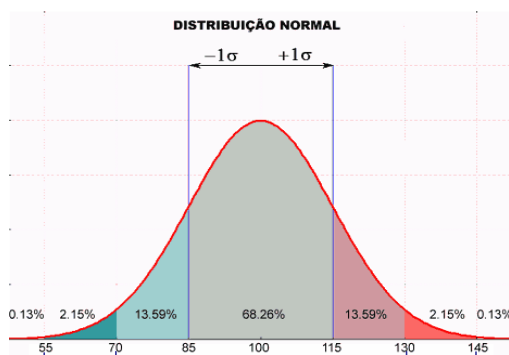
$Z_{\alpha/2}$ = Nível de confiança escolhido (95%), expresso com $Z_{\alpha/2} = 1,96$;

σ = Desvio-padrão populacional; e

ε = Erro máximo permitido.

O nível de confiança da amostra refere-se à área da curva normal definida a partir dos desvios-padrão em relação à sua média, conforme a figura 3:

Figura 3: Distribuição Normal



1 desvio-padrão = 68,3% de representatividade;

2 desvios-padrão = 95,5% de representatividade; e
3 desvios-padrão = 99,7% de representatividade.

Os valores de confiança mais utilizados e os valores de Z correspondentes podem ser encontrados na tabela 1.

Tabela 1: Valores críticos associados ao grau de confiança na amostra

Grau de Confiança	α	Valor Crítico $Z_{\alpha/2}$
90%	0,10	1,645
95%	0,05	1,96
99%	0,01	2,575

O nível de confiança adotado no estudo é de 95% de confiabilidade e o erro máximo tolerável é de 5%.

Como σ é um parâmetro populacional desconhecido, podemos utilizar um valor preliminar obtido pela realização de um estudo piloto, iniciando o processo de amostragem. Com base na primeira coleta de dados de pelo menos 30 observações amostrais, calcula-se o desvio-padrão amostral S e utiliza-o no lugar de σ .

As amostras excessivamente pequenas podem levar a resultados não confiáveis. Qualquer resultado obtido pela fórmula do tamanho da amostra que seja menor do que 30, deve ser aumentado para 30, pois a mesma é baseada no uso da distribuição Normal.

2.2. AMOSTRAGEM ALEATÓRIA SIMPLES PARA POPULAÇÃO FINITA

No caso da definição da quantidade mínima de controladores a serem observados em cada órgão, a técnica de amostragem mais indicada é a amostragem aleatória simples para população finita. A fórmula abaixo determina o tamanho da amostra:

$$n = \frac{Z_{\alpha/2}^2 \cdot p \cdot q \cdot N}{\epsilon^2 \cdot (N - 1) + Z_{\alpha/2}^2 \cdot p \cdot q} \quad (2)$$

onde:

n = Tamanho da amostra;
 $Z_{\alpha/2}$ = Nível de confiança escolhido (95%), expresso com $Z_{\alpha/2} = 1,96$;
 p = Proporção populacional de indivíduos que pertence à categoria de interesse;
 q = Proporção populacional de indivíduos que não pertence à categoria de interesse ($q=1-p$);
 N = Tamanho da população; e
 ε = Erro máximo permitido.

Também neste caso, se o valor de n for inferior a 30, deverá ser aumentado para 30.

No estudo em questão, p equivale à probabilidade de um controlador ser escalado em um dia, ou seja, um dia possui x turnos de trabalho, então a probabilidade do controlador ser escalado para um dos turnos é de x dividido pelo total de controladores vezes a quantidade de setores, como mostra a fórmula abaixo:

$$p = \frac{x}{N} \bullet \text{quantidade de setores} \quad (3)$$

3. APLICAÇÕES

Segundo a ICA 100-30, o modelo matemático para cálculo do número de aeronaves simultaneamente controladas por um controlador em um setor ATC é expresso pela fórmula (4):

$$N = \frac{f \cdot T}{n \cdot tm} \quad (4)$$

onde:

N = número de aeronaves controladas simultaneamente, por um controlador;
 f = fator de disponibilidade do controlador, em percentagem;
 T = tempo médio percorrido pela aeronave no setor;
 n = número médio de comunicações de cada aeronave no setor; e
 tm = tempo médio de duração de cada mensagem, em segundos.

Para se obter as amostras em tamanhos compatíveis ao nível de confiança e ao erro amostral desejáveis será utilizada a fórmula (1) para determinar o tamanho da amostra dos parâmetros do modelo matemático que calcula a capacidade dos setores dos órgãos ATC e a fórmula (2) para o número mínimo de controladores a serem considerados nas tomadas de tempo.

Os dados necessários foram coletados nas gravações de áudio de comunicações VHF das fitas dos setores 02 e 09, do ACC-CW, do dia 16 de março de 2009. Esse dia foi considerado, por conhecimento prévio da equipe, um dia típico comparado aos demais dias do ano. O tempo total de áudio das fitas foi de 125 minutos nos seguintes horários: de 10:29 à 11:14 UTC e de 11:14 à 12:14 UTC (setor 02); de 22:58 à 23:25 UTC e de 23:25 à 23:58

UTC (setor 09). Esses horários foram escolhidos por serem os períodos do dia com maior fluxo de tráfego aéreo, ou seja, horários de pico de tráfego.

A fórmula (1) foi empregada no cálculo de amostragem, considerando 95% de confiança e um erro amostral de 5%. Dos dados coletados nas gravações, obteve-se o desvio-padrão amostral (S) do parâmetro tm (tempo médio de duração de cada mensagem, em segundos) igual a 12,31 (setor 02) e 11,72 (setor 09), de 137 e 122 medições, respectivamente. Aplicando-se esses dados na fórmula (1), chegou-se ao seguinte resultado:

$$\text{Setor 02} \rightarrow n = \left(\frac{Z_{\alpha/2} \cdot S}{\varepsilon} \right)^2 = \left(\frac{1,96 \cdot 12,31}{5} \right)^2 = 23,299 \quad (5)$$

$$\text{Setor 09} \rightarrow n = \left(\frac{Z_{\alpha/2} \cdot S}{\varepsilon} \right)^2 = \left(\frac{1,96 \cdot 11,72}{5} \right)^2 = 21,105 \quad (6)$$

Conforme dito, anteriormente, qualquer valor obtido pela fórmula inferior a 30 deve ser aumentado para 30. Desta forma, o número mínimo de repetições para medir o tm deverá ser pelo menos 30.

O cálculo do número mínimo de controladores a serem considerados nas tomadas de tempo deve considerar as peculiaridades de operação de cada ACC. No caso do ACC CW, considerou-se que o Centro possui cerca de 130 controladores na escala de 4 turnos diários, podendo assumir posições em qualquer um dos 10 setores. Utilizando estas informações e a fórmula (3), obtém-se:

$$p = \frac{4}{N} \cdot \text{quantidade de setores} = \frac{4}{130} \cdot 10 = 0,31 = 31\% \quad (7)$$

Considerando-se 95% de confiança, 5% de tolerância, N igual a 130 e p igual a 0,31, através da fórmula (2), encontra-se o seguinte resultado:

$$n = \frac{Z_{\alpha/2}^2 \cdot p \cdot q \cdot N}{\varepsilon^2 \cdot (N - 1) + Z_{\alpha/2}^2 \cdot p \cdot q} = \frac{1,96^2 \cdot 0,31 \cdot 0,69 \cdot 130}{0,05^2 \cdot (130 - 1) + 1,96^2 \cdot 0,31 \cdot 0,69} = 94 \text{ controladores}$$

O alto tamanho da amostra em relação à população (72%) se justifica pelo tamanho total da população ser considerado pequeno. Quanto menor o tamanho da população, mais próximo desse valor será o valor do tamanho da amostra. No entanto, esta amostra poderá ser diluída pela quantidade de setores do órgão. No caso do ACC CW, os 94 controladores selecionados poderão ser divididos pelos 10 setores existentes, ou seja, em cada setor deverá ser coletado, pelo menos, 9 controladores.

Vale destacar, que as técnicas de amostragem revelam valores mínimos de amostras relevantes. Por tanto, sempre que houver oportunidade de coletar mais amostras, de acordo

com o tempo e custos disponíveis, aconselha-se coletar um número maior de amostras. Como dito anteriormente, quanto maior a amostra, mais preciso será o estudo.

Nesse estudo, o parâmetro T (tempo médio percorrido pela aeronave no setor) foi gerado pelo sistema SINCROMAX e o parâmetro f utilizado foi estimado de estudos anteriores. Nos levantamentos realizados presencialmente nos ACC's, estes parâmetros deverão ser medidos em loco para se obter uma medição exata da realidade.

4. COMENTÁRIOS E CONCLUSÕES

Através da técnica de amostragem aleatória simples para população infinita, utilizando um nível de confiança de 95% e um erro amostral tolerável de 5%, chegou-se a conclusão de que o número de observações mínimo para a obtenção do parâmetro tm nos setores 2 e 9/10 do ACC CW é de 30 observações para cada controlador, nos horários de pico de tráfego aéreo.

Através da técnica de amostragem aleatória simples para população finita, utilizando um nível de confiança de 95% e um erro amostral tolerável de 5%, chegou-se a conclusão de que o número mínimo de controladores a serem considerados nas tomadas de tempo é de 94 ATCO. Esse número pode ser diluído pelos 10 setores existentes do ACC CW, logo, o número mínimo é de 9 controladores por setor.

De acordo com a metodologia, para se calcular o tm dos setores 2 e 9/10 da FIR Curitiba é necessário observar 09 controladores efetuando 30 comunicações cada, o que dará um total de 270 comunicações por setor ATC.

Dentro dos recursos disponíveis, sugere-se coletar o maior número possível de observações e de controladores do órgão. Esta recomendação serve para compensar os eventuais descartes de *outliers* (valores extremos) e para minimizar qualquer tipo de tendência existente, como por exemplo: controladores e/ou pilotos que prolongam ou reduzem em excesso a comunicação podem provocar uma tendência de aumento/diminuição do tm .

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Concepção Operacional de Centro de Gerenciamento da Navegação Aérea (CGNA)
- [2] Informe da Décima Primeira Conferência de Navegação Aérea da OACI, Montreal, setembro de 2003;
- [3] Anexo 11, Serviços de Trânsito Aéreo - OACI;
- [4] ICA 100-30 - Planejamento de pessoal ATC, de 17 de janeiro de 2008;
- [5] Gravação de fita do setor 02 do dia 16 de março de 2009, de 10:29 à 11:14 UTC e de 11:14 à 12:14 UTC;

- [6] Gravação de fita do setor 09 do dia 16 de março de 2009, de 22:58 à 23:25 UTC e de 23:25 à 23:58 UTC;
- [7] COCHRAN, W. G. Técnicas de Amostragem. 3.ed. New York: Jonh Wiley and Sons, 1977;
- [8] VIEIRA, M. T. Um estudo comparativo das metodologias de modelagem de dados amostrais complexos – uma aplicação ao SAEB 99. Rio de Janeiro, 2001. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro;
- [9] PESSOA, D. G. C.; NASCIMENTO SILVA, P. L.; DUARTE, R. P. N. Análise estatística de dados de pesquisas por amostragem: problemas de uso de pacotes padrões. Revista Brasileira de Estatística, 1997;
- [10] TRIOLA, Mário F. Introdução à Estatística. 7ª Ed. Rio de Janeiro: LTC, 1999; e
- [11] ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas): 10719/89 de agosto de 1989.