

MODELAGEM DE APLICAÇÕES CRÍTICAS EM REDES LOCAIS
COM PASSAGEM DE FICHA

MARCOS A.G. BRASILEIRO
DEE/GRC/UFPb

JOSÉ ANTÃO B. MOURA
DSC/GRC/UFPb

RESUMO:

Várias aplicações podem estar presentes numa Rede Local de computadores, compartilhando a subrede de comunicação e outras facilidades. Dentre estas aplicações, algumas denominadas de críticas, têm requisitos bastante exigentes com relação ao desempenho da Rede. Neste artigo, apresentamos uma especificação formal das Aplicações Críticas com Medida de Limite Superior. Também, um modelo para a subrede de comunicação que capta a integração das aplicações, para Redes com Passagem de Ficha, é apresentado. Baseados na especificação formal da Aplicação Crítica e no modelo para a subrede, mostramos os procedimentos para o julgamento da criticidade de uma aplicação numa Rede Local com Passagem de Ficha.

1. INTRODUÇÃO:

A grande popularidade das Redes Locais de computadores, tem sugerido o seu uso em um largo espectro de aplicações, (e.g. automação de escritório, controle de processos, processamento distribuído). Esta integração de tráfegos (aplicações) heterogeneos é economicamente justificada uma vez que se otimiza a utilização das facilidades de transmissão e equipamentos da Rede [GITM 78].

A grande maioria das Redes em operação foram projetadas para transmitir especificamente dois tipos de tráfego de dados, caracterizados basicamente por: Tráfego Iterativo e Transferência de Arquivos. Para estes tipos de aplicação, as medidas de desempenho relevantes são fornecidas através de médias de Distribuições de Probabilidade (e.g. tempo médio de atraso versus vazão).

Com o crescente uso das Redes de computadores como meio de transporte para outras aplicações com requisitos diversos e até críticos, se faz necessária uma análise do desempenho dessas Redes, quando diversas aplicações estão competindo pelas suas facilidades. O modelo usado para esta avaliação deve captar o fenômeno da integração dessas aplicações como também prover as medidas relevantes para cada aplicação.

Numa integração de aplicações, cada aplicação tem medidas relevantes e requisitos diferentes. Particularmente, numa população de usuários poderá haver aplicações com requisitos extremamente exigentes com relação ao desempenho da Rede. Por exemplo, na transmissão de voz, o número de pacotes cujo tempo de atraso é maior que um tempo limite, deve ser mantido baixo, quando se pretende uma boa intelegibilidade do tráfego de voz reconstituído no destino. Portanto, apenas o conhecimento das médias das distribuições de probabilidade é insuficiente para a análise da integração de aplicações.

As aplicações com requisitos bastante exigentes com relação ao desempenho da rede são denominadas de 'Aplicações Críticas'. É exatamente para essas aplicações que o modelo deve proporcionar meios para se julgar a influência das demais aplicações numa Aplicação Crítica específica. Portanto, para um tratamento formal do estudo da integração de aplicações, se faz necessário convencionarmos a especificação das Aplicações Críticas. Decorrente dessa formalização e da solução do modelo para a integração de aplicações, fornecemos o procedimento formal para o julgamento da criticidade de uma aplicação.

Em [BRAS 87], uma especificação formal para as

Aplicações Críticas, quando presentes nas Redes Locais sugeridas pelo padrão IEEE 802 [IEEE 82]; Anel com Ficha, Barra com Ficha e CSMA/CD, é apresentada. Neste artigo, consideramos as Aplicações Críticas denominadas 'Aplicação com Medida de Limite Superior' (e.g. tempo de resposta), nas Redes Locais com Passagem de Ficha. Para as Aplicações Críticas supracitadas, a solução do modelo para a Rede em consideração, prover a distribuição do tempo de atraso. Para essas aplicações, uma medida relevante é a probabilidade, $\Pr[t > T_1]$, onde T_1 é uma característica da aplicação. Portanto, o julgamento sobre a criticidade da aplicação consiste na determinação dessa probabilidade e na sua comparação com a probabilidade aceitável, formalmente especificada na aplicação.

O artigo se apresenta com a seguinte organização: na secção 2, mostramos uma caracterização formal de Aplicações Críticas com Medida de Limite Superior. Na secção 3, apresentamos o modelo e solução para a subrede de comunicação e mostramos os procedimentos para o julgamento da criticidade da aplicação. Em seguida, na secção 4, um estudo de caso e considerado, para exemplificarmos os procedimentos da secção anterior. Finalmente na secção 5, apresentamos as conclusões e sugestões para continuação desta linha de pesquisa.

2. APLICAÇÃO CRÍTICA COM MEDIDA DE LIMITE SUPERIOR:

Os requisitos de desempenho para cada aplicação numa Rede Local de computadores podem ser caracterizadas por um conjunto $\{m\}$ de medidas:

$$\{m\} = \{m_1, m_2, m_3, \dots, m_k\}$$

onde m_i ($1 \leq i \leq k$) é uma medida relevante à aplicação. Por exemplo, m_i e m_j poderiam ser o tempo de resposta e a vazão, respectivamente, para a aplicação Transferência de Arquivos.

Seja $[m_i]$ um valor da medida m_i . Portanto, para

cada conjunto 'm', existe um conjunto {M}:

$$\{M\} = \{[M_1], [M_2], [M_3], \dots, [M_k]\}$$

cujos elementos são valores limites para cada medida em 'm'. Por exemplo, para a aplicação Transmissão de Voz em Tempo Real; $[M_i]$ poderia ser o atraso máximo admissível por pacote. A cada valor limite $[M_i] \in \{M\}$, existe uma probabilidade de tolerância definida por:

$$f_i = \text{Prob} (|[m_i] - [M_i]| > 0)$$

Denotemos por {f} o conjunto das probabilidades de tolerância f_i , associadas a cada $[M_i] \in \{M\}$.

Consideraremos neste trabalho as Aplicações com Medidas de Limite Superior. Denominamos de Aplicação com Medida de Limite Superior, àquelas aplicações para as quais as medidas relevantes, $m_i \in \{m\}$, têm probabilidade de tolerância definida por:

$$f_i = \text{Prob} ([m_i] > [M_i])$$

Outros tipos de Aplicações Críticas são abordadas em [BRAS 87].

Para cada Rede Local, existe uma Distribuição de Probabilidade, $P_i(m_i)$, associada a cada medida $m_i \in \{m\}$. Seja $p_i(m_i)$ a função densidade de probabilidade relativa à $P_i(m_i)$. Consequentemente, para cada conjunto {m}, existe um conjunto {p} dado por:

$$\{p\} = \{p_1(m_1), p_2(m_2), p_3(m_3), \dots, p_k(m_k)\}$$

Uma aplicação com Medidas de Limite Superior, formalmente especificada pelos conjuntos: {m}, {M} e {f}, é dita ser crítica com relação a uma Rede Local, caracterizada pelo conjunto {p}, se existe uma medida $m_i \in \{m\}$, para a qual uma das expressões que se seguem, se verifica:

$$\lim_{x \rightarrow \infty} \left[\int_{[M_i]}^x p_i(m_i) d[m_i] \right] = f_i^* = f_i - \epsilon \quad (2.1)$$

para $p_i(m_i)$ contínua, e;

$$\lim_{[m_i] \rightarrow \infty} \left[\sum_{[M_i]} p_i(m_i) \right] = f_i^* = f_i - \epsilon \quad (2.2)$$

para $p_i(m_i)$ discreta, ϵ é um real tal que $\epsilon \rightarrow 0$.

O conjunto dos $\{f_i^*\}$ que satisfazem as equações acima é denominado 'Conjunto de Probabilidades de Tolerância Crítica', e é representado por $\{f_i^+\}$. O conhecimento deste conjunto é de primordial importância para o julgamento da criticidade de uma aplicação com relação ao desempenho da Rede. Portanto, especificado o conjunto:

$$\{f\} = \{f_1, f_2, f_3, \dots, f_k\}$$

Podemos determinar através das Equações (2.1) e (2.2) o conjunto:

$$\{f\} = \{f_1^*, f_2^*, f_3^*, \dots, f_k^*\}$$

Por conseguinte, uma aplicação é crítica se existir um $f_i \in \{f\}$ tal que $f_i = f_i^* - \epsilon$, $\epsilon \rightarrow 0$, para todo $f_i^* \in \{f^+\}$. Consequentemente, uma Rede de computadores é adequada como meio de transporte para os pacotes de uma aplicação, se $f_i \geq f_i^*$, para todo $f_i \in \{f\}$ e $f_i^* \in \{f^+\}$. Caso exista pelo menos um $f_i < f_i^*$, a Rede em consideração não satisfaz os requisitos da aplicação.

Para se julgar a criticidade de uma aplicação necessitamos de sua especificação formal, ou seja o conhecimento dos

conjuntos: $\{m\}$, $\{M\}$ e $\{f\}$. Também se faz necessária a determinação dos conjuntos $\{f\}$ e $\{f^*\}$ que caracterizam a Rede, os quais dependem da topologia, velocidade de transmissão, protocolos de comunicação, etc. Na determinação dos conjuntos $\{f\}$ e $\{f^*\}$, necessitamos de um modelo que proporcione a determinação das Distribuições de Probabilidade para as diversas medidas relevantes à aplicação. Para exemplificarmos o julgamento da criticidade de uma aplicação, consideraremos na secção que se segue, o modelo para uma Rede Local com Passagem de Ficha.

3. MODELO PARA ANÁLISE DE APLICAÇÕES CRÍTICAS NO TEMPO:

Apresentaremos nesta secção o modelo para as Redes com Passagem de Ficha [IEEE 82], que capta a influência da integração de aplicações. Em seguida, mostramos os procedimentos para o julgamento sobre a criticidade de uma aplicação.

3.1 - Modelo da Rede

A solução para as Redes do tipo 'Passagem de Ficha', é semelhante à de filas com serviço cíclico. Filas com serviço cíclico têm recebido uma atenção considerável na literatura, [AVI-65] [TAKÁ 68] [COOP 69] [EISE 71] [HASH 72] [KUEH 79] [TRAN 85]. Devido à intratabilidade matemática da maioria dos problemas de filas cíclicas, vários métodos de aproximação são sugeridos [LEIB 61] [HALF 75]. Os métodos de aproximação, em geral, se baseiam em suposições simplificadoras, tais como 'independência dos processos estocásticos' de uma referida fila com relação aos processos do restante da população. Neste trabalho, consideraremos a solução de filas com serviço cíclico não exaustivo, i.e., a cada visita da ficha a uma determinada interface, apenas um pacote é servido. Para melhor refletir a realidade no modelo considerado, definiremos o conceito de Ciclos Condicionais para a ficha, que serão usados na determinação da distribuição de Probabilidade do Ciclo da Ficha.

Consideremos uma Rede Local com Passagem de Ficha e uma população heterogênea de N usuários (aplicações) como mostra a Figura 3.1.

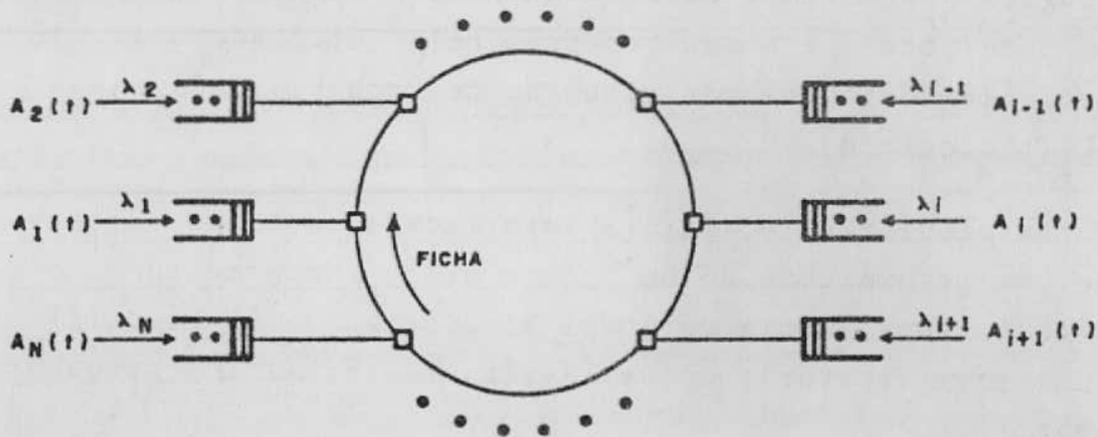


Figura 3.1 - Anel Lógico com Passagem de Ficha

Para que o modelo tenha uma solução tratável, as seguintes aproximações serão consideradas: nas interfaces cada 'buffer' tem comprimento infinito com uma disciplina de atendimento 'FCFS'; os processos de chegada de tráfego e serviço são estacionários e independentes.

Suponhamos que os pacotes chegam à interface i , de acordo com um processo geral e independente GI, cuja função de Distribuição de Probabilidade é $A_i(t)$ com taxa média de λ_i pacotes/seg. Estes pacotes recebem um tempo aleatório de serviço com Distribuição de Probabilidade independente, $B_i(t)$ com média b_i seg. Para a interface i , a medida relevante do processo $A_i(t)$, é uma Medida de Limite Superior, formalmente especificadas na secção 2. Para este tipo de medida, precisamos determinar a Distribuição de Probabilidade do tempo de atraso relativo a cada aplicação (interface).

De acordo com o Protocolo de Comunicação para as Redes com Passagem de Ficha [IEEE 82], quando uma interface re-

cebe uma ficha livre, esta tem direito a serviço. Dentre as diversas disciplinas de atendimento, consideramos aquela 'não exaustiva'; transmissão de apenas um pacote por visita da ficha livre. Após a transmissão de um pacote da interface i , esta emite uma ficha livre que é passada para a interface seguinte da ordem lógica. Esse tempo decorrido entre a emissão da ficha livre pela interface i e a sua recepção pela interface $i+1$, é uma variável aleatória com Distribuição de Probabilidade independente $C_i(t)$ com média C_i .

Particularmente, para a interface i , o tempo decorrido entre uma transmissão de um pacote até o recebimento de uma nova ficha livre, é uma variável aleatória que é especificada por uma soma aleatória de variáveis aleatórias independentes, ou seja:

$$\bar{R}_i = N\bar{C}_i + \sum_{j=0}^{\bar{n}} \bar{B}_j \quad (3.1)$$

onde \bar{C}_i e \bar{B}_i são as variáveis aleatórias associadas às distribuições de probabilidade, $C_i(t)$ e $B_i(t)$, respectivamente. A variável aleatória \bar{n} , corresponde ao número de interfaces ativas neste percurso da ficha livre no Anel Lógico. Uma interface é dita estar ativa quando da recepção da ficha livre, esta tem um pacote a transmitir. A variável aleatória \bar{R}_i , é definida como o 'Ciclo da Ficha Livre' para a interface i quando esta fila é servida.

De acordo com as considerações acima e a Figura 3.1, uma interface i pode ser modelada como:

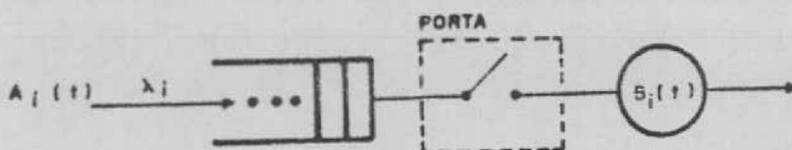


Figura 3.2 - Modelo da Interface

O tempo de abertura da porta é uma variável aleatória definida por:

$$\bar{R}_{i0} = N\bar{C}_i + \sum_{\substack{j=0 \\ j \neq i}}^{\bar{n}} \bar{B}_j \quad (3.2)$$

Quando a porta está fechada, o tempo efetivo de serviço por pacote na interface i é dado por \bar{R}_{i1} , que tem uma distribuição geral. Portanto, cada interface pode ser modelada por uma fila do tipo GI/G/1 com porta de controle.

Vale salientar que a influência das filas $j \neq i$ na fila i é expressa através das Equações (3.1) e (3.2). Estas equações captam o fenômeno da integração das aplicações.

O nosso propósito é obtermos do modelo, a Distribuição $p(m_i)$ que é exatamente a Distribuição de Probabilidade do tempo de atraso $D(t)$, uma vez que estamos supondo Aplicações Críticas no tempo. Em [KLEI 75], a Transformada de Laplace do tempo de atraso em fila, que é a solução da Equação Integral de Lindley para a fila GI/G/1, é mostrada. Através do método da fatoração espectral no domínio s , encontramos a Transformada de Laplace do tempo de espera em fila:

$$W_i(s) = \frac{1}{\psi_{i+}(s)} \cdot \lim_{s \rightarrow 0} \frac{\psi_{i+}(s)}{s} \quad (3.3)$$

onde $\psi_{+}(s)$ é uma função que depende dos processos de chegada e serviço efetivo e sua determinação consta nos procedimentos do método da fatoração espectral.

Estamos supondo que as variáveis aleatórias referentes ao serviço e ao tempo de espera em fila são independentes. Portanto, a Transformada de Laplace do tempo de atraso é dada por:

$$D_i(s) = B_i(s) \cdot W_i(s) \quad (3.4)$$

Aplicando-se sucessivamente a solução supracitada, através das Equações (3.3) e (3.4) determinamos o conjunto $\{D_i(t)\}$, ($1 \leq i \leq N$) das Distribuições de Probabilidade do tempo de atraso. Observemos que para uma determinada aplicação o conjunto $\{D_i(t)\}$ é o conjunto $\{p\}$, definido na secção 2, que caracteriza a Rede para cada aplicação.

A distribuição do tempo em fila, dada pela Equação (3.3) é função de $A_i(t)$, $B_i(t)$, \bar{R}_{i0} e \bar{R}_{i1} . Definiremos \bar{R}_{i0} e \bar{R}_{i1} como Ciclos Condicionais da ficha, sem o serviço e com o serviço de pacote, respectivamente definidos pelas Equações (3.2) e (3.1). Portanto o conhecimento das Transformadas de Laplace dessas variáveis aleatórias é necessário para a determinação de $W_i(s)$ na Equação (3.3).

A Equação (3.1) pode ser reescrita da seguinte forma:

$$\bar{R}_{i1} = N\bar{C}_i + \sum_{j \neq i} [\alpha'_{ij} \bar{B}_j + (1 - \alpha'_{ij}) \cdot 0] + \bar{B}_i \quad (3.5)$$

onde α'_{ij} é a probabilidade de serviço de um pacote da interface $j \neq i$, durante um ciclo onde se dá o serviço de um pacote da interface i . Similarmente, a Equação (3.2) pode ser dada por:

$$\bar{R}_{i0} = N\bar{C}_i + \sum_{j \neq i} [\alpha^0_{ij} \bar{B}_j + (1 - \alpha^0_{ij}) \cdot 0] \quad (3.6)$$

Em que α^0_{ij} é a probabilidade de serviço a um pacote de uma interface $j \neq i$, durante um ciclo onde não se verifica o serviço à fila da interface i .

Sejam $R_{i0}(t)$ e $R_{i1}(t)$ as distribuições de probabilidade de \bar{R}_{i0} e \bar{R}_{i1} , respectivamente. Logo, as respectivas Transformadas de Laplace, são:

$$R_{i0}(s) = \prod_{i=1}^N C_i(s) \cdot \prod_{j \neq i} [\alpha^0_{ij} B_j(s) + (1 - \alpha^0_{ij})]; \quad (3.7)$$

$$R_{i1}(s) = \prod_{i=1}^N C_i(s) \cdot \prod_{j \neq i} [\alpha_{ij}^1 B_j(s) + (1 - \alpha_{ij}^1)] \cdot B_i(s) \quad (3.8)$$

onde $B_i(j)$ e $C_i(j)$ são as Transformadas de Laplace de $B_i(t)$ e $C_i(t)$, respectivamente. As Equações (3.7) e (3.8) são decorrentes da propriedade da transformada de uma soma de variáveis aleatórias independentes.

A Transformada de Laplace do Ciclo Incondicional da ficha livre é dado por:

$$R(s) = (1 - \alpha_i) R_{i0}(s) + \alpha_i R_{i1}(s) \quad (3.9)$$

Isto em decorrência da Lei de Probabilidade Total. α_i é a probabilidade da interface i estar ativa quando da chegada da ficha livre.

Sejam \bar{R} , \bar{R}_{i0} e \bar{R}_{i1} os valores médios de $R(t)$, $R_{i0}(t)$ e $R_{i1}(t)$, respectivamente. Portanto das Equações (3.7), (3.8) e (3.9) e das propriedades da Transformada de Laplace, teremos:

$$\bar{R}_{i0} = \bar{C}_0 + \sum_{j \neq i} \alpha_{ij}^0 b_j; \quad (3.10)$$

$$\bar{R}_{i1} = \bar{C}_0 + \sum_{j \neq i} \alpha_{ij}^1 b_j + b_i; \quad (3.11)$$

$$\bar{R} = (1 - \alpha_i) \bar{R}_{i0} + \alpha_i \bar{R}_{i1} \quad (3.12)$$

onde \bar{C}_0 é o comprimento médio do ciclo da ficha livre, na condição de que nenhum pacote é servido neste ciclo. Adicionalmente, as probabilidades α_{ij}^0 , α_{ij}^1 e α_i são dadas por:

$$\alpha_{ij}^0 = \lambda_i \bar{R}_{i0}; \quad (3.13)$$

$$\alpha_{ij}^1 = \lambda_i \bar{R}_{i1}; \quad (3.14)$$

$$\alpha_i = \lambda_i \bar{R}. \quad (3.15)$$

Estas probabilidades acima são idênticas ao número médio de pacotes da fila i , servidos nos respectivos ciclos \bar{R}_{i0} , \bar{R}_{i1} e \bar{R} . Substituindo (3.13) e (3.14) em (3.10) e (3.11), respectivamente, teremos:

$$\bar{R}_{i0} = \frac{\bar{C}_0}{1 - \rho_0 + \rho_i} \quad (3.16)$$

$$\bar{R}_{i1} = \frac{\bar{C}_0 + b_i}{1 - \rho_0 + \rho_i} \quad (3.17)$$

onde $\rho_0 = \rho_1 + \rho_2 + \dots + \rho_n$, $\rho_i = \lambda_i b_i$ ($1 \leq i \leq N$) é a utilização total do servidor (Rede). Vale salientar que as soluções em (3.16) e (3.17) são válidas apenas na condição de $\alpha_{ij}^1 \leq 1$. Substituindo-se as Equações (3.15), (3.16) e (3.17) em (3.12), teremos a expressão para o ciclo Médio da ficha livre, \bar{R} .

A seguir, apresentaremos os procedimentos para o julgamento da criticidade de uma aplicação.

3.2 - Critério para Julgamento da Criticidade de Uma Aplicação

Na secção 3.1 encontramos a solução para o tempo de atraso para uma fila GI/G/1, expressa pelas Equações (3.3) e (3.4). Mencionamos na secção 2 que para o julgamento da criticidade de uma aplicação, necessitamos de uma especificação formal das aplicações. Estamos considerando neste artigo, Aplicações com Medida de Limite Superior, mais especificamente Aplicações Críticas no Tempo. Portanto, para a fila i a especificação formal é dada por:

$$\{m_i\} = \{m_1 = t_i, (t_i = \text{tempo de atraso})\}$$

onde $\{m_i\}$ é o conjunto das medidas relevantes à aplicação na interface i . O conjunto dos valores limites é:

$$\{M_i\} = \{[M_1] = T_{1i}\}$$

Adicionalmente, o conjunto das Probabilidades de Tolerância é

dado por:

$$\{f_i\} = \{f_i = \text{Prob}[t_i > T_{1i}]\}$$

O conjunto das Distribuições de Probabilidade relativas às medidas relevantes é:

$$\{p_i\} = \{p_i(m_i) = D_i(t_i)\}$$

Para o julgamento da criticidade da aplicação, necessitamos do conjunto das Probabilidades de Tolerância Crítica $\{f_i^*\} = \{f_1^*\}$, definido na secção 2. A determinação deste conjunto, basicamente consiste na solução da Equação (2.1), ou seja:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \left[\int_{T_{1i}}^t D_i(t_i) dt_i \right] = f_1^* \quad (3.18)$$

A solução da Equação (3.18) implica na determinação da transformada inversa de $D_i(s)$, [WIDD 46] [JAGE 78]. Para evitar-mos o cálculo da transformada inversa, que em geral não é simples, vamos encontrar a solução no domínio s .

A Equação (3.18) pode ser reescrita da forma:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \left[\int_0^t g_i(t_i) dt_i \right] = f_1^*$$

onde $g_i(t_i) = u(t_i - T_{1i}) \cdot D_i(t_i)$; $u(t)$ é a função degrau. Seja $G_i(s)$ a Transformada de Laplace de $g_i(t_i)$. Fazendo,

$$h_i(t_i) = \int_0^{t_i} g_i(t_i) dt_i$$

a Transformada de Laplace desta função é:

$$H_i(s) = \frac{G_i(s)}{s}$$

Portanto, pelo Teorema do Valor Final, teremos:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \left[\int_0^t g_i(t_i) dt_i = f_1^* = \lim_{s \rightarrow 0} s H_i(s) \right] \quad (3.19)$$

$$= \lim_{s \rightarrow 0} \frac{1}{2\pi i} \left[\frac{e^{-T_{1i}s}}{s} \otimes D_i(s) \right]$$

onde \otimes é o operador convolução.

Dizemos que a aplicação de interesse para a interface i é crítica se:

$$f_1 = f_1^* - \epsilon; \quad \epsilon \rightarrow 0$$

Em geral, a solução da Equação (3.19) no domínio s , é também complicada, pois $D_i(t)$ é uma distribuição geral. Entretanto, observando a Equação (3.18), vemos que f_1^* é exatamente a integral da cauda da distribuição $D_i(t)$ para $t_i > T_{1i}$. Na literatura, existem algumas desigualdades tais como:

Chebyshev, One-Sided e Chernoff [CRAM 46] [PAPO 65] [FELL 68]; que poderiam ser usadas para estimar f_1^* mais facilmente.

Poderíamos usar a desigualdade de Chebyshev para esta estimativa. Entretanto, esta desigualdade não proporciona boas estimativas em alguns casos [ALLE 78]. Devido ao grande volume de cálculo envolvido no uso da desigualdade de Chernoff (envolve todos os momentos de $D_i(t)$) [BRAS 87], optaremos neste trabalho pelo uso da desigualdade 'One-Sided':

$$P[t_i > T_{1i}] \leq \frac{\sigma_{D_i}^2}{\sigma_{D_i}^2 + (T_{1i} - \bar{D}_i)^2}, \quad T_{1i} > \bar{D}_i \quad (3.20)$$

$$P[t_i \leq T_{1i}] \leq \frac{\sigma_{D_i}^2}{\sigma_{D_i}^2 + (T_{1i} - \bar{D}_i)^2}, \quad T_{1i} < \bar{D}_i \quad (3.21)$$

onde \bar{D}_i e $\sigma_{D_i}^2$ são o valor médio e a variância de $D_i(t)$, respec-

tivamente. Portanto, a Equação (3.19) poderá ser usada para estimar f_1^* .

Para exemplificarmos o procedimento sugerido para o julgamento da criticidade de uma aplicação, apresentaremos na secção que se segue um exemplo de uma rede com interfaces do tipo M/M/1. Vale salientar que o nosso modelo e solução são válidos para redes genéricas com interfaces do tipo GI/G/1.

4. ESTUDO DE CASO

Sem perda de generalidade, consideremos uma Rede Local com Passagem de Ficha com as seguintes características: a população de usuários é constituída por dez interfaces ($N=10$), idênticas do tipo M/M/1. Supomos $\lambda_i = \lambda = 1.0$ pacotes/seg., $b_i = b = 1.0\text{ms}$ ($1 \leq i \leq 10$); o tempo de serviço da ficha é constante, $C_i = C = 0.1\text{ms}$; a disciplina de atendimento é FCFS; a aplicação de interesse é do tipo 'Limite Superior', formalmente especificada pelos conjuntos, $\{m\} = \{t = \text{tempo de resposta}\}$, $\{M\} = \{[M_1] = T_1\}$ e $\{f\} = \{\text{Prob}[t > T_1] = f_1\}$.

A determinação dos conjuntos $\{p\} = \{D(t)\}$ e $\{f^*\} = \{f_1^*\}$, que caracterizam a rede, depende do conhecimento da Distribuição do tempo de resposta, que é dada pela Equação (3.4), ou seja:

$$D(s) = W(s) \cdot B(s)$$

No caso em estudo, $B(s)$ é a Transformada de Laplace do tempo de transmissão de um pacote, que tem uma Distribuição Exponencial com média, $b=1.0\text{ms}$. Logo,

$$B(s) = \frac{1}{s+1}$$

Pelas considerações feitas, cada interface da rede em estudo pode ser modelada por uma fila M/G/1 com porta de controle, (ver Figura 3.2), onde a Distribuição do tempo efetivo de serviço por pacote é $R_1(t)$, dada pela Equação (3.8).

Seja k o número de pacotes na fila de uma determinada interface, no instante da visita da ficha livre. Com o processo de chegada de pacotes em cada interface é sem memória, podemos definir uma Cadeia de Markov Embutida nos instantes da visita da Ficha Livre [KLEI 75], cuja distribuição da Probabilidade em regime estacionário do número de pacotes, numa determinada fila, nestes instantes é:

$$P_k = \{K=k\} \quad k=1,2,3,\dots \quad (4.1)$$

Esta Distribuição de Probabilidade satisfaz a seguinte Equação [KLEI 75]:

$$P_k = P_0 P_{0k} + \sum_{m=1}^{k+1} P_m P_{mk}, \quad k=1,2,\dots \quad (4.2)$$

onde as probabilidades de transição, na Cadeia de Markov definida acima, são dadas por:

$$P_{mk} = \begin{cases} \int_{t=0^-}^{\infty} e^{-\lambda t} \frac{(\lambda t)^{k-m+1}}{(\lambda-m+1)!} \cdot dR_1(t), & m>0 \\ \int_{t=0^-}^{\infty} e^{-\lambda t} \frac{(\lambda t)^k}{K!} \cdot dR_0(t), & m=0 \end{cases} \quad (4.3)$$

As Distribuições, $R_0(t)$ e $R_1(t)$ são definidas pelas Equações (3.7) e (3.8), respectivamente.

Junto com a condição de normalização:

$$\sum_{k=0}^{\infty} P_k = 1 \quad (4.4)$$

A Distribuição de Probabilidade em (4.1) é completamente determinada pelas Equações (4.2), (4.3) e (4.4).

Com o conhecimento da distribuição em (4.1), podemos determinar a Transformada de Laplace do tempo de espera em fila [BRAS 87], que é dada por:

$$W(s) = \frac{1 - \lambda \bar{R}_1}{\bar{R}_0} \cdot \frac{1 - R_0(s)}{s - \lambda [1 - R_1(s)]} \quad (4.5)$$

onde \bar{R}_0 e \bar{R}_1 são o primeiro momento da Distribuição $R_0(t)$ e $R_1(t)$, obtidos pelas Equações (3.16) e (3.17), respectivamente.

Da Equação (4.5), encontramos o valor médio do tempo de espera em fila:

$$\bar{W} = - \frac{d}{ds} W(s) \Big|_{s=0} = \frac{\overline{R_0^2}}{2\bar{R}_0} + \frac{\lambda \overline{R_1^2}}{2(1 - \lambda \bar{R}_1)} \quad (4.6)$$

Em que $\overline{R_0^2}$ e $\overline{R_1^2}$ são o segundo momento de $R_0(t)$ e $R_1(t)$ derivadas das Equações (3.7) e (3.8), respectivamente. Os demais momentos de $W(s)$ podem ser obtidos pela fórmula de recorrência de Takács para a fila M/G/1 [TAKA 62].

Substituindo os valores do parâmetros da rede em estudo, nas Equações (3.16) e (3.17), encontramos:

$$\bar{R}_0 = \frac{1}{1 - 9\lambda};$$

$$\bar{R}_1 = \frac{2}{1 - 9\lambda}$$

Da Equação (3.14) e da condição $\alpha_{ij}^1 < 1$, podemos determinar a condição de estabilidade para este sistema de filas, que se verifica para:

$$\lambda \leq \frac{1}{11} \text{ pacotes/ms}$$

Referindo-se às Equações (3.7), (3.8), (3.13) e (3.14), temos que:

$$R_0(s) = e^{-s} \left[\frac{\lambda}{1-9\lambda} \cdot \left(\frac{1}{s+1}\right) + \frac{1-10\lambda}{1-9\lambda} \right]^9 \quad (4.7)$$

$$R_1(s) = e^{-s} \left[\frac{2\lambda}{1-9\lambda} \cdot \left(\frac{1}{s+1}\right) + \frac{1-11\lambda}{1-9\lambda} \right]^9 \cdot \left(\frac{1}{s+1}\right) \quad (4.8)$$

A Transformada de Laplace do tempo de espera em fila, definida pela Equação (4.5), é:

$$W(s) = (1-11\lambda) \cdot \frac{[1-R_0(s)]}{s-\lambda [1-R_1(s)]} \quad (4.9)$$

onde $R_0(s)$ e $R_1(s)$ são dadas pelas Equações (4.7) e (4.8) respectivamente.

Portanto, através da Equação (3.4), encontramos a Transformada de Laplace do tempo de atraso:

$$D(s) = \frac{1-11\lambda}{(s+1)} \cdot \frac{[1-R_0(s)]}{s-\lambda [1-R_1(s)]} \quad (4.10)$$

Seguindo-se os procedimentos para a determinação da Probabilidade de Tolerância Crítica f_1^* , na secção 3.2 e especificamente a Equação (3.20), temos:

$$f_1^* = \frac{\sigma_D^2}{\sigma_D^2 + T_1 - \bar{D}}, \quad T_1 > \bar{D}$$

onde σ_D^2 e \bar{D} são a variância e o valor médio de $D(t)$ (Equação (4.10)), respectivamente. Na Figura 4.1 mostramos os valores de f_1^* para $T_1 = 10\text{ms}$ e $T_1 = 15\text{ms}$.

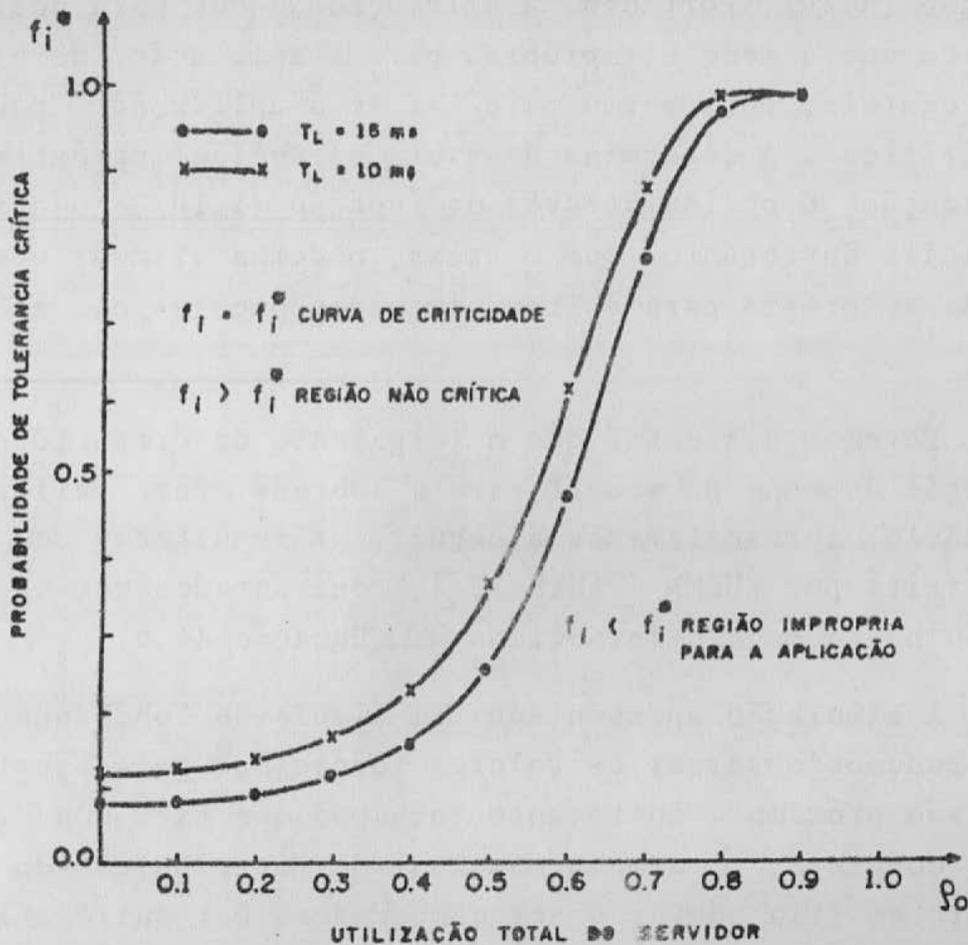


Figura 4.1 - Probabilidade da Tolerância Crítica

Portanto, específicos na aplicação a probabilidade de tolerância aceitável f_1 , e o valor limite T_1 , da medida, podemos determinar a utilização total do servidor ρ_0^* , que torna a aplicação 'Crítica'. Por exemplo, para $T_1=10\text{ms}$ e $f_1=0.2$, determinamos na figura acima, $\rho_0^*=0.45$. Logo, a aplicação é crítica para $\lambda^*=0.045$. Sendo assim, para qualquer $\lambda < \lambda^*$ a aplicação não é 'Crítica'.

É importante mencionar que os valores de f_1^* foram obtidos pelo limite superior da desigualdade 'One-Sided', dada

pela Equação (3.20). Portanto, a afirmação de que para qualquer $\lambda > \lambda^*$ implica que a rede é imprópria para a aplicação, deve ser vista com cautela, pois mesmo para $\lambda = \lambda^* + \epsilon$ a aplicação poderia ser 'Não Crítica'. A determinação exata da região imprópria para a 'Aplicação' é obtida através da Equação (3.19), cuja solução é difícil. Entretanto, com certeza, podemos afirmar que se $\lambda < \lambda^*$ a rede se presta para o Transporte dos pacotes da aplicação.

Devemos salientar que o julgamento da criticidade de uma aplicação depende do modelo para a subrede. Para validarmos o nosso modelo, apresentaremos a seguir, os resultados de uma simulação feita por KUEHN [KUEH 79], confrontados com os resultados do nosso modelo fornecidos pela Equação (4.6).

A simulação apresentada tem níveis de confiança de 95%. Como podemos observar, os valores fornecidos pela teoria e simulação são próximos. Entretanto, achamos que para uma validação mais completa, os demais momentos da Distribuição do tempo de espera em fila, deverão ser comparados. Por outro lado, uma validação a este nível é dispendiosa!

A divergência nos valores fornecidos acima, é causada pela suposta independência dos Ciclos da Ficha no Modelo. Na realidade estes ciclos são estatisticamente correlacionados. Por exemplo, após um ciclo curto, a chance de ocorrência de um novo ciclo curto, é grande.

Observando a Figura 4.2, vemos que a solução do modelo tem uma boa precisão para uma intensidade de tráfego pequena ($\rho_0 \rightarrow 0$), uma vez que a suposição de independência dos ciclos é assintoticamente exata para $\rho_0 = 0$. Similarmente, para altas intensidades de tráfego ($\rho_0 \rightarrow 1.0$), pois no limite, todas as filas contribuem com o tempo de serviço de um pacote, no Ciclo da Ficha, fazendo assim, os ciclos se tornarem independentes.

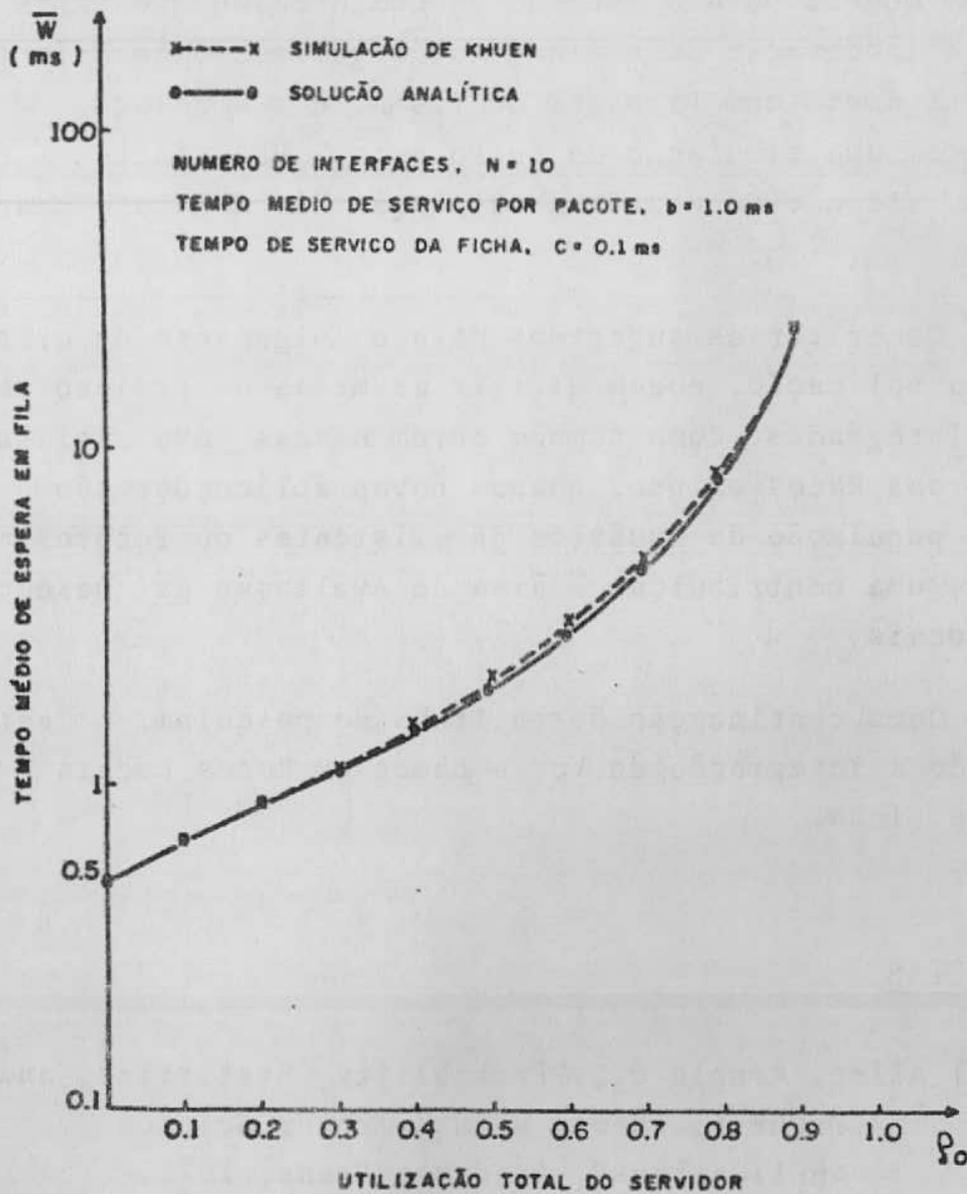


Figura 4.2 - Tempo Médio em Fila

5. CONCLUSÃO

Apresentamos neste trabalho, um conceito novo que é a 'Caracterização Formal' de uma Aplicação Crítica no tempo com relação ao desempenho de uma Rede. Também, mostramos os critérios para o julgamento dessa criticidade, que se baseiam na solução de um modelo para a subrede de comunicação que capte o fenômeno da integração de aplicações. Sugerimos um modelo genérico para as Redes com Passagem de Ficha, e sua solução foi comparada com uma simulação de outro autor. Resultante desta comparação, ficou evidenciada a validação dos nossos resultados.

Os critérios sugeridos para o julgamento da criticidade de uma aplicação, podem dirigir as metas de projeto de novas Redes Integradas, como também serem usadas para analisar o desempenho das Redes em uso, quando novas aplicações são adicionadas à população de usuários já existentes ou futuros. Esta é portanto, uma contribuição à área de Avaliação de Desempenho de Redes Locais.

Como continuação desta linha de pesquisa, estamos investigando a integração de Voz e Dados em Redes Locais com Passagem de Ficha.

6. REFERÊNCIAS

- [ALLE 78] Allen, Arnold O., "Probability, Statistics, and Queueing Theory with Computer Science Applications", Academic Press, 1978.
- [AVI- 65] Avi-Itzhak, B., Maxwell, W.L., and Miller, L.W., "Queueing With Alternating Priorities", Opns. Res., 13(1965), pp.306-318.
- [BRAS 87] Brasileiro, Marcos A.G., "Modelagem de Aplicações Críticas em Redes Locais", Tese de Doutorado, Dept. de Engenharia Elétrica, UFPb/Waterloo, Campina Grande, Junho de 1987 (Defesa Prevista).

- [COOP 69] Cooper R.B. and Murray G., "Queues Served in Cyclic Order", B.S.T.J., 48, No.3 (march 1969), pp. 675-689.
- [CRAM 46] Cramér, H., "Mathematical Methods of Statistics", Princeton Univ. Press, Princeton, New Jersey, 1946.
- [EISE 71] Eisenberg, M., "Queues With Periodic Changeover Times", Opns. Res., 19(1971), pp.386-401.
- [FELL 68] Feller, W., "An Introduction to Probability Theory and Its Applications", 3rd Edition, Vol.1, Willey, New York, 1968.
- [GITM 78] Gitman, I., and Frank, H., "Economic Analysis of Integrated Voice and Data Networks: A Case Study", Proceedings of the IEEE, Vol.66, No.11, november 1978, pp. 1549-1570.
- [HALF 75] Halfin, S., "An Approximate Method for Calculating Delays for a Family of Cyclic Type Queues", B.S.T.J., 54, No.10 (december 1975), pp. 1733-1754.
- [HASH 72] Hashida, O., "Analysis of Multiqueue", Review of the Electr. Comm. Laboratories, Nippon Telegraph and Telephone Public Corp., 20 (1972), pp. 189-199.
- [IEEE 82] IEEE Project 802 Local Network Standard, Draft D, 1982.
- [JAGE 78] Jagerman, D., "An Inversion Technique for the Laplace Transform with Application to Approximation", B.S.T.J., 57, No.3 (march 1978), pp. 669-710.
- [KUEH 79] Kuehn, P.J., "Multiqueue Systems with Nonexhaustive Cyclic Service", B.S.T.J., Vol.58, No.3, march 1979, pp. 671-698.

- [KLEI 75] Kleinrock, L., "Queueing Systems, Volume I: Theory", John Wiley & Sons, 1975.
- [LEIB 61] Leibowitz, M.A., "An Approximate Method for Treating a Class of Multiqueue Problems", IBM Journal, 5(1961), pp. 204-209.
- [PAPO 65] Papoulis, A., "Probability, Random Variables, and Stochastic Processes", McGraw-Hill, 1965.
- [TAKA 62] Takács, L., "A Single-Server Queue with Poisson Input", Operations Research, 10, 1962, pp. 388-397.
- [TAKA 68] Takács L., "Two Queues Attended by a Single Server", Opns. Res., 16(1968), pp. 639-650.
- [TRAN 85] Tran-Gia, P., and Raith, T., "Multiqueue Systems with Finite Capacity and Nonexhaustive Cyclic Service", Proceeding of the IFIP, Tokyo, 1985, pp. 213-225.
- [WIDD 46] Widder, D.V., "The Laplace Transform", Princeton Univ. Press, 1946.