

# CAPÍTULO 2 – Teoria de Tráfego

## 2.1 - INTRODUÇÃO

O objetivo da engenharia de tráfego consiste em prover serviços de comunicação em uma determinada área geográfica, que possui um determinado número de usuários caracterizados por certos hábitos de utilização, obedecendo um certo grau de serviço (GOS) [1].

O GOS é definido como o valor percentual da probabilidade de bloqueio, ou seja, a probabilidade de que o assinante não consiga acesso imediato ao serviço por inexistência de canal disponível no momento da ligação [1]. Um sistema superdimensionado pode prover graus de serviço baixíssimos (no limite, uma rede de transmissão sem falhas terá GOS igual a zero) mas não será economicamente viável. Por outro lado, um sistema com alto GOS também perderá receita, seja pela insatisfação do usuário, sua redução de utilização do serviço, eventual migração para uma operadora concorrente ou pela própria perda das conexões demandadas. Estabelecer e garantir um GOS que represente um bom compromisso entre o custo de implantação e operação do sistema e uma boa receita e satisfação do usuário, é o propósito da engenharia de tráfego [1][6][10][11].

## 2.2 – OBJETIVO DA TEORIA DE TRÁFEGO

Os sistemas telefônicos são planejados para que as chamadas realizadas pelos assinantes tenham alta probabilidade de sucesso, mesmo nos períodos de tráfego telefônico mais intenso, ou seja, nas chamadas horas de maior movimento (HMM). Segundo a definição do ITU-T, a HMM é o período de 60 minutos do dia no qual a intensidade de tráfego de um canal é máxima, tomada a média dos valores nos dias da semana. As literaturas apresentam divergências quando se referem ao que ocorre na

prática, pois apesar de em [11] considerar que a HMM corresponde usualmente a apenas 25 minutos, em [6][10] consideram 15 minutos (CCITT,1964).

A quantidade de canais e equipamentos de comutação necessários para o fluxo do tráfego telefônico é dimensionada de tal modo que, durante as HMM, somente uma porcentagem muito pequena (em geral previamente estabelecida) de ligações solicitadas não possa ser estabelecida, pelo menos não imediatamente, por falta de canais, caracterizando as ligações perdidas ou em espera.

Visto que os assinantes que representam as fontes de tráfego iniciam suas ligações de maneira aleatória e independente uns dos outros e realizam chamadas de durações diferentes, a quantidade de canais ocupados, simultaneamente, será sempre variável. No entanto, podem ser observadas regularidades quase periódicas devidas, por exemplo, às estações do ano, como também diferenças entre os diversos dias da semana.

As variações mais marcantes são as que se apresentam ao longo do dia. Como as centrais de comutação e controle são dimensionadas de modo que o escoamento do tráfego se realize sem dificuldades para o atendimento dos assinantes, ou seja, com o GOS estipulado inclusive nas HMM, todo o planejamento e dimensionamento do tráfego telefônico são realizados em função das estatísticas da HMM de um dia normal da semana, da temporada de maior tráfego [6][10][11].

A Teoria de Tráfego fornece melhorias analíticas e/ou simulações de forma a estudar o comportamento do sistema de acordo com o perfil de tráfego oferecido e assim dimensiona-lo, observando os critérios de Qualidade de Serviço (QoS). Esse método foi desenvolvido inicialmente por A. K. Erlang [6][10].

## **2.3 - TIPOS DE TRÁFEGO**

### **2.3.1 – Demanda**

Quando se deseja implantar um serviço completamente novo em uma comunidade, depara-se com a dúvida de qual será a demanda que aquela população

fará ao sistema. Essa demanda representa uma intenção de utilizar o serviço, mas ela não é ainda um valor de tráfego [11].

Para determinar a demanda muitos aspectos são levados em consideração, um deles é o poder aquisitivo da população. Se, por exemplo, esse poder aquisitivo for bom, muitos poderão dispor dos serviços e gerar tráfego. Entretanto se a prestação de serviço não for satisfeita a população deixará de utilizá-lo substituindo-o por outros meios de comunicação. Logo, esse tráfego que era esperado deixará de existir. Da mesma forma, um bom serviço de telecomunicações poderá propiciar o aparecimento de uma certa demanda, que desaparecerá se a qualidade dos serviços deixar a desejar.

### **2.3.2 – Tráfego Oferecido**

Parte da demanda telefônica se traduz em tentativa de efetuar chamadas. Num sistema telefônico pode haver uma promessa de alguém telefonar e não o fazer, isto é, pode existir a demanda, mas não se efetivar em uma oferta de tráfego. Por outro lado, o tráfego oferecido é um fato real, acontecido, embora seja difícil de ser medido e seja, por isso, apenas estimado [6][10][11]. Por exemplo, o assinante levantou o fone, exigiu órgãos da central e tentou fazer uma ligação. Mesmo que não o tenha conseguido, houve tráfego em alguns órgãos da central devido a essa tentativa.

### **2.3.3 – Tráfego Escoado**

Do total de tráfego oferecido uma parte não consegue se completar, ou pela desistência do assinante em discar todos os dígitos, ou por não conseguir canal para processar sua chamada etc. Mas, à parte do tráfego que foi aceita pela central e processada é chamada de tráfego escoado. Mesmo esse tráfego escoado nem sempre significará sucesso para o assinante. Pode ser, por exemplo, que ele tenha discado um número errado. Ao atenderem do outro lado, ele constatará o engano e tentará novamente. Pode também acontecer de o “assinante destino” não estar em casa e a

chamada não se efetivar, apesar de o tráfego oferecido ter sido aceito e processado pela central telefônica [11].

Parte do tráfego escoado se transforma em conversação, que é o resultado final de todo o esforço até aqui realizado. É também no final das atividades de construção da chamada e no momento que o “assinante destino” atende que tem início a tarifação [6][10][11].

#### 2.3.4 – Congestionamento

Quando se oferece um certo tráfego a um sistema, haverá congestionamento se o número de meios colocados à disposição não for suficiente para escoar todas as chamadas. Portanto, um sistema apresenta perdas quando uma nova chamada aparece e encontra uma situação de congestionamento, isto é, naquele instante todos os canais estão ocupados. Existem dois tipos de congestionamentos, são eles:

Congestionamento de tempo, como sendo a relação entre a somatória dos intervalos de tempo de congestionamento e o período de observação [11].

$$B = \frac{\sum t_i}{T} \quad (2.1)$$

sendo:  $t_i$  = Intervalos de tempo em que o sistema apresentou congestionamento;

$T$  = Período de observação.

Porém o congestionamento de tempo não diz tudo a respeito do sistema. Uma nova chamada só seria recusada se ela surgisse justamente quando todos os circuitos estivessem ocupados. Poderia até acontecer que o sistema apresentasse congestionamento de tempo e nenhuma nova chamada tivesse sido recusada. Assim é necessário um novo conceito, o chamado congestionamento de chamadas, que é a relação entre o número de chamadas recusadas pelo sistema e o número total de chamadas que tentam o acesso a esse mesmo sistema [11].

$$B = \frac{p}{n + p} \quad (2.2)$$

sendo:  $p$  = Número de chamadas recusadas pelo sistema;

$n$  = Número de chamadas aceitas pelo sistema.

### 2.3.5 – Perdas

Quando se trabalha com sistemas de número infinito de fontes (apesar de saber que isso é impossível na prática, adota-se um número muito grande de fontes), as perdas devidas a congestionamento de tempo e congestionamento de chamadas se confundem e se diz simplesmente perdas no sistema [11].

As perdas num sistema são o resultado do congestionamento.

## 2.4 - UNIDADES DE MEDIDAS DE TRÁFEGO

A intensidade de tráfego é uma medida da densidade de tráfego. Apesar da intensidade de tráfego ser quase sempre representada pela unidade erlang ela é uma quantidade adimensional. O valor numérico da intensidade de tráfego indica o número médio de chamadas efetuadas, simultaneamente, isto é, o número médio de canais ocupados ao mesmo tempo. Um só canal ocupado continuamente corresponde, portanto, a um tráfego com o valor de 1 Erl [6][10].

As unidades usuais de tráfego são [6][10]:

- *Erlang* (Erl), *Traffic Unit* (TU) e *Verkehseinheit* (VE): O valor numérico indica a quantidade média de chamadas simultâneas;
- *Cent Call Seconds* (CCS), *Hundred Call Seconds* (HCS) e *Unit Call* (UC): O valor numérico indica a quantidade de chamadas por hora, tomando-se por base um tempo médio de 100s;
- *Appels réduits à l'heure chargée* (ARHC) e *Equated Busy Hour Call* (EBHC): O valor numérico indica a quantidade média de chamadas por hora, tomando-se por base um tempo médio de chamadas de 120s.

O tráfego é definido para estas unidades como [6][10]:

$$\text{Tráfego}(Erl, TU, VE) = \frac{\text{Número de chamadas} \times \text{Tempo médio de chamada (min)}}{60} \quad (2.3)$$

$$\text{Tráfego}(CCS, HCS, UC) = \frac{\text{Número de chamadas} \times \text{Tempo médio de chamada (s)}}{100} \quad (2.4)$$

$$\text{Tráfego}(ARHC, EBHC) = \frac{\text{Número de chamadas} \times \text{Tempo médio de chamada (s)}}{120} \quad (2.5)$$

Disso resultam as seguintes relações de conversão [6][10]:

**Tabela 2.1 – Relações de conversão entre as diversas unidades**

	Erl TU VE	CCS HCS UC	ABHC EBHC
1 Erl = 1 TU = 1 VE =	1	36	30
1 CCS = 1 HCS = 1 UC =	$\frac{1}{36}$	1	$\frac{5}{6}$
1 ARHC = 1 EBHC =	$\frac{1}{30}$	$\frac{6}{5}$	1

Qualquer uma das unidades de intensidade de tráfego pode ser usada na determinação do número total de canais requeridos para satisfazer o GOS desejado no sistema. Porém, em 1946, o CCITT padronizou o erlang (Erl) como unidade oficial [1][6][10][11].

## 2.5 – PARÂMETROS DE QUALIDADE DE SERVIÇO PARA A ANÁLISE DE TRÁFEGO NA REDE MÓVEL CELULAR

A QoS são parâmetros ou medidas que quantificarão, monitorarão e controlarão o desempenho do sistema sob determinadas situações de tráfego, que esse se submeterá durante sua operação. Esses parâmetros ou medidas estão associados com a técnica de alocação de canal escolhida durante o planejamento do sistema [7].

Para manter a Qualidade de Serviço (QoS) prestada é necessário o uso eficiente do espectro de frequência. A eficiência espectral está intimamente ligada ao uso eficiente dos recursos econômicos disponíveis para o sistema, uma vez que, o uso eficiente do espectro permite que a área geográfica a ser atendida, possa ser coberta da melhor forma possível, diminuindo o número de Estações Radio Bases (ERB) no sistema, e com isso, diminuindo o custo de implantação e manutenção do mesmo.

### 2.5.1 – Parâmetro para a Análise Local

Pesquisas nessa área, visam definir os parâmetros de QoS destinados à avaliação de desempenho da rede celular. Assim como na rede de telefonia fixa, um parâmetro amplamente aceito na análise de desempenho da rede móvel celular é a probabilidade de bloqueio ( $P_B$ ) de uma nova chamada, que expressa a percentagem de chamadas que não são atendidas pelo sistema, ou seja, que são bloqueadas devido à indisponibilidade de canais no momento do acesso inicial. Esse parâmetro é representado pela fórmula de Erlang B, que é definida como [6][7][10][11]:

$$P_B = \frac{(\lambda \times t)^C}{C! \sum_{K=0}^C \frac{(\lambda \times t)^K}{K!}} \quad (2.6)$$

Sendo  $\lambda$  é a razão de chegada de chamadas totais dentro de cada célula,  $t$  é o tempo em que a chamada retém o canal ocupado,  $C$  é o número de canais necessários para obedecer a um determinado GOS [6][10][11].

### 2.5.2 – Parâmetro para a Análise Global

O parâmetro de QoS para análise global da rede celular é calculado a partir das probabilidades de bloqueio ( $P_B$ ) em cada célula da seguinte forma: Dado  $N$ , o número de células do sistema e  $\lambda$  as razões de chegadas de chamadas totais dentro de cada célula, a probabilidade global de bloqueio da rede ( $\bar{P}_B$ ), é definida como [4][7]:

$$\bar{P}_B = A^{-1} \sum_{i=1}^N P_i \lambda_i \quad (2.7)$$

Sendo  $A = \lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_N$ , ou seja, o somatório das razões de chegadas de chamadas de todas as células e  $P_i$  ( $i=B$ ) é o parâmetro local de QoS.

### 2.5.3 – Desvio de Serviço

O desvio de serviço é um parâmetro pouco citado na literatura, mesmo tendo uma profunda relevância na análise de desempenho da rede móvel celular, pois mostra o exato momento em que algumas células da rede começam degradar a QoS [7]. Ele é definido como a variação entre as células da probabilidade de bloqueio de uma nova chamada [4]. Para medir essa quantidade, utiliza-se uma classe de medidas denominadas de bloqueio excessivo de ordem  $p$ , apresentada em [4], é representada por  $EB(p)$   $p \geq 1$ . Essa medida tem as seguintes características [4]:

- I) Uma exigência da QoS é que o bloqueio de novas tentativas de acesso façam referência ao GOS da rede celular (2%);
- II) Como as diferentes células têm diferentes razões de tráfego, as células com maior razão de tráfego devem ter um maior peso no cálculo do desvio de serviço, ou seja, a classe de medidas da  $EB(p)$  é ponderada pelas razões de tráfego em cada célula;



- III) Penalizam apenas as células acima do GOS, pois elas são o bloqueio excessivo. As que possuem bloqueio abaixo do GOS, não devem ser computadas na função penalidade;

Assim,  $EB(p)$  é definida da seguinte forma [4]: Dado o conjunto de células com a probabilidade de bloqueio local  $P_B$  acima de 2%, a classe de medidas  $EB(p)$ ,  $p \geq 1$ , é:

$$EB(p) = \left[ \sum_{i \in I} (P_{Bi} - 0.02)^p \frac{\lambda_i}{\Lambda} \right]^{1/p}, p = 1, 2, \dots \quad (2.8)$$

Quando  $p$  assume o valor 1,  $EB(p)$  torna-se o bloqueio excessivo médio geral. Ele penaliza os desvios médios a partir de 2%. Quando  $p$  assume o valor 2,  $EB(p)$  é chamado de bloqueio excessivo rms [4][7]. Assim, com o aumento de  $p$ , mais e mais desvios são penalizados. Uma medida típica de  $p$ , e bem definida, é o valor de  $p$  igual a 2 [4][7].