

AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DE REDES FDDI UTILIZANDO A FERRAMENTA RESQ2

Sérgio de F. Brito e William F. Giozza
Grupo de Redes de Computadores/DSC/UFPB
CP 10.032 --- 58.100 - Campina Grande - PB
Tel: (083)333-1929 E-mail: giozza@brufpb2.bitnet

Sumário

Neste trabalho é proposto um modelo para o protocolo de acesso ao meio do padrão FDDI visando a avaliação de desempenho com o pacote de simulação RESQ2 da IBM. Inicialmente é apresentada uma visão geral do padrão FDDI, enfocando aspectos de aplicação, arquitetura, topologia e operação do protocolo de controle de acesso ao meio do FDDI. Os resultados obtidos com a modelagem proposta são analisados e comparados com resultados existentes de desempenho deste protocolo, obtidos através de ferramentas analíticas e outros simuladores.

Abstract

In this work is proposed a model for performance evaluation of the FDDI Medium Access Control protocol based on IBM's RESQ2 simulation tool. FDDI architecture and topology as well as operation of the FDDI MAC protocol are described. Results from the proposed modeling are analysed and compared to existing results from performance evaluation of FDDI networks obtained by analytical and other simulation tools.

1 INTRODUÇÃO

As Redes Locais de computadores [1] surgiram inicialmente com objetivo de solucionar os problemas de interconexão e compartilhamento de recursos computacionais (hardware e software) dispersos a nível local. Contudo, dentro das organizações (empresas, instituições, etc), atualmente, surgem demandas de serviços mais sofisticados e exigentes como, por exemplo, transferência de grandes quantidades de informações entre mainframes, ou entre mainframes e periféricos, podendo existir quilômetros de separação entre os equipamentos a serem conectados (rede BACK-END). É o caso

também da necessidade de interligar as redes locais instaladas nos departamentos da organização, dando origem as chamadas redes Dorsais (BACKBONE). Além disso, cresce a demanda por uma capacidade de gerenciar e controlar as comunicações corporativas através de um serviço de integração de tráfegos em uma mesma rede (voz, dados e vídeo). Todos esses requisitos de serviços podem, em princípio, ser atendidos através de uma rede de comunicação que integre a corporação como um todo, oferecendo taxas de transmissão e banda passante, compatíveis com as suas necessidades.

Para suprir esta demanda crescente dos usuários por um ambiente de comunicação corporativa integrada, várias arquiteturas de redes tem sido propostas. Dentro destas propostas destaca-se a arquitetura de rede de computadores FDDI ("Fiber Distributed Data Interface") aceita como padrão internacional [2-5]. As redes FDDI operam em taxa de transmissão de 100 Mbit/s com fibra óptica, tem topologia em anel e protocolo de controle de acesso ao meio baseado na posse da ficha.

A disponibilidade de ferramentas para análise do comportamento de redes FDDI em situações diversas de configurações e tráfegos é de grande interesse para os responsáveis pelo projeto, implantação e gerência desse tipo de rede no âmbito das organizações. A possibilidade, portanto, de se utilizar uma ferramenta comercial para esses fins mostra-se atrativa.

Neste trabalho é proposto um modelo para estudo de desempenho do protocolo de controle de acesso ao meio (MAC) por ficha temporizada do padrão FDDI. O estudo é feito usando o pacote de simulação RESQ2 da IBM [6,7], destacando as limitações e os pontos fracos dessa ferramenta de simulação de redes de filas de propósito geral. A próxima seção descreve sucintamente o padrão FDDI, incluindo aspectos de arquitetura, topologia e funcionamento do protocolo de acesso ao meio, bem como, resultados existentes sobre o desempenho deste protocolo. Na seção 3, o modelo proposto para o protocolo FDDI é descrito. E finalmente, são feitas conclusões sobre os resultados obtidos.

2 O PADRÃO FDDI

O protocolo FDDI foi desenvolvido pela ANSI no E.U.A., sendo o Comitê responsável pela sua padronização o ASC X3T9.5. Atualmente alguns documentos ANSI FDDI já foram transformados em documentos ISO [5]. São especificados basicamente dois tipos de tráfego [8-11]. O tráfego **síncrono** oferece banda garantida e tempo de acesso máximo para transmissão, podendo ser usado em aplicações em tempo real, tipo voz ou controle de processos. O tráfego **assíncrono** pode ser utilizado para serviços que precisem acessar o canal de comunicação com características de banda e acesso menos restritivas. Visando incorporar características de redes metropolitanas (MAN)[12], foi realizada uma otimização no padrão FDDI para implementação do serviço de comutação de circuitos. A otimização, nomeada por **FDDI-II** [13-16], oferece a mais o tráfego isócrono, permitindo ao anel, inclusive, interligar-se com centrais telefônicas baseado no padrão SONET ("Synchronous Optical Networks") [17].

A topologia para rede FDDI é o anel e dois tipos de conexões estão previstas no padrão [2-4]: classe A, a estação liga-se diretamente ao anel e classe B, a es-

tação liga-se ao anel através de um concentrador. A Figura 2.1 ilustra a topologia padrão FDDI.

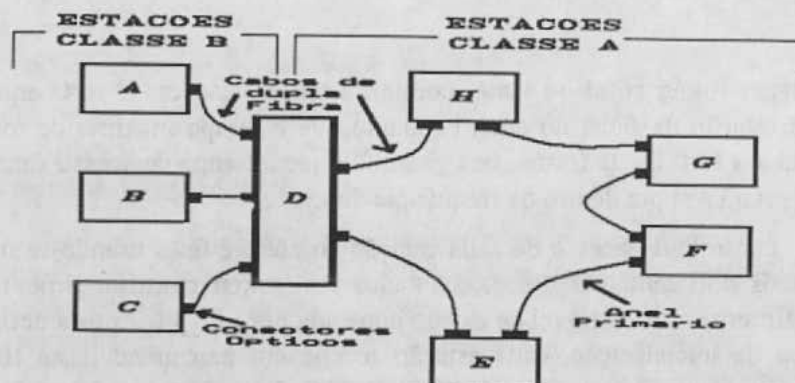


Figura 2.1 - Topologia em anel dual do padrão FDDI

A arquitetura FDDI especifica até a primeira sub-camada do nível de enlace (sub-camada MAC), aceitando como sub-camada superior o protocolo LLC padrão IEEE 802.2 [2] (Figura 2.2). Cada nodo FDDI é composto das sub-camadas PHY (PHYSical layer protocol) [8], PMD (Physical layer Medium Dependent) [9], MAC (Media Access Control) [10] e SMT (Station Management) [11].

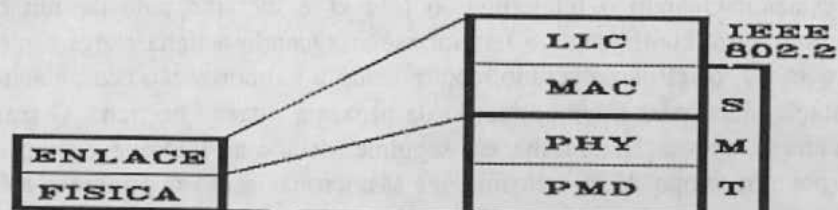


Figura 2.2 - Mapeamento do Modelo OSI na arquitetura FDDI

2.1 Funcionamento do Protocolo MAC FDDI

O protocolo de acesso ao meio (MAC) FDDI controla a transmissão de quadros para o anel através de um mecanismo de ficha temporizada. Uma estação só pode transmitir quadros com a posse da ficha e, após a transmissão de seus quadros, a ficha é imediatamente reinsertada no anel. O protocolo FDDI permite dois tipos de tráfego; síncrono e assíncrono. Para o tráfego síncrono, que tem prioridade no anel, são garantidos o tempo de acesso máximo ao anel e a banda de transmissão. Toda banda remanescente no FDDI pertence à classe assíncrona que é subdividida em oito níveis de prioridade. A classe de prioridade assíncrona também tem um modo de ficha restrita (opcional) que pode ser usado temporariamente para reservar, para um diálogo assíncrono específico, toda banda que não está sendo usada para transmissão síncrona [10].

No processo de inicialização, cada estação FDDI sugere um tempo de rotação da ficha no anel igual à metade de seu tempo de acesso síncrono desejado. As estações entram em regime de competição e o menor tempo sugerido será atribuído à

variável **ttrt** (**target token rotation time**) comum a todas estações. O **ttrt** equivale ao tempo médio de rotação da ficha no anel, enquanto que o tempo máximo de rotação da ficha no anel será $2 \times \text{ttrt}$. Desta forma, fica garantido que o tempo de acesso síncrono das estações ao anel estará sempre dentro da frequência desejada.

O controle do acesso de cada estação ao anel, é feito usando-se o **ttrt** em conjunto com mais dois temporizadores, chamados **trt** (**token rotation timer**) e o **tht** (**token holding timer**) e uma variável de estado nomeada por **late_ct**. Após a definição do **ttrt**, no processo de inicialização, cada estação recebe um percentual deste **ttrt** como banda garantida para suas transmissões síncronas, dividindo assim a banda total de transmissão. Quando a ficha chegar adiantada (com relação ao acesso síncrono) na estação, o tempo remanescente pode ser utilizado para transmissões assíncronas.

Para fins de descrição e modelagem do funcionamento do protocolo FDDI, assume-se que todos os temporizadores **trt** e variáveis **late_ct** são inicializados com zero e expiram quando chegam ao valor do **ttrt**. O **trt** é usado em cada estação para medir o tempo entre duas chegadas sucessivas da ficha e, é zerado, cada vez que a ficha é recebida dentro do **ttrt**. O **trt** irá expirar se ele for incrementado até **ttrt** antes que a ficha tenha chegado a estação. Quando o **trt** expira, o **late_ct** é incrementado de um e o **trt** é recarregado com zero, continuando a temporização. Quando a ficha chega tarde em uma estação (**late_ct**=1), o **trt** não é zerado, continuando a temporização acumulando então o atraso de rotação atual para a temporização da próxima rotação de ficha. O resultado do acúmulo do atraso, na rotação da ficha, é o seguinte; devido ao fato que a rotação da ficha excede **ttrt** por um tempo **A**, as transmissões assíncronas serão restringidas até que este atraso seja compensado por rotações de ficha menores que **ttrt** de um tempo **A**. Quando o anel recupera o atraso, o(s) **late_ct**(s) são novamente zerados. Todo este procedimento assegura que a média de rotação da ficha é **ttrt**. Se o **late_ct** exceder 1 então um procedimento de recuperação de erro é acionado.

O temporizador **tht** é usado por cada estação para controlar a quantidade de tempo que a ficha fica presa para transmissões assíncronas. O **tht** é carregado com o valor do $\text{ttrt} - \text{trt}_{\text{corrente}}$ quando a ficha é recebida dentro do tempo normal (**late_ct**=0). Quando o **tht** alcança o limite **tht** para um nível de prioridade particular, a ficha não pode ser mais usada para transmitir quadros daquele nível. Transmissões ainda em progresso quando o **tht** expira são completadas e esse tempo residual que segue-se à expiração do **tht** é nomeado "asynchronous overrun". O valor máximo do "asynchronous overrun" é igual ao tempo máximo de transmissão de um quadro. O **t_pri**(*i*) (*i*=1 à 8) define o **tht** limiar para o nível de prioridade assíncrona *i*. A convenção adotada usualmente é que a prioridade aumenta de 1 à 8. Um valor maior de limiar significa mais tempo para transmissão de quadros daquele nível de prioridade antes da ficha ser passada adiante. Portanto, o nível de prioridade que tem associado uma janela de transmissão maior, tem, conseqüentemente, maior prioridade do que níveis de prioridade com limiares de ficha presa menores.

2.2 Desempenho do Protocolo MAC FDDI

Em um estudo analítico precursor do protocolo de ficha temporizada para controle de acesso ao meio em uma rede em anel [18] obtém-se uma fórmula para o cálculo da utilização do anel, que é verificada em vários trabalhos posteriores.

Não ocorrendo falhas mecânicas no anel, o protocolo deve apresentar as seguintes propriedades [10]: (a) operar com um tempo médio de rotação da ficha igual a t_{trt} e (b) o tempo máximo de rotação da ficha ser igual a 2 vezes t_{trt} . Mostra-se intuitivamente [18], que as propriedades acima são atendidas pelo protocolo de ficha temporizada e, prova-se formalmente a propriedade (b) [19] e a propriedade (a) [20].

O t_{trt} padrão, definido pelas estações durante a inicialização do anel, pode ser muito restritivo, implicando em ineficiência do uso da banda disponível do anel. O máximo t_{trt} possível ($t_{trt}^{ótimo}$), de forma a preservar a desejada frequência de acesso do tráfego síncrono e aumentar a eficiência do uso do anel é obtido em [21]. Via simulação observa-se que o valor obtido pelo $t_{trt}^{ótimo}$ pode ainda ser restritivo e obtém-se resultados significativos ao utilizar-se o t_{trt} igual ao tempo de acesso síncrono desejado ao anel.

Conforme o padrão, o protocolo de acesso ao meio deve oferecer baixo atraso e acesso determinístico para as funções em tempo real, enquanto assegura eventual acesso ao anel para o tráfego de natureza não crítica. Mostra-se, analiticamente e por simulação [22,23] que, o protocolo FDDI, provê a todas estações do anel igual acesso ao meio para transmissão dos quadros assíncronos, em condições de tráfego homogeneamente distribuído. Contudo, em contexto modificado específico, existe um desbalanceamento no acesso assíncrono ao anel. Detectou-se problemas similares de desigualdade de acesso ao meio envolvendo múltiplas prioridades de tráfego assíncrono [24,25].

Um estudo detalhado do comportamento do tráfego assíncrono no anel FDDI através de ferramentas analíticas e simulações pode ser encontrado em [24,25]. Desenvolve-se uma fórmula genérica para o cálculo da vazão máxima no anel e obtém-se resultados que tendem para os resultados pioneiros de Ulm [18]. Medidas padrões de desempenho tais como atraso médio do quadro, utilização do anel, tamanho das filas de transmissão e tempo médio de rotação da ficha no anel, foram realizadas considerando-se uma configuração particular do anel FDDI [23]. Em uma rede FDDI operando apenas com tráfego assíncrono de uma única prioridade, o t_{trt} , pela sua flexibilidade, torna-se um parâmetro de difícil estabelecimento. Contextos de simulação específicos que visam oferecer respaldo a especificação do t_{trt} nesta situação são definidos em [26,27].

O comportamento do protocolo FDDI sob tráfego assíncrono operando com múltiplas prioridades é estudado em [24,25]. Desenvolve-se um algoritmo que permite obter a vazão máxima total quando múltiplos níveis de prioridade assíncrona são usados e, a vazão para cada um dos níveis de prioridade quando todas estações ativas, continuamente, tem quadros para serem transmitidos. Um resultado particular [25] consiste no estabelecimento de critérios para a atribuição de valores limites de transmissão para as variáveis t_{trt} do sistema de prioridades assíncronas, de tal maneira que obtenham-se as vazões desejadas do sistema FDDI.

Além destes estudos específicos análises comparativas entre o protocolo FDDI e outros protocolos de acesso ao meio encontram-se em [28,29,30].

3 MODELAGEM PROPOSTA PARA O PROTOCOLO MAC FDDI

A ferramenta de simulação tem sido amplamente utilizada não só para validar resultados analíticos sobre desempenho de redes FDDI como também para embasar definições mais eficientes de seus parâmetros. Por exemplo, para estudos de desempenho de redes FDDI utilizou-se um simulador desenvolvido pela NASA chamado LANES (Local Area Network Simulator) [19,21,22,23,31], simuladores desenvolvidos especificamente para o FDDI [24,25,26,32] e uma ferramenta de simulação de redes de filas de propósito geral denominada QNAP2 [27]. Para a modelagem e o estudo de desempenho do protocolo de acesso ao meio FDDI objeto deste trabalho utilizou-se o simulador de redes de filas de propósito geral RESQ2 da IBM [6,7].

3.1 Modelo

Neste trabalho, sem perda de generalidade [21,23], modelou-se individualmente estações síncronas e assíncronas, concatenando-as para formar o anel em configurações para as simulações desejadas. A modelagem não inclui os serviços de múltiplas prioridades assíncronas e ficha restrita, visando simplificação. Uma descrição genérica do modelo usado para cada estação, independente de ser síncrona ou assíncrona, é apresentada na Figura 3.1. O modelo detalhado encontra-se em [33].

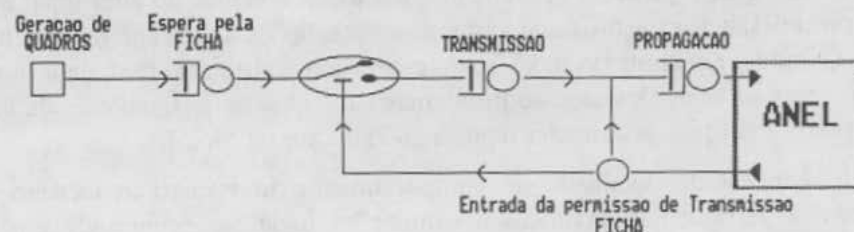


Figura 3.1 - Descrição simplificada da modelagem da estação

O funcionamento de uma estação FDDI baseia-se no protocolo de passagem de ficha [1]. A partir da captura da ficha, a estação origem transmite os seus quadros conforme o algoritmo descrito na seção 2, e reinsere a ficha no anel logo após a transmissão dos quadros. As estações intermediárias repetem os quadros transmitidos até a estação destino, onde são lidos. Os quadros retornam para a estação de origem carregando informações da operação realizada. Em caso de sucesso da transmissão, o quadro é retirado do anel, pela estação de origem.

O modelo do funcionamento do protocolo FDDI desenvolvido em RESQ2 permite o estudo dos diversos efeitos de diferentes padrões de configurações da rede e carga de tráfego. São definidos pelo usuário os seguintes parâmetros; taxa média de interchegada de quadros assíncronos baseada em distribuição exponencial, taxa constante de interchegada dos quadros síncronos e o tamanho fixo dos quadros. Os atrasos tais como, latência das estações, atraso de propagação no cabo, passagem de quadros e fichas, são também parametrizados neste modelo pelo usuário. É feita uma implementação completa

do mecanismo de acesso FDDI, incluindo detalhes referentes à captura da ficha, ficha presa para transmissão de quadros síncronos e assíncronos. Não inclui detecção de erros e mecanismos de recuperação ou procedimentos de inicialização do anel. O *ttrt* para o anel é definido pelo usuário, pois não há este tipo de negociação entre as estações.

A ferramenta RESQ2 oferece ao usuário recursos que facilitam muito a sua utilização, especificamente na modelagem. Uma linguagem descritiva gráfica que permite uma compilação para linguagem de programação RESQ2, eficiente e rápida, é disponível. Baseado no funcionamento da estação, efetuou-se uma representação gráfica do modelo através de símbolos RESQ2 e traduziu-se esta linguagem gráfica para uma linguagem de programação RESQ2. Para obtenção dos resultados desejados, compilou-se o programa e executou-se simulações das configurações em estudo.

3.2 Resultados

A modelagem do FDDI permite diversas aplicações, sejam configurações mistas, com estações síncronas e assíncronas, ou apenas com estações assíncronas, caso não haja tráfego com características críticas no tempo. Como ambiente de simulação usou-se o computador IBM 4381, modelo P20, com 16 Mbytes de memória RAM, da Universidade Federal da Paraíba. Foram efetuadas simulações a partir de cenários já investigados em outros trabalhos visando validação do modelo do protocolo FDDI em RESQ2 [21,23,26]. As simulações utilizaram o método de estimação de intervalo de confiança espectral [7] com nível de confiança de 90%. Algumas medidas de performance típicas foram selecionadas para validação e, são nomeadas a seguir; *tempo de resposta*, definido como o tempo entre a chegada do quadro a estação e a transmissão do seu último bit; *atraso médio de quadro*, sendo o tempo entre a chegada do quadro a estação e o momento em que ele é recebido pela estação destino e *atraso de acesso*, que é definido como o tempo que um quadro espera para obter a ficha de permissão de transmissão.

Os resultados apresentados a seguir foram obtidos com o simulador do protocolo de acesso ao meio FDDI implementado em RESQ2 sendo executado em condições de operação rotineira da máquina. A partir de um contexto totalmente assíncrono [23]:

Num. de Estações no anel	: 20 assíncronas
<i>ttrt</i>	: 40 ms
Tamanho do Quadro	: 32.330 bits

os resultados de desempenho obtidos pela simulação FDDI-RESQ2 podem ser vistos em Figuras 3.2 e 3.3.

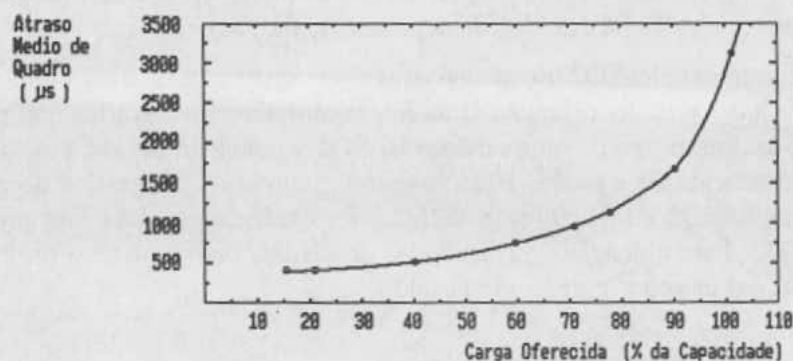


Figura 3.2 - Atraso Médio de Quadro x Carga Oferecida

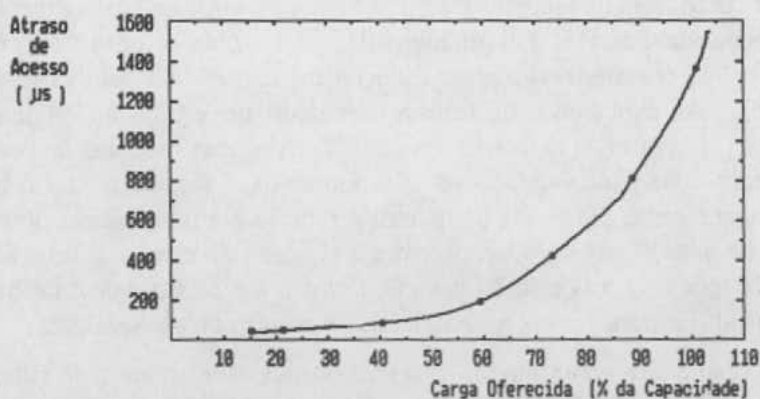


Figura 3.3 - Atraso de Acesso x Carga Oferecida

Como numa configuração completamente assíncrona não ocorrem tráfegos de natureza crítica, observa-se que, mesmo a 98% de carga oferecida, o tempo de resposta médio não chegou a alcançar metade do ttrt. Assim como, os tempo de acesso, mesmo em cargas superiores a 95%, estiveram bem abaixo do ttrt.

Através do processo de simulação, verificou-se que o número de quadros médio sendo processados pelo anel por rotação de ficha estava muito aquém da sua capacidade, mesmo quando a carga oferecida chegava a patamares de 120%. Assim, foram feitas algumas incursões a cargas oferecidas em torno de 1,6 Gbits/seg e observa-se que o tempo médio de rotação da ficha ainda permaneceu nos 38 ms, contudo o atraso médio de quadro esteve em torno dos 60 ms e o atraso máximo de quadro entre 420 e 450 ms.

Dentro do cenário assíncrono indicado a seguir [26]:

Num. de Estações no anel	: 20 assíncronas
ttrt	: 4; 8; 16; 20; 165 ms
Tamanho do Quadro	: 36.000 bits

foram efetuadas simulações (FDDI-RESQ2) a 90% de carga oferecida encontrando um tempo de resposta médio que permaneceu em torno de 1 ms independente do ttrt aplicado.

Assim, em aplicações com geração exclusiva de quadros assíncronos pelas estações, onde o *ttrt* é definido pelo usuário, a simulação mostra ser uma ferramenta bastante importante no auxílio da parametrização do *ttrt* de forma a prover um melhor aproveitamento da banda passante disponível e assegurar medidas de desempenho desejadas.

Em aplicações críticas no tempo, que exigem tempo de resposta garantido (ou seja com estações gerando tráfego síncrono), tem-se o *ttrt* definido pelo padrão [10]. Contudo, variações desta definição podem ser feitas visando otimização da banda passante disponível. Por exemplo, trabalhando-se com um *ttrt* igual ao tempo de acesso síncrono desejado por uma estação, estabelecido na configuração a seguir [21]:

Num. de Estações no anel	: 16; 12 (sinc.) e 4 (assinc.)
Freq. de acesso síncrono	: 8 ms
<i>ttrt</i>	: 8 ms
Tamanho do Quadro	: 32.330 bits

com as seguintes condições de carga oferecida:

- .carga nível 1 (6 estações síncronas ativas gerando 18 quadros por rotação da ficha),
- .carga nível 2 (todas estações ativas gerando 24 quadros por rotação de ficha) e
- .carga nível 3 (todas estações ativas gerando 28 quadros por rotação de ficha).

obteve-se os seguintes resultados via simulação FDDI-RESQ2:

Com o anel sendo submetido à carga nível 1, a carga aplicada fica em torno de 75% e, tanto o tempo médio, como o tempo máximo de rotação de ficha, resultam bem inferiores que o *ttrt*, assim como o atraso médio de quadros síncronos. Apesar de não haver uma correlação direta entre o atraso médio dos quadros síncronos e o tempo entre dois acessos consecutivos, desde que o atraso síncrono não exceda o *ttrt*, o anel estará operando como desejado. Sob a carga nível 2, o anel operando à 97% de carga aplicada, em média, a frequência de acesso síncrono oferecida pelo anel às estações permanece abaixo de 3 ms e o atraso médio dos quadros idem. Sob carga nível 3, 113% de carga aplicada, o atraso médio dos quadros síncronos permanece abaixo de 5.000 μ s.

4 CONCLUSÃO

O protocolo de acesso ao meio FDDI pode ser modelado via um pacote de simulação de redes de filas de propósito geral RESQ2. Os resultados dependem do ambiente computacional utilizado para simulação. Por exemplo, com simulações de algumas poucas horas (1 a 3 horas) obteve-se os resultados apresentados na seção 3. Por outro lado, com o recurso computacional disponível, estudos de equidade de acesso ao meio ou estudos que envolvam um aumento considerável do número de estações ativas por exemplo, exigem tempos de simulação bem superiores.

A utilização da ferramenta de simulação de redes de filas de propósito geral RESQ2 para simulação do protocolo FDDI, permitiu a obtenção de resultados de forma rápida e com menos envolvimento na ferramenta comparando-se com o desenvolvimento de um simulador específico. A ferramenta RESQ2 oferece resultados de desempenho

precisos e com larga faixa de atuação porém, necessita-se de uma macro linguagem, atualmente inexistente, para obtenção de resultados mais condensados (o RESQ2 permite o uso do PL/I para obtenção de gráficos, contudo a sua utilização é muito restritiva). Após a dificuldade inicial de se raciocinar na filosofia RESQ2, a sua abordagem gráfica da modelagem permite com facilidade modificações do modelo em estudo. O programa final desenvolvido em RESQ2 modelando o FDDI permite, a usuários na área de projetos de sistemas FDDI, apenas modificando as variáveis de parametrização do anel FDDI em área específica e bem documentada do programa, realizar os estudos de interesse.

Os resultados das análises do protocolo FDDI mostram que a sua parametrização pode influenciar sobremaneira a sua operação e, como, as ferramentas de simulação utilizadas nos trabalhos existentes não estão disponíveis de forma evidente para a maioria dos usuários, a modelagem do protocolo de acesso ao meio FDDI, através de uma ferramenta de simulação de redes de propósito geral, como o RESQ2 [6], permite ampliar as possibilidades de avaliação de desempenho de configurações e aplicações específicas de redes FDDI.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] GIOZZA, W. F.; ARAÚJO, J. F. M.; MOURA, J. A. B. e SAUVE, J. P. - Redes Locais de Computadores - Tecnologia e Aplicações, McGraw-Hill, São Paulo, 1986.
- [2] GIOZZA, W. F.; CONFORTI, E. e WALDMAN, H. - Fibras Ópticas: Tecnologia e Projetos de Sistemas, McGraw-Hill, São Paulo, 1991.
- [3] ROSS, F. E. - "FDDI-A Tutorial". IEEE Communication Magazine, v. 24, maio 1986, p. 10-17.
- [4] ROSS, F. E. - "An Overview of FDDI : The Fiber Distributed Data Interface". IEEE Journal on Selected Area in Communications, v. 7, n. 7, set. 1989, p. 1043-1051.
- [5] ROSS, F.E. - "FDDI - A LAN among MAN's". Computer Communication Review, v. 20, n. 3, jul. 1990, p. 16-31.
- [6] SAUER, C. H.; MACNAIR, E. A. e KUROSE, J. F. - "The Research Queueing Package Version 2: Introduction and Examples", IBM Research Report RA-138, Yorktown Heights, New York, 1982.
- [7] SOARES, L. F. G. - Modelagem e Simulação Discreta de Sistemas, VII Escola de Computação, São Paulo, 1990.
- [8] ISO - "FDDI Physical Layer Protocol (PHY)", ISO 9314-1 1989.
- [9] ISO - "FDDI Physical Layer Medium Dependent (PMD)", ISO 9314-3 1990.
- [10] ISO - "FDDI Token Ring Media Access Control (MAC)", ISO 9314-2 1989.

- [11] ANSI - "FDDI Station Management (SMT)", ASC X3T9.5, Draft Proposed, Rev. 6.2, maio 1990.
- [12] BRITO, S. F. e GIOZZA, W. F. - "Redes Metropolitanas (MAN's)". In: Anais do 9º SBRC. Florianópolis, SC, maio 1991, p. 185-199.
- [13] ANSI - "FDDI Enhanced Physical Layer Protocol (PHY-2)", ASC X3T9.5, Draft Proposed, Rev. 3.1, maio 1990.
- [14] ISO - "FDDI Single Mode Fiber PMD (SMF-PMD)", ASC X3T9.5, DP 9314-4.
- [15] ISO - "FDDI Hybrid Ring Control (HRC)", DP 9314-5.
- [16] ANSI - "SONET Physical Layer Mapping (SPM)", ASC X3T9.5, Draft Proposed, Rev. 3.1, maio 1990.
- [17] BALLART, R. e CHING, Y. C. - "SONET : Now It's the Standard Optical Network". IEEE Communication Magazine, v.29, maio 1989, p. 8-15.
- [18] ULM, J. M. - "A timed token ring local area network and its performance characteristics". In: Proc. IEEE 7th Local Comput. Networks Conference. Mineapolis, MN, out. 1982. p. 50-56.
- [19] JOHNSON, M. J. - "Proof that timing requirements of the FDDI token ring protocol are satisfied". IEEE Transactions on Communications, v. COM-35, 1987, p. 620-625.
- [20] SEVCIK, K. C. e JOHNSON, M. J. - "Cycle time properties of the FDDI token ring protocol". IEEE Transactions on Software Engineering, v. SE-13, mar. 1987, p. 376-385.
- [21] JOHNSON, M. J. - "Analysis of FDDI synchronous traffic delays". In: Proceedings of Systems Design and Networks Conference: Putting Local Area Networks to Work, Santa Clara, CA, abr. 1988, p. 65-72.
- [22] JOHNSON, M. J. - "Fairness of channel access for non-time-critical traffic using the FDDI token ring protocol". In: Proc. Seminar Real-Time Local Area Networks. Bandol, France, abr. 1986, p. 145-157.
- [23] JOHNSON, M.J. - "Performance analysis of FDDI". In : EFOC/LAN'88, jun. 1988.
- [24] DYKEMAN, D. e BUX, W. - "An investigation of the FDDI media-access control protocol". In: Proc. 5th European Fibre Opt. Commun. & Local Area Networks Conference. Basel, Switzerland, jun. 1987, p. 229-236.
- [25] DYKEMAN, D. e BUX, W. - "Analysis on tuning of the FDDI Media Access Control Protocol". IEEE Journal on Selected Areas in Comm., v. 6, n. 6, jul. 1988, p. 997-1010.

- [26] JAIN, R. - "Performance Analysis of FDDI Token Ring Networks: Effect of Parameters and Guidelines for Setting TTRT". IEEE LTS Magazine, maio 1991, p. 16-22.
- [27] WELZEL, T. - "Performance Comparison of Services Strategies in High Speed Optical Token Rings". International Telecommunications Symposium, ITS, 90, Rio de Janeiro, Setembro, 1990.
- [28] RODRIGUES, M. A. - "Evaluating Performance of High-Speed Multiaccess Networks". IEEE Network Magazine, v. 4, n. 3, maio 1990, p. 36-41.
- [29] GOYAL, A. e DIAS, D. - "Performance of priority protocols on high-speed token ring networks". In: Proc. International Conference Data Communications Systems and their Performance, 3. Rio de Janeiro, Brasil, jun. 1987, p. 25-34.
- [30] MARSAN, M. A. e NERI, F. - "Performance Comparison of Four MAC Protocols for Integrated MAN's. International Telecommunications Symposium", ITS 90, Rio de Janeiro, Brasil, Setembro, 1990.
- [31] JOHNSON, M. J. - "Reliability mechanisms of the FDDI high bandwidth token ring protocol". Computer Networks and ISDN Systems, v. 11, n. 2, fev. 1986, p. 121-131.
- [32] TANGEMANN, M. e SAUER, K. - "Performance Analysis of the Timed Token Protocol of FDDI and FDDI-II". IEEE Journal on Selected Area in Communications, v. 9, n. 2, fev. 1991, p. 271-278.
- [33] BRITO, S. F. - Tese de Mestrado em Engenharia Elétrica - UFPB, Campina Grande, março 1992.