

Justiça em Modelos de Negociação de Serviços na Internet

Carlos Alberto Kamienski¹, Djamel Sadok e Alejandro Frery

Centro de Informática, Universidade Federal de Pernambuco
Caixa Postal 7851, Cidade Universitária, Recife/PE, 50732-970

E-mail: {cak, jamel, frery}@cin.ufpe.br

Resumo

À medida que serviços com QoS se tornam uma realidade cada vez mais iminente na Internet, fica clara a necessidade de se desenvolverem soluções técnicas e comerciais para estender os serviços fim-a-fim, isto é, com vários domínios no caminho entre origem e destino de dados. Serviços que exigem garantias de desempenho precisam ser negociados entre domínios de modo automático e dinâmico, através de modelos de negociação eficientes, escaláveis e justos. Este artigo propõe um índice para avaliar a justiça com que os modelos de negociação distribuem os recursos entre os domínios e também um método para realizar a alocação de recursos de maneira justa no modelo hierárquico. Resultados de simulação mostraram que o modelo hierárquico apresenta um comportamento significativamente mais justo que os demais, com um custo computacional baixo.

Abstract

As QoS-based services turn into reality in the Internet, the need to develop commercial and technical solutions for providing services that traverse several domains becomes greater. Services with performance guarantees need to be negotiated between domains in an automatic and dynamic way, through efficient, scalable and fair negotiation models. This paper proposes an index for evaluating the level of fairness of how negotiation models distribute resources over domains, as well as a method for performing resource allocation in a fair manner in the hierarchical model. Simulation results showed that this hierarchical model exhibits a fairer behaviour than the other ones, while maintaining a low computational cost.

Palavras-chave: Qualidade de Serviço (QoS) na Internet, negociação de serviços, alocação de recursos, contrato e especificação de serviços (SLA/SLS).

1. Introdução

A implantação de serviços avançados está despertando o interesse da comunidade da Internet, especialmente nos provedores de acesso. Qualidade de Serviço (QoS) [17] é um assunto que vem sendo discutido há alguns anos, mas ainda não existem soluções técnicas e comerciais que consigam convencer provedores a implementá-la e usuários a pagar mais caro por serviços com garantias de desempenho. Essas garantias devem estar presentes em todo o trajeto do tráfego entre fonte e destino, ou seja, fim-a-fim, passando por vários domínios (redes) com administrações e características técnicas diversas. O grande desafio, então, está em desenvolver tecnologias e modelos econômicos que incentivem os domínios a oferecerem serviços com QoS onde os usuários de origem e/ou destino estão fora de sua rede.

Atualmente os domínios mantêm vários acordos bilaterais de parceria (*peering*) [12] a fim de trocar tráfego e informações de roteamento entre eles. Esses acordos são negociados estaticamente e o período de renegociação tipicamente é da ordem de meses, dependendo da evolução do tráfego observado. Com a introdução de novos serviços avançados essa situação tende a piorar, devido às mudanças mais frequentes nos padrões de utilização e à necessidade de encontrar novas rotas para atender aos requisitos de desempenho dos serviços. Portanto, os domínios deverão organizar seus contratos usando uma negociação dinâmica de serviços,

¹ Aluno de doutorado do Centro de Informática da UFPE e professor do CEFET Paraíba.

baseada em modelos de negociação eficientes, escaláveis e justos. Essa negociação é indispensável para que recursos sejam provisionados no caminho fim-a-fim entre fonte e destino do tráfego de pacotes na rede.

A Arquitetura Chameleon foi desenvolvida para oferecer serviços avançados na Internet e possibilita a utilização de vários modelos de negociação, como os modelos cascata, estrela e hierárquico. Vários critérios podem ser utilizados para comparar modelos de negociação, como: eficiência, justiça, escalabilidade, complexidade, custos, confiabilidade e estímulo financeiro. Em [15],[16] e [18] a Arquitetura Chameleon é apresentada e o desempenho dos modelos de negociação é avaliado com relação à eficiência.

Este trabalho parte do pressuposto da viabilidade e eficiência dessa arquitetura, e avalia os modelos de negociação sob a luz de um novo critério aqui proposto: a justiça. Quando existem vários domínios necessitando recursos em uma quantidade maior que o disponível, alguns domínios podem ser beneficiados (esporádica ou sistematicamente) em detrimento de outros. O ideal é que não haja disputa por recursos. No entanto, os congestionamentos que ocorrem na Internet revelam que é impraticável contar com isso hoje em dia. A justiça na negociação de serviços passa a ser uma característica de valia ao constatar-se que é impossível que todos os provedores estejam super provisionados todo o tempo e um provedor mal provisionado pode prejudicar vários outros cujo tráfego passa por ele. Neste artigo é proposto um índice de justiça, que engloba os percentuais de recursos recebidos por todos os domínios em cada negociação. Os modelos de negociação cascata, estrela e hierárquico são avaliados por esse índice através de simulações. Para o modelo hierárquico, particularmente, é proposta uma técnica que divide a alocação dos recursos em várias fases, aumentando consideravelmente a justiça na distribuição dos recursos.

Na seqüência do artigo, a Seção 2 apresenta trabalhos relacionados. A Arquitetura Chameleon e o Plano de Serviços são apresentados na seção 3 e a seção 4 descreve os modelos de negociação de serviços. A justiça nos modelos de negociação é avaliada na seção 5. As seções 6 e 7 apresentam as configurações e os resultados da simulação, respectivamente. Finalmente a Seção 8 apresenta conclusões e trabalhos futuros.

2. Trabalhos Relacionados

Na área de serviços avançados fim-a-fim com QoS, o Corretor de Banda (BB - *Bandwidth Broker*) foi o precursor para a negociação e provisionamento de recursos em redes DiffServ [22]. O modelo de negociação cascata da Arquitetura Chameleon é uma extensão do conceito de BB. A arquitetura de Câmara de Compensação [4] para provisionamento de QoS apresentou a primeira motivação para o modelo de negociação hierárquico de serviços. Entretanto, ela não é capaz de negociar serviços baseados em outros parâmetros de QoS.

Recentemente alguns grandes projetos surgiram nessa área, como: TEQUILA [27] trata da definição e negociação de SLSs e engenharia de tráfego; AQUILA [1] tem o objetivo de definir, avaliar e implementar uma arquitetura avançada para QoS na Internet; CADENUS [3] está propondo uma solução integrada para a criação, configuração e provisionamento de serviços com garantias de QoS; QOSIPS [24] está envolvido com o gerenciamento e a tarifação de serviços com QoS; EURESCOM P1008 [6], já finalizado, teve o objetivo de oferecer suporte a provedores interessados em interconectar redes IP e serviços baseados em QoS; o recém criado grupo de trabalho NSIS [23] da IETF visa criar novos protocolos para a sinalização de QoS fim-a-fim. Em nenhum deles, porém, existe a preocupação explícita em separar questões relacionadas a serviços e à operação em planos distintos e em propor e avaliar modelos de negociação de serviços como na Arquitetura Chameleon.

Um dos principais resultados da negociação de serviços é a alocação de recursos fim-a-fim para os serviços avançados. No que se refere a algoritmos eficientes para a alocação de

recursos em redes de computadores, existem poucas propostas, talvez porque os grandes provedores de trânsito (chamados provedores nível 1 – *Tier 1*) mantenham suas redes super provisionadas e não têm incentivos para implantar soluções mais complexas. Notavelmente, a tese de doutorado de Frei [8], fez um bom trabalho nessa área, avaliando heurísticas existentes e propondo novas para a alocação de recursos no âmbito intra-domínio. Para a alocação de recursos inter-domínios, ainda não se conhece nenhuma referência na literatura que trate especificamente desse aspecto. Os provedores de nível 1 têm hoje uma grande resistência em tratar de questões que envolvem a troca de tráfego com outros provedores, que entretanto deve ser quebrada para viabilizar a implantação de serviços avançados, cujo tráfego cruza os limites de vários domínios no caminho entre fonte e destino.

Justiça na alocação de largura de banda tem sido tradicionalmente avaliada pelo critério de justiça max-min [13], que determina que uma alocação é justa quando ela maximiza os recursos (max) atribuídos aos usuários que recebem as menores quantidades (min). Adaptado para a situação de alocação interdomínios, a diferença de abordagem entre critério max-min e o índice de justiça proposto neste artigo é que o primeiro trabalha diretamente com os valores concedidos enquanto que o segundo utiliza percentuais de concessão. Um grande benefício disso é isolar as influências da eficiência da alocação na avaliação da justiça. Além disso, apresenta outras vantagens: (1) é mais fácil de calcular, ou seja, sua eficiência computacional é maior; (2) pode ser calculado para cada modelo de negociação ou algoritmo de alocação independentemente dos outros; (3) gera valores absolutos, e não comparações relativas, como o critério max-min.

3. A Arquitetura Chameleon

A Arquitetura Chameleon está sendo desenvolvida para proporcionar serviços avançados fim-a-fim com QoS na Internet [15][16]. Ela é dividida em três planos lógicos:

- Plano de Serviços: define um modelo abstrato da rede para que a interface externa de todos os domínios seja similar, para fins de definição e negociação de serviços.
- Plano de Operação: os domínios implementam os serviços negociados através de alguma abordagem para QoS na Internet.
- Plano de Monitoramento: é ortogonal aos demais e executa a medição dos parâmetros de QoS, a realimentação das informações e possivelmente uma reação.

A organização da arquitetura nos três planos torna possível aos usuários uma visão homogênea e integrada da rede, embora um serviço possa necessitar da ação conjunta de muitas redes com administração independente que empregam tecnologias de QoS completamente distintas para implementá-lo.

O Plano de Serviços desempenha um papel fundamental na arquitetura Chameleon, porque propicia a visão abstrata necessária para que os serviços oferecidos por todos os domínios tenham um comportamento semelhante. Ele pode ser visto como um plano de cobertura (*overlay*) sobre o plano de operação, que é basicamente representado pela arquitetura atual da Internet, baseada em roteadores, sistemas finais, enlaces, etc. Isso significa que ele pode ser implementado em qualquer domínio da Internet sem exigir modificações na estrutura existente, a não ser aquelas necessárias à operação dos serviços em si. As suas principais funções são definição e negociação de serviços, gerenciamento de recursos, predição de tráfego e controle de admissão. A entidade responsável pelas funções do Plano de Serviços em cada domínio é o Corretor de Serviços (SB - *Service Broker*).

4. Negociação de Serviços na Internet

Os domínios precisam renegociar periodicamente os serviços que oferecem, de maneira dinâmica e automática, para serem capazes de se adaptarem a cenários dinâmicos e constantes

alterações de volume de tráfego. Nesse contexto, negociação de serviços se refere a serviços de transporte, definidos e negociados por domínios. Supõe-se que os serviços de usuário, como voz ou vídeo, já foram negociados através de outro procedimento, independente da negociação de serviços de transporte. Serviços de usuário devem ser mapeados em serviços de transporte para fins de negociação e utilização fim-a-fim.

Na Arquitetura Chameleon, um grupo de domínios que deseja implementar serviços avançados fim-a-fim precisa necessariamente concordar em adotar serviços padronizados (para aquele grupo) através da abstração chamada de Serviço Bem Conhecido [18] (WKS - *Well-Known Service*). Um WKS é um serviço para o qual existe uma definição clara e precisa sobre quais garantias de desempenho um provedor oferece ou espera receber quando está negociando um contrato. Ele deve apresentar o mesmo comportamento em todos os domínios onde é implementado, para que seja possível oferecer um serviço fim-a-fim para os usuários (embora sua implementação possa ser diferente). Os WKSs definem a especificação técnica do serviço, ou SLS [10] (uma parte do contrato de serviços, ou SLA [29]).

No processo de negociação, os domínios podem assumir os papéis de compradores e/ou vendedores de serviços. Domínios vendedores se preparam internamente para implementar WKSs com determinados valores dos parâmetros de QoS. Domínios compradores medem o tráfego e fazem uma predição para o futuro. Como nem todos os domínios estão conectados diretamente, o tráfego de um serviço que inicia em um domínio de origem pode percorrer vários outros domínios de trânsito até o domínio de destino. As garantias de QoS especificadas no WKS devem ser mantidas em todo o caminho entre origem e destino. Os serviços são renegociados periodicamente, sendo que o tempo decorrido entre uma negociação e outra depende de cada cenário. Alguns conceitos importantes são:

- Recurso: item a ser negociado, cuja unidade é representada por bits por segundo (bps).
- Solicitação de recursos: Cada domínio solicita uma determinada quantidade de recursos para cada um dos outros domínios e para cada serviço.
- Alocação de recursos: Processo que visa atender ao maior número de solicitações, fazendo a utilização mais otimizada possível dos recursos disponíveis na rede.
- Concessão de recursos: Os recursos solicitados podem ser concedidos total ou parcialmente. A quantidade concedida é o menor valor disponível em todos os domínios e enlaces no caminho. A concessão é representada pelo percentual de recursos concedidos em relação aos solicitados.

4.1. Modelo Cascata

É o modelo mais comum e de implementação direta, que vem sendo proposto há algum tempo no contexto de Corretores de Banda (BB - *Bandwidth Brokers* [22]), também chamado de modelo bilateral [16]. No modelo cascata, um domínio comprador que deseja vender a seus usuários um serviço até outro provedor de destino negocia com o seu domínio vizinho, que por sua vez negocia com o seu vizinho e assim por diante até o destino (Figura 1).

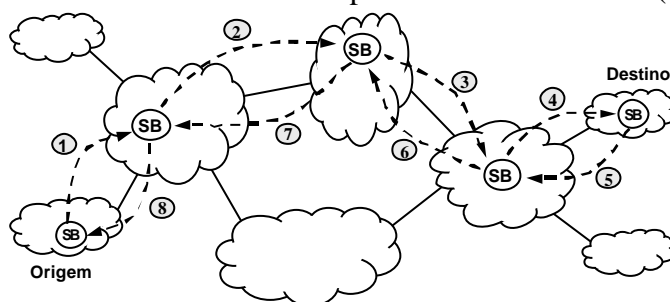


Figura 1 – Modelo Cascata de negociação

A implementação mais comum é através de um protocolo, como o SIBBS [26] do projeto QBone/Internet2, onde as mensagens fluem da origem até o destino, e então voltam comunicando os resultados. Alguns parâmetros, como atraso e perda de pacotes, devem ser atendidos integralmente fim-a-fim para que o serviço opere corretamente. No caso da vazão solicitada, que define a quantidade de usuários do serviço, ela pode ser aceita parcialmente por um ou mais domínios. A negociação pode ser feita sob demanda ou então ser iniciada por algum evento pré-definido, por exemplo, um intervalo de tempo. Quando o número de domínios é grande e dependendo das condições para o início da negociação, o modelo cascata pode apresentar problemas de escalabilidade, por gerar uma carga alta de sinalização [11].

4.2. Modelo Estrela

O modelo Estrela (Figura 2) é uma variação do modelo cascata, onde um domínio que desempenha o papel de Provedor de Serviços é o responsável pela negociação com todos os domínios que estão no caminho entre origem e destino. São necessárias duas fases na negociação: a primeira para solicitar WKS e verificar a disponibilidade de cada domínio e a segunda para fazer a confirmação do total de recursos alocados para cada domínio.

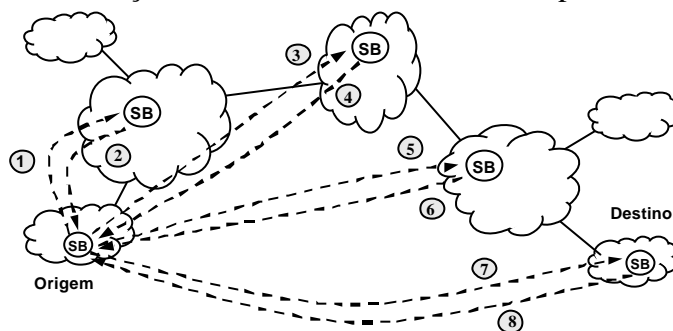


Figura 2 - Modelo Estrela de Negociação

No modelo estrela, o Provedor de Serviços tem um grande controle sobre a negociação. Entretanto, também não é considerado escalável porque o número de mensagens trocadas entre os domínios é aproximadamente o dobro do modelo cascata.

4.3. Modelo Hierárquico

No modelo Hierárquico (Figura 3) vários domínios são agrupados em áreas que ficam sob a coordenação de uma entidade central, chamada de Central de Serviços (SE – *Service Exchange*), responsável pela definição e negociação de serviços. Toda a negociação de serviços ocorre através do SE, ao contrário dos modelos cascata e estrela, onde cada domínio deve manter acordos e negociar com vários outros domínios.

Um SE precisa manter todas as informações necessárias para fazer as negociações de serviços (os serviços oferecidos, a topologia e as características dos enlaces interdomínios²) para os seus domínios participantes. Além disso, domínios enviam periodicamente informações de compra e de venda de serviços, com as quais o SE realiza “rodadas” de negociação, que resultam na permissão total ou parcial de serviços. A permissão de um serviço implica na concessão de recursos fim-a-fim entre os domínios de origem e destino.

Esse modelo oferece algumas características interessantes para a negociação de serviços, como justiça (critério avaliado nesse artigo), eficiência e escalabilidade. A eficiência do modelo hierárquico resulta da visão global que o SE tem da sua área de atuação. Isso permite a configuração de rotas de maneira a otimizar a utilização dos recursos e possibilitar a

²Para que os domínios possam auferir os benefícios proporcionados pelo modelo hierárquico, existe um mínimo de colaboração necessária entre eles, como por exemplo, revelar a sua topologia de interconexão e características dos enlaces externos. Características de implementação e topologia interna não precisam ser reveladas.

satisfação do maior número possível de solicitações de serviços, para cada topologia de rede em particular. O roteamento interdomínios atualmente na Internet é realizado pelo protocolo BGP, baseado no algoritmo do menor caminho. Embora a heurística utilizada por esse algoritmo resulte em um processamento rápido, ele não otimiza a utilização dos recursos da rede, tendendo a deixar algumas rotas congestionadas enquanto outras permanecem com capacidade ociosa[5]. Os modelos cascata e estrela, devido a independência de cada domínio para fazer a negociação isoladamente, estão fadados a utilizar esse algoritmo, embora possibilitem a aplicação de algumas técnicas de roteamento com QoS (QoS) inter-domínios.

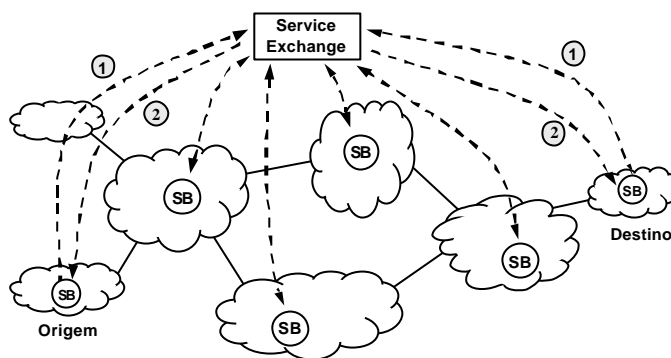


Figura 3 – Modelo Hierárquico de Negociação

O modelo hierárquico, por outro lado, permite a utilização de algoritmos baseados em heurísticas mais eficientes, capazes de investigar um grande número de soluções possíveis. Já foi demonstrado que algumas dessas heurísticas, como o Problema de Satisfação de Restrições baseado em retrocesso (*backtracking*) ou as Ilhas de Bloqueio proposta em [8], conseguem obter resultados superiores (de 20 a 30% dependendo do critério) na alocação de recursos intra-domínio em comparação à heurística do menor caminho [7].

O modelo hierárquico tende a ser escalável porque um SE sempre recebe as solicitações para tráfego agregado. Em cada domínio, o SB agrega o tráfego por serviço e por destino, faz a predição de tráfego para a próxima rodada de negociação e envia ao SE. Cada SE agrega o seu tráfego da mesma forma e se comunica com um SE de nível superior e assim por diante. Não mais do que três níveis de SEs são necessários para negociar serviços na Internet[4]. Os SEs preferencialmente se comunicam sempre através de um SE de nível superior e não diretamente par a par (embora não sejam impedidos de fazer isso). Isso confere escalabilidade ao modelo, porque dentro da área de um SE não se espera uma grande quantidade de domínios participantes. Nesse artigo somente está sendo considerado um nível de SE.

5. Justiça na Negociação de Serviços

Justiça se refere ao grau em que um modelo de negociação é capaz de distribuir os recursos existentes no sistema de maneira a não dar preferência a alguns domínios em detrimento de outros. Ela é medida pela variação dos percentuais de concessão de recursos aos domínios em relação ao que foi solicitado. A justiça somente passa a ser uma preocupação quando existe disputa na obtenção de recursos, ou seja, quando as solicitações excedem a capacidade dos caminhos da rede por onde o tráfego é encaminhado. Em geral, quanto maior a disputa por recursos, maior a possibilidade de que sejam cometidas injustiças. Obviamente, nem todos os recursos da rede podem ser plenamente utilizados, seja porque as solicitações não podem ser distribuídas por rotas distintas ou simplesmente porque os recursos não estão onde eles são mais necessários.

A justiça também depende em grande parte do algoritmo utilizado pelo modelo de negociação para a alocação dos recursos. Quanto maior a capacidade de um algoritmo em alocar eficientemente os recursos, menor será a disputa por recursos e possivelmente também

será menor a injustiça na sua distribuição. Por esse motivo, para que a avaliação da justiça não seja tendenciosa, para fins de comparação neste trabalho os três modelos discutidos utilizam o mesmo algoritmo, de menor caminho. O objetivo é isolar os critérios de justiça e eficiência.

5.1. O Problema da Injustiça

Em teoria, seria interessante que o percentual de concessão de recursos fosse igual para todos os domínios em todas as negociações. Os modelos de negociação em princípio não são capazes de distribuir os recursos de maneira justa entre os domínios. Em geral, ou alguns domínios são sistematicamente beneficiados ou prejudicados nas negociações, ou em momentos distintos os recursos são distribuídos desigualmente de maneira aleatória.

Nos modelos cascata e estrela isto ocorre devido à independência de cada domínio para realizar a solicitação de recursos no momento que desejar. A decisão de reservar ou não é também realizada de maneira independente por cada domínio para cada solicitação, sem levar em consideração outras solicitações. No modelo hierárquico, onde o SE realiza as alocações de recursos para todos os domínios simultaneamente, a concessão dos recursos é fortemente influenciada pela ordem em que os domínios são escolhidos para fazer as tentativas de alocação. Como regra geral, os primeiros domínios recebem mais recursos que os últimos, independente da ordem escolhida.

5.2. Solução Proposta para o Modelo Hierárquico

A solução proposta para obter justiça na negociação para o modelo hierárquico consiste em dividir o processo de negociação em n fases ($n \geq 1$). Em cada fase, o SE tenta alocar uma quantidade de recursos equivalente a $1/n$ dos recursos solicitados por cada domínio. Essa técnica de alocação de recursos, embora discreta, tende a ter um comportamento semelhante a modelos contínuos, quando se utiliza um grande número de fases. O objetivo dessa solução é fazer com que a ordem na alocação não provoque injustiças na distribuição dos recursos. A diferença final no percentual de recursos concedidos a cada domínio deve ser pequena, somente ocorrendo devido às características da topologia escolhida e quantidade de recursos solicitada por cada domínio. A mesma solução é válida quando vários níveis de SEs são utilizados. O fato de se procurar uma solução global para o problema faz com que o uso de SEs intermediários não acrescente informação nem melhorias na solução.

Seja R_i a quantidade de recursos solicitada pelo domínio D_i ($i = 1, 2, \dots, d$) em uma dada rodada de negociação e G_i a quantidade concedida. Seja $P_i = (G_i/R_i) \times 100$ o percentual de recursos concedidos ao domínio D_i . Em cada fase F_j ($j = 1, 2, \dots, n$) a fatia de recursos que o algoritmo tenta alocar para o domínio D_i é $R_{ij} = R_i/n$, concedendo a quantidade G_{ij} . Seja também $P_{ij} = (G_{ij}/R_{ij}) \times 100$ o percentual de recursos concedidos ao domínio D_i na fase j . Desse modo, a injustiça máxima cometida em qualquer fase j é dada por $I_j = (\max(P_{ij}) - \min(P_{ij}))/n$, onde $\max(P_{ij})$ e $\min(P_{ij})$ correspondem ao percentual máximo e mínimo concedidos. Pode-se ver que quando $\max(P_{ij}) = \min(P_{ij})$, $I_j = 0$ e também que quando $n \rightarrow \infty$, $I_j \rightarrow 0$. Ou seja, quando o maior percentual for igual ao menor, então não haverá injustiça nenhuma. Isso é praticamente impossível, a não ser quando não há disputa por recursos e $\max(P_{ij}) = \min(P_{ij}) = 100/n$. Por outro lado, quando o número de fases for suficientemente grande, a diferença se torna desprezível em cada fase. Em termos percentuais, cada fase contribui com a alocação de $100/n$ % dos recursos. Então, a injustiça máxima cometida na negociação é $I = \sum_{j=1}^n I_j$.

Portanto, se na fase j a capacidade de um enlace ou domínio for esgotada, naquela fase a diferença máxima entre os percentuais de recursos concedidos aos domínios que dependem daquele enlace poderá ser $\Delta_j = \max(P_{ij}) - \min(P_{ij})$. Se este enlace pertencer ao caminho

crítico de cada domínio para todos os outros, então nenhum recurso mais pode ser alocado e a diferença máxima entre os percentuais de concessão de recursos aos domínios é Δ_j . Se ainda houver disponibilidade de recursos em outros caminhos para interligar quaisquer outros dois domínios para os quais alguma alocação deve ser feita (que é o caso mais provável), então as alocações prosseguem em novas fases e a diferença máxima aumenta.

5.3. O Índice de Justiça

Vários índices podem ser utilizados para avaliar a justiça dos modelos de negociação. O objetivo é quantificar as diferenças na distribuição dos recursos entre os domínios através da variação dos percentuais de recursos concedidos a cada domínio. Na seção anterior foi utilizada a diferença entre o maior e o menor percentual (faixa) para analisar a solução para o modelo hierárquico. Esse índice de dispersão pode ser utilizado nesse caso, porque os valores máximos e mínimos têm limites bem definidos (são percentuais) [14]. Além desse, outros índices podem ser usados, como o desvio padrão, a distância inter-quartil (IQR), a diferença entre percentis, ou o coeficiente de variação. Um índice de justiça que inclui os percentuais de todos os domínios, adaptado de Raj Jain ([14], p. 36) é definido por:

$$J = \frac{\left(\sum_{i=1}^{nd} P_i\right)^2}{d \sum_{i=1}^{nd} P_i^2} \quad (1)$$

onde P_i é o percentual de recursos concedidos ao domínio D_i e d o número de domínios. Quando todos os domínios receberem o mesmo percentual de recursos, então $J = 1$. À medida que a variação nos percentuais concedidos aumenta, o valor de J diminui até $1/n$ quando apenas um domínio receber 100% dos recursos e os outros não receberem recurso nenhum.

Em geral, valores abaixo de 0,9 representam grandes variações na distribuição dos recursos, o que não retrata fielmente a realidade, ou seja, o índice J concentra os seus resultados em valores próximos a 1, em vez de distribuí-los de maneira mais uniforme entre 0 e 1. Isso pode levar a falsas interpretações dos resultados, uma vez que nesses casos é comum pensar que 0,9 é um valor próximo do desejável. Por isso, propõe-se uma transformação linear no índice J para melhorar a intuição a seu respeito, que espalha os resultados entre 0 e 10.

$$NJ_L = \begin{cases} \frac{(J - L)}{(1 - L)} \times 10 & , \text{ caso } J > L \\ 0 & , \text{ caso } J \leq L \end{cases} \quad (2)$$

onde L é o limite inferior de corte, abaixo de onde todos os valores de NJ_L assumem valor 0. Particularmente, nesse trabalho está sendo proposto o índice $NJ_{0,7}$ com $L = 0,7$. Outras transformações foram avaliadas, mas este truncamento foi o que melhor permitiu separar visualmente as diversas situações estudadas. A interpretação para L é que quanto mais próximo de 1 o seu valor, menor os valores produzidos por NJ_L . A avaliação da seção 7 é baseada no índice $NJ_{0,7}$, que apresenta resultados compatíveis com outros índices de dispersão (de acordo com as simulações realizadas).

Tabela 1 - Interpretação dos valores de $NJ_{0,7}$

Faixa de $NJ_{0,7}$	Justiça na distribuição dos recursos
$9 \leq NJ_{0,7} \leq 10$	Desejável (justiça alta)
$7 \leq NJ_{0,7} < 9$	Aceitável (justiça média)
$5 \leq NJ_{0,7} < 7$	Sofrível (justiça baixa)
$0 \leq NJ_{0,7} < 5$	Inaceitável (injustiça)

A Tabela 1 mostra uma interpretação plausível dos valores de $NJ_{0,7}$, com base na experiência dos autores. Ela é útil para avaliar os resultados de simulação da seção 7.

6. Configurações de Simulação

O índice de justiça $NJ_{0,7}$ foi utilizado para realizar uma avaliação entre os modelos de negociação, baseada em simulação. Como principal plataforma de simulação foi utilizada uma versão estendida do Network Simulator 2 (ns-2) [21]. Foi também realizada a substituição do gerador de números aleatórios padrão do ns-2, o Park-Miller [20], pelo gerador de Mersenne-Twister [19]. Em primeiro lugar, o Mersenne-Twister utiliza um período de $2^{19937} - 1$, o que implica que a geração de seqüências de números repetidos é muito improvável (o gerador Park-Miller tem um período de $2^{31} - 2$). Segundo, sua implementação é eficiente, usando apenas operações aritméticas simples (sem multiplicação e divisão), conferindo grande eficiência computacional. Por último, submetido a vários testes espectrais de aleatoriedade, o Mersenne-Twister passou inclusive nos testes mais rígidos, com resultados superiores aos outros geradores conhecidos. Essas características constituem uma razão suficiente para justificar a modificação no gerador do ns-2, pois as simulações tornam-se mais rápidas e seus resultados mais confiáveis.

6.1. Serviços e Modelos de Tráfego

Nesse estudo foram considerados dois serviços de usuário para gerar tráfego para as negociações, os serviços de voz e de vídeo, que foram simulados separadamente. Ambos foram mapeados para um serviço de transporte (WKS) simples definido com um único parâmetro de QoS, a vazão. Um serviço real necessita de uma definição mais completa com outros parâmetros de QoS, como atraso e perda de pacotes. No entanto, como o objetivo é avaliar a justiça e os modelos utilizam o mesmo algoritmo de roteamento (seção 5), esses parâmetros representam restrições impostas igualmente a todos os modelos.

No serviço de voz, a taxa de chegada de chamadas em cada domínio D_i é modelada como um processo de Poisson de intensidade I_i chamadas por segundo com duração distribuída exponencialmente com média de $1/m=120$ segundos. A carga de tráfego em cada domínio é definida como $r_i = I_i/m$. As fontes de voz são modeladas como processos On-Off (processo de Markov), que alternam períodos ativos (“on”) e inativos (“off”) distribuídos exponencialmente com durações médias de 1,004 e 1,587 segundos, respectivamente. Cada fonte gera tráfego CBR de 80 Kbps nos períodos “on” e 0 Kbps nos períodos “off”.

No serviço de vídeo, a taxa de chegadas também é um processo de Poisson, mas a duração médias das sessões é de $1/m=180$ segundos. As fontes de vídeo geram tráfego VBR com taxa média de 384 Kbps ou 64 Kbps (fixo, dependendo da topologia) com uma razão da taxa de pico em relação à taxa média de 3, seguindo o modelo proposto em [2]. Em ambos os casos, não foram gerados pacotes. As sessões de voz e vídeo foram geradas apenas para medir a taxa de transmissão e realizar a predição de tráfego.

6.2. Predição de Tráfego

O SB em cada domínio recebe solicitações de ativação de serviços e informações de tráfego coletadas pelos roteadores de borda do domínio. As medições são compostas de amostras obtidas em instantes (regularmente espaçados) durante uma janela de tempo de duração T_{med} . Os roteadores de borda calculam a média, \bar{x} , e o desvio padrão, s , das amostras e enviam ao SB para prever o tráfego futuro. O Preditor Gaussiano está sendo utilizado, entre alguns tipos de preditores disponíveis na literatura [4]. A justificativa é que quando o número de fluxos individuais é grande, a taxa de chegada agregada tende a ter uma distribuição normal, de acordo com o Teorema Central do Limite.

A estimativa da capacidade (taxa) a ser negociada é calculada através de $\hat{C} = \bar{x} + \mathbf{a} s$, onde \mathbf{a} é um multiplicador que controla o grau com que o preditor acomoda variações nas amostras. Na aproximação da capacidade necessária, espera-se que \hat{C} seja excedida com probabilidade $1 - G(\mathbf{a})$, onde G é a função de distribuição acumulada da distribuição normal padrão. O valor de \mathbf{a} adotado nas simulações foi 2,5.

6.3. Topologias

A escolha da topologia da rede para a simulação é muito importante e deve ser feita de maneira a representar uma rede operando em situações reais. Para esse estudo foram escolhidas quatro topologias, as redes Abilene [28], GÉANT [9] e RNP2 [25] que formam a espinha dorsal da Internet2 americana e das redes de pesquisa européia e brasileira, respectivamente. Além dessas foi utilizada uma topologia simples do tipo Manhattan.

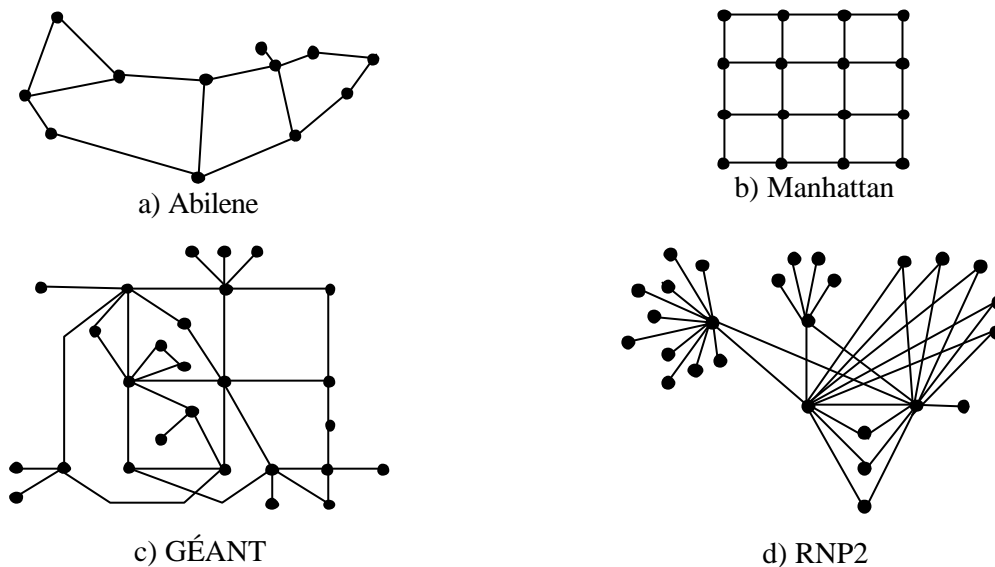


Figura 4 – Topologias simuladas

As quatro topologias têm características interessantes para serem estudadas. Abilene (Figura 4a) tem uma topologia com apenas 12 domínios e todos os domínios são conectados através de enlaces de capacidade idêntica, de 2,5 Gbps. Manhattan (Figura 4b) também tem topologia simples e regular, com 16 domínios conectados através de enlaces de 45 Mbps. GÉANT (Figura 4c) possui 26 domínios interligados em uma topologia mais complexa, com enlaces de capacidades diversas, variando de 34 Mbps a 10 Gbps. RNP2 (Figura 4d) também é uma rede complexa, com enlaces de menor capacidade, variando de 1 Mbps a 25 Mbps. Resumindo, são duas topologias simples com enlaces de mesma capacidade e duas topologias complexas com enlaces de capacidades variadas. Por outro lado, são duas topologias com enlaces de grande capacidade e outras duas com enlaces de relativa baixa capacidade.

Em Abilene e Manhattan a carga foi distribuída igualmente entre os domínios. Em GÉANT e RNP2 a carga foi dividida de acordo com os enlaces que incidem nos domínios. Quando cada chamada de voz ou sessão de vídeo é gerada, além da sua duração, deve ser escolhido um destino para ela. Em Abilene e Manhattan os domínios de destino foram escolhidos com a mesma probabilidade. Em GÉANT e RNP2 as chamadas foram distribuídas entre os domínios de acordo com a capacidade dos enlaces que incidem neles. Essa decisão se deve ao fato de GÉANT e RNP2 possuírem enlaces de capacidades muito distintas, o que na prática significa que a quantidade de tráfego de entrada e saída também é desigual.

7. Resultados de Simulação

Para cada cenário avaliado (conjunto de topologia, carga, serviço, modelo de negociação e número de fases) foram realizadas simulações onde uma negociação ocorre a cada período de 60 segundos (tempo de simulação). Cada domínio gera as chamadas, realiza a predição de tráfego e então envia a solicitação para que seja negociada. Foram realizadas 100 replicações de cada negociação, com eliminação de período transiente inicial (usando o método *batch means*) e coleta dos valores do índice $NJ_{0,7}$ ao fim de cada replicação. Esse número de replicações foi escolhido por representar um compromisso aceitável entre o custo computacional e a confiança estatística nos resultados. Particularmente, 100 replicações garantem uma precisão mínima de $\pm 3\%$ com um intervalo de confiança ao nível de 99,9% para todos os cenários simulados (de acordo com [14], p. 217). Os resultados apresentados nessa seção se referem à média do índice de justiça $NJ_{0,7}$ para as 100 replicações.

7.1. Fases no Modelo Hierárquico

Na seção 5.2 foi visto que, no modelo hierárquico, quando o número de fases tende ao infinito, a diferença dos percentuais de concessão de recursos entre os domínios tende a zero. Como o número de fases é diretamente proporcional ao custo computacional para realizar a negociação, a questão é mantê-lo o mais baixo possível, sem prejudicar a justiça. Portanto, o objetivo das simulações nessa seção foi identificar a quantidade necessária de fases para que o índice de justiça $NJ_{0,7}$ apresente um comportamento estável, a partir de onde o custo computacional em aumentar o número de fases não compensa o benefício obtido na justiça.

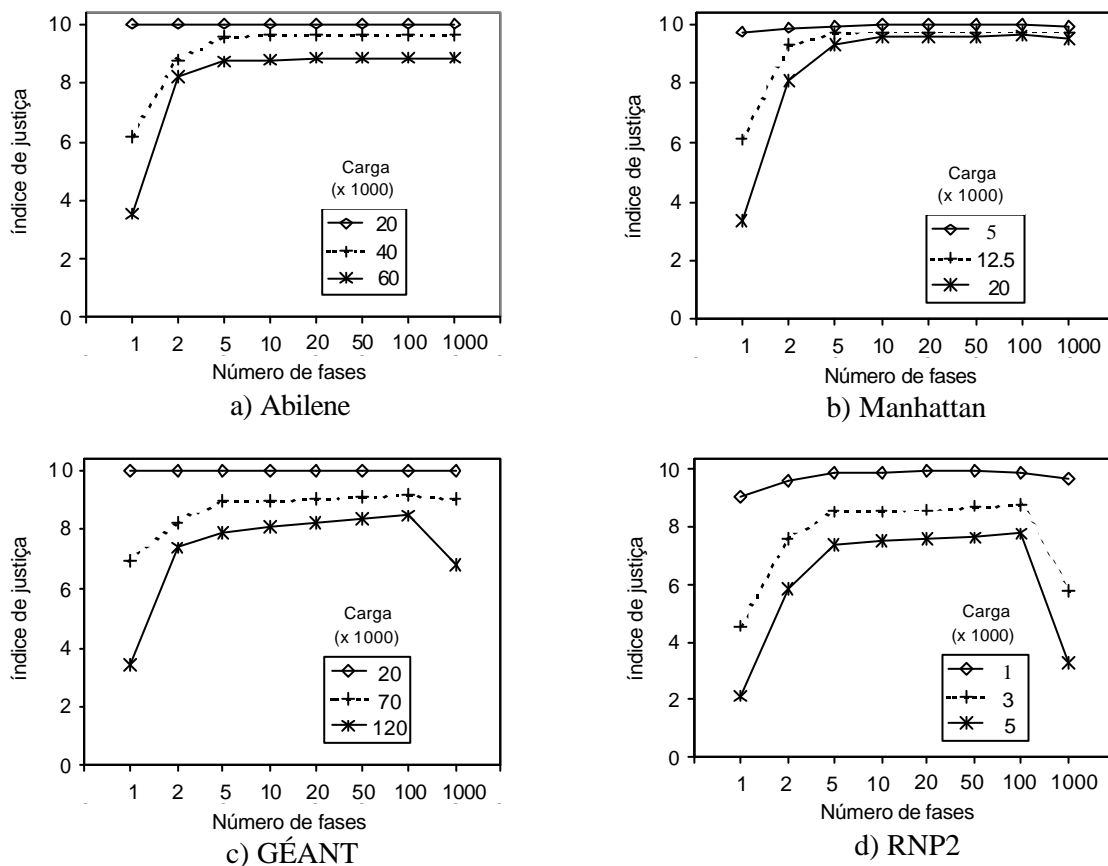


Figura 5 – Influência do número de fases (serviço de voz)

A Figura 5 mostra o índice $NJ_{0,7}$ com as curvas da carga em relação ao número de fases, para as quatro topologias. Os números de fases avaliados foram 1, 2, 5, 10, 20, 50, 100

e 1000. Os gráficos mostram que, a partir de 5 fases o índice $NJ_{0,7}$ tem um comportamento relativamente estável para todas as topologias, apresentando um aumento não muito significativo. Pode-se observar também que $NJ_{0,7}$ diminui conforme aumenta a carga. Isso é explicado pelo aumento da disputa por recursos com os domínios fazendo grandes solicitações. Com poucas fases (uma ou duas), os domínios que ocupam os primeiros lugares na ordem de alocação recebem muitos recursos enquanto outros recebem pouco ou nada. Somente 3 cargas são apresentadas nos gráficos (a maior, menor e intermediária), embora tenham sido usadas de 7 a 10 cargas diferentes para cada topologia (conforme Figura 6).

Em Abilene (Figura 5a), por exemplo, com a carga de 20.000 chamadas, $NJ_{0,7}$ apresentou para todas as fases o valor 10,0. Isso significa que a rede não foi sobrecarregada, isto é, que não houve disputa por recursos e a rede teve condições de atender a todas as solicitações integralmente. Com uma carga de 60.000 chamadas, as solicitações sobrecarregaram a capacidade da rede, e foram concedidos aproximadamente apenas 65% (para todos os números de fases) dos recursos solicitados. Com uma fase, $NJ_{0,7}$ apresentou o valor de 3,52. Esse número representa um alto grau de injustiça, conforme a Tabela 1. Para essa conclusão corroboram as informações que a diferença média entre os percentuais máximo e mínimo ficou em 93,52, o IQR médio em 55,87 e o desvio padrão médio em 31,97. A topologia Manhattan (Figura 5b) teve um comportamento semelhante a Abilene.

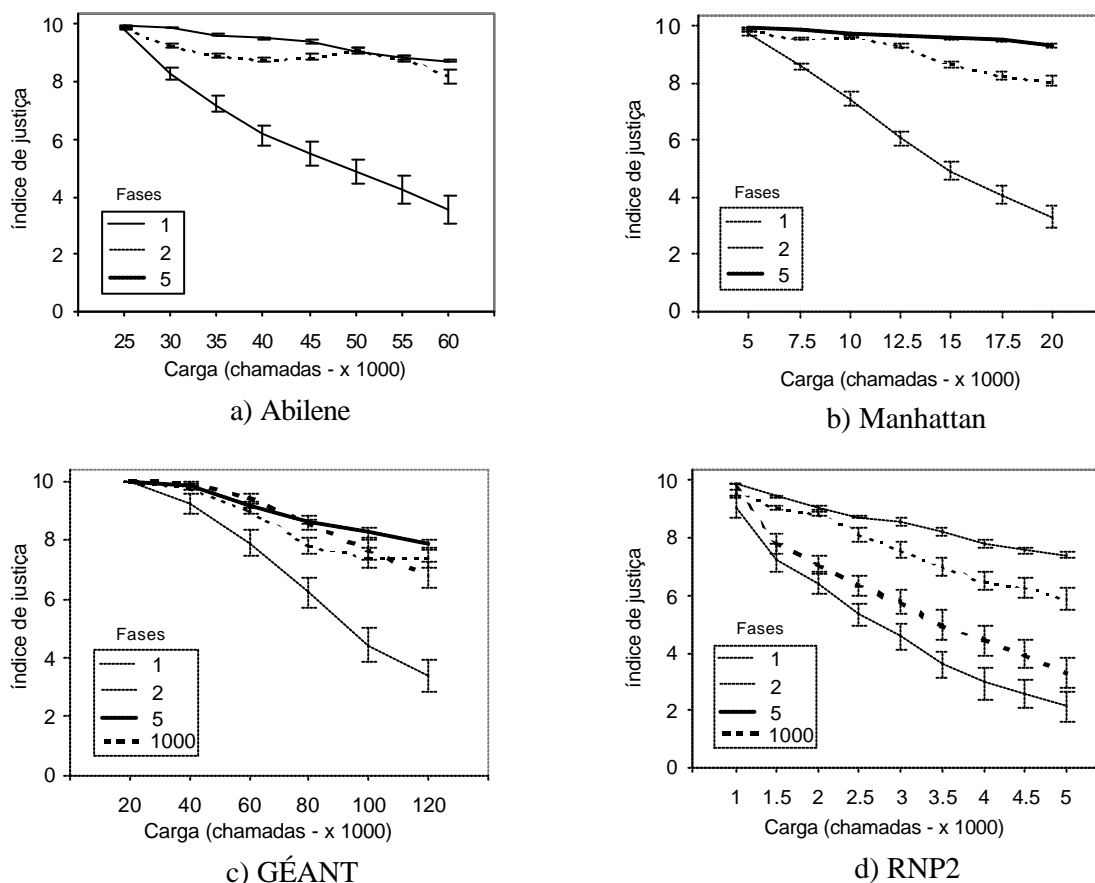


Figura 6 – Separação das fases (serviço de voz)

As topologias GÉANT (Figura 5c) e RNP2 (Figura 5d) apresentaram comportamento semelhante com uma inclinação um pouco maior nas curvas de $NJ_{0,7}$ e com uma queda violenta para 1000 fases. Como o esperado é que a justiça aumente com o número de fases esse resultado pode parecer surpreendente. Contudo, ele é devido ao fato de que o simulador

utiliza valores inteiros, em unidades de Kbps para fazer a alocação dos recursos. O resto da divisão pelo número de fases é atribuído à primeira fase. Nessas topologias a distribuição da carga entre os domínios é muito desigual e alguns domínios solicitam uma quantidade pequena de recursos. Isso faz com que em alguns casos o comportamento para 1000 fases seja semelhante a 1 fase. Por exemplo, se um domínio solicitar 900 Kbps, na primeira fase o algoritmo tentará alocar os 900 Kbps e nada nas outras fases. Uma vez que esse comportamento se deve a uma idiossincrasia do simulador, ele não invalida a conclusão teórica sobre o comportamento assintótico do número de fases em relação à justiça. Além disso, a partir de 5 fases o aumento do custo computacional não compensa o pequeno ganho no índice de justiça, de modo que utilizar 1000 fases em uma situação real não é aconselhável.

A Figura 6 mostra o mesmo fato, agora com as curvas representando as fases com relação às cargas simuladas. As barras representam os intervalos de confiança assintóticos ao nível de 99,9%. Pode-se ver que existe uma separação entre as curvas de 1, 2 e 5 fases para todas as topologias. Como os intervalos de confiança em geral não se sobrepõem (com algumas exceções) pode-se concluir que existe um benefício significativo em aumentar o número de fases de 1 para 2 e 5. Acima de 5 fases, as curvas e os intervalos de confiança se sobrepõem. Como não há uma distinção significativa entre essas fases, as curvas não estão mostradas nos gráficos. Para as topologias GÉANT (Figura 6c) e RNP2 (Figura 6d) também foi incluída a curva para 1000 fases, para mostrar o seu comportamento atípico.

7.2. Modelos de Negociação

Nessa seção são apresentados os resultados de simulações cujo objetivo foi comparar os modelos de negociação de acordo com o critério da justiça. Os modelos cascata e estrela são comparados ao modelo hierárquico com 1 e 5 fases. Esses números de fases foram escolhidos porque, por um lado, uma fase representa o pior resultado e, por outro lado, a partir de 5 fases os benefícios não são significativos, conforme discutido na seção 7.1.

A Figura 7 mostra os resultados do índice $NJ_{0.7}$ para os modelos de negociação e as quatro topologias. Conforme pode ser observado, o modelo hierárquico apresentou um comportamento estável em todas as topologias. Nos gráficos, $NJ_{0.7}$ decresce de modo inversamente proporcional ao crescimento da carga a uma razão que não varia substancialmente entre as topologias avaliadas, tanto para 1 fase quanto para 5 fases. Como as topologias estudadas representam a realidade³ das redes atuais, isso mostra que o modelo hierárquico tende a adaptar-se bem a diferentes cenários, de acordo com o critério da justiça.

Ao contrário do modelo hierárquico, os modelos cascata e estrela apresentaram grandes variações de comportamento para as diferentes topologias. Nas topologias mais simples, Abilene (Figura 7a) e Manhattan (Figura 7b), os resultados de $NJ_{0.7}$ são praticamente idênticos em ambos os modelos, situando-se entre os dois casos do modelo hierárquico (1 e 5 fases). Nas topologias GÉANT (Figura 7c) e RNP2 (Figura 7d), mais complexas, o comportamento dos modelos cascata e estrela é em geral pior que o modelo hierárquico com 1 fase. Isso ocorre por causa da diferença de capacidade dos enlaces e conseqüente desigualdade na carga e nas solicitações dos domínios. Nesses casos, os domínios de menor capacidade (e que fazem solicitações menores) são os mais prejudicados, porque quando a rede está sobrecarregada, facilmente todos os recursos solicitados são negados para eles. Como os domínios de maior capacidade representam uma grande parte da carga da rede, mesmo quando a rede está sobrecarregada eles sempre conseguem obter um bom percentual de recursos. Como o que está sendo avaliado é o percentual de recursos concedidos, mesmo que a alocação de recursos seja eficiente, ela gera uma grande injustiça. No modelo

³ A topologia Manhattan é irreal, mas tem uma simplicidade e regularidade que a torna útil para avaliação.

hierárquico, o algoritmo de alocação de recursos trabalha de maneira centralizada, com uma visão global da topologia e realizando todas as alocações ao mesmo tempo. A ordem dos domínios na alocação é aleatória, de modo que às vezes os domínios de menor capacidade são testados primeiro, resultando em 100% de concessão. Nos modelos cascata e estrela, não se tem esse controle sobre a alocação, que é realizada de maneira assíncrona.

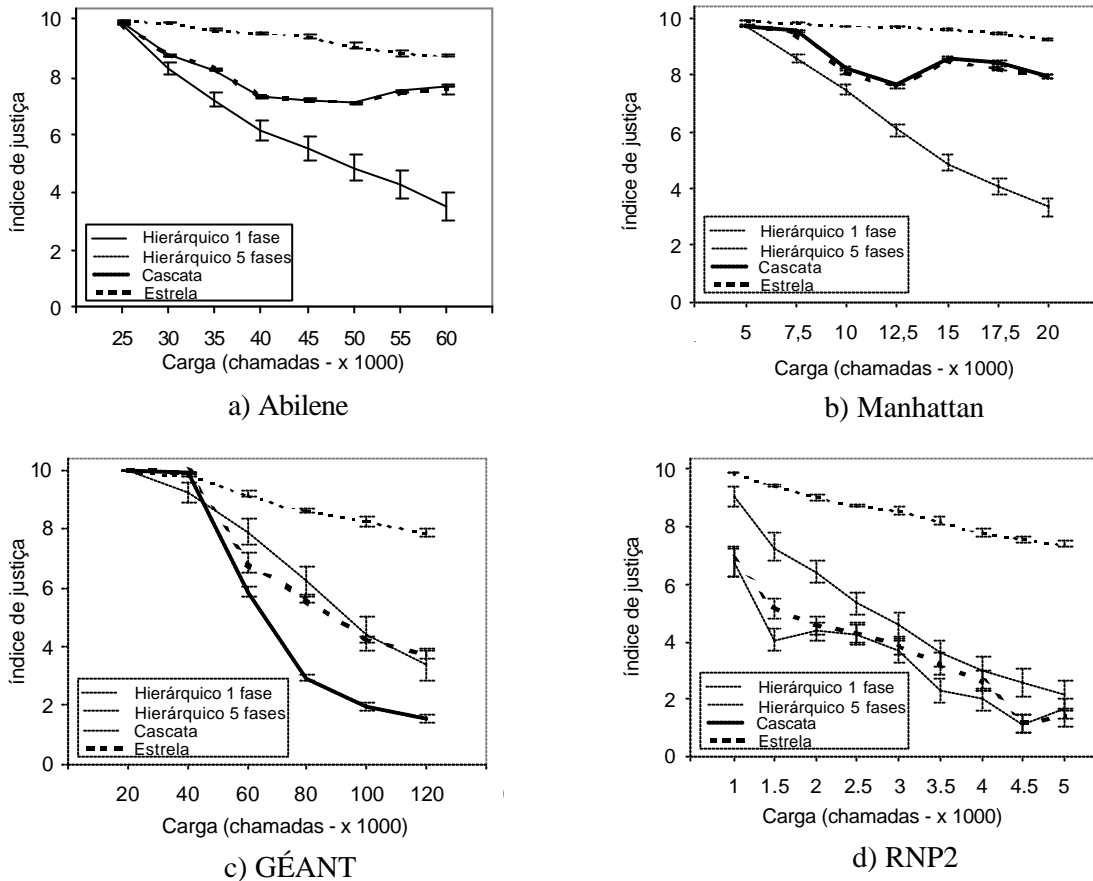


Figura 7 – Comparação entre os modelos de negociação (serviço de voz)

7.3. Serviços

O objetivo dessa seção é comparar os resultados obtidos na seção anterior para o serviço de voz com os resultados do serviço de vídeo. A diferença entre os serviços está no modelo de tráfego gerado. As chamadas do serviço de voz geram tráfego On-Off a 80 Kbps nos períodos On. As sessões de vídeo geram tráfego VBR com taxa média de 384 Kbps para as topologias Abilene e GÉANT e 64 Kbps para as topologias Manhattan e RNP2. A importância que o serviço tem na negociação de recursos (somente vazão, não considerando outros parâmetros de QoS, como é o caso dessa avaliação) se refere à influência na predição de tráfego, que afeta diretamente as solicitações de recursos dos domínios.

Uma comparação entre os pares de gráficos da Figura 7 (voz) e Figura 8 (vídeo) para cada topologia mostra que não houve nenhuma alteração de comportamento do índice $NJ_{0,7}$ que possa invalidar as conclusões da seção 7.2. Os resultados do serviço de vídeo somente vêm a corroborar com a opinião de que o modelo hierárquico com 5 fases é capaz de alocar os recursos de maneira mais justa que os modelos cascata e estrela e o benefício em aumentar o número de fases não compensa o custo computacional.

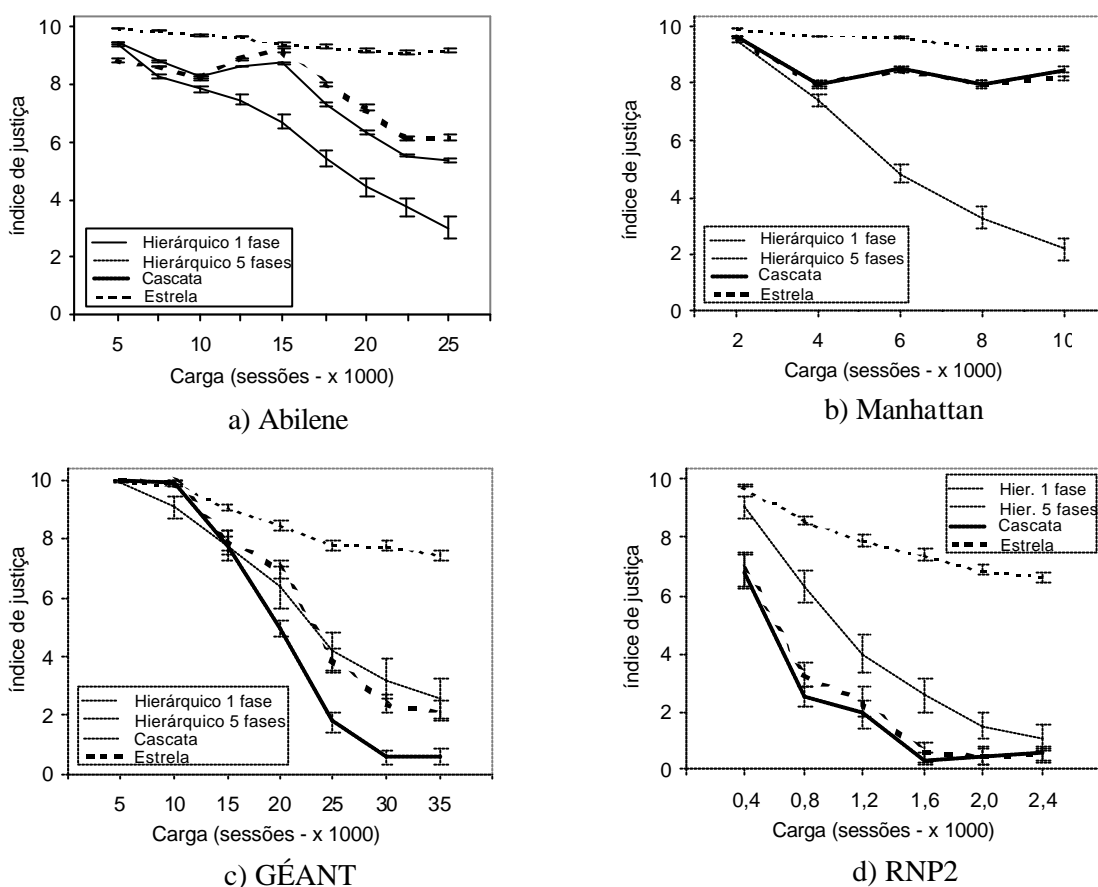


Figura 8 – Comparação entre os modelos de negociação (serviço de vídeo)

8. Conclusão

A Arquitetura Chameleon está relacionada com serviços fim-a-fim baseados em QoS na Internet, onde a negociação de serviços assume um papel importante para estabelecer os relacionamentos entre os domínios. Nesse contexto, a escolha de um modelo de negociação adequado é vital para o sucesso da implantação dos serviços. Esse artigo trata do aspecto da justiça na negociação de serviços na Internet. É proposto um índice para avaliar a justiça na distribuição de recursos entre os domínios e um método para realizar a alocação de recursos de maneira justa no modelo hierárquico. Foram realizadas simulações para vários cenários diferentes, avaliando os serviços de voz e vídeo, topologias Abilene, GÉANT, RNP2 e Manhattan e os modelos de negociação cascata, estrela e hierárquico.

Algumas das conclusões que podem ser extraídas dessa avaliação se referem ao número de fases no modelo hierárquico e à comparação dos modelos de negociação com relação à justiça. As simulações mostraram que, fora algumas exceções de pouca relevância, o índice de justiça aumenta à medida que aumenta o número de fases na alocação. No entanto, um número maior de fases representa também um maior custo computacional, que deve ser minimizado tanto quanto possível. Já a partir de 5 fases o índice de justiça se aproxima do máximo obtido, com resultados estáveis para vários cenários com topologias, cargas e serviços diferentes. Na comparação dos modelos de negociação, foi observado que o modelo hierárquico com 5 fases consegue obter um índice de justiça significativamente superior aos modelos cascata e estrela. Esse valor foi até 4 vezes superior em algumas topologias com a carga muito alta. As simulações mostraram também que o índice de justiça para o modelo hierárquico é mais estável quanto utilizado em diferentes topologias.

Como trabalhos futuros, pretende-se investigar o comportamento da justiça em topologias ainda mais complexas, preferencialmente muito próximas da realidade, produzidas por geradores de topologias conhecidos. A modelagem da topologia também deve contemplar os Pontos de Tráfego de Tráfego (PTTs) [12], onde ocorre a interconexão de vários domínios simultaneamente. Outro aspecto é a avaliação do efeito de otimizações na alocação dos recursos no modelo hierárquico na justiça, utilizando heurísticas mais eficientes. Além disso, pretende-se comparar os resultados do índice $NJ_{0,7}$ com o critério de justiça max-min.

Referências Bibliográficas

- [1] AQUILA Project, <http://www-st.inf.tu-dresden.de/aquila>, 2000.
- [2] Bajaj, S., Breslau, L. & Shenker, S., “Uniform versus Priority Dropping for Layered Video”, ACM SIGCOMM’98, Setembro 1998.
- [3] CADENUS Project, <http://www.cadenus.org>, 2000.
- [4] Chuah, C. N., et. al., “QoS Provisioning Using a Clearing House Architecture”, IWQoS’2000, Junho 2000.
- [5] Crawley, E. et al., “A Framework for QoS-based Routing in the Internet”, RFC 2386, Ago. 1998.
- [6] EURESCOM P1008, <http://www.eurescom.de/public/projects/P1000-series/p1008>, 2000.
- [7] Frei, C. & Faltings, B., “Bandwidth Allocation Planning in Communication Networks”, IEEE Globecom’99, Rio de Janeiro, Dezembro 1999.
- [8] Frei, C., “Abstraction Techniques for Resource Allocation in Communication Networks”, Tese de doutorado, Swiss Federal institute of Technology, Abril 2000.
- [9] GÉANT, “The pan-European Gigabit Research and Education Network”, 2001, <http://www.dante.net/geant>.
- [10] Goderis, D. et. al., “Service Level Specification Semantics and Parameters”, Internet Draft, <draft-tequila-sls-02.txt>, Janeiro 2002.
- [11] Günter, M. & Braun, T., “Evaluation of Bandwidth Broker Signaling” IEEE 7th International Conference on Network Protocols, Outubro 1999.
- [12] Huston, G., “Interconnection, Peering, and Settlements”, Internet Society Conference 99 (INET99), Junho 1999.
- [13] Jaffe, J. M., “Bottleneck Flow Control”, IEEE Trans. on Communications, Julho 1981.
- [14] Jain, R., “The Art of Computer Systems Performance Analysis”, Wiley, 1991.
- [15] Kamienski, C.A. & Sadok, D., “Chameleon: an Architecture for Advanced End-to-End Services in the Internet”, Second IEEE Latin American NOMS (LANOMS’2001), Agosto 2001.
- [16] Kamienski, C.A. & Sadok, D., “Chameleon: uma Arquitetura para Serviços Avançados Fim-a-fim na Internet com QoS”, 19^a SBRC, Maio 2001.
- [17] Kamienski, C.A. & Sadok, D., “Qualidade de Serviço na Internet”, 18^a SBRC, Maio 2000.
- [18] Kamienski, C.A. & Sadok, D., “Service Definition and Negotiation in the Chameleon Architecture”, IEEE International Symposium. on Telecom. (IST 2001), Setembro 2001.
- [19] Matsumoto, M. & Nishimura, T., “Mersenne Twister: A 623-dimensionally equidistributed uniform pseudorandom number generator”, ACM Trans. Model. Comp. Simulation, Janeiro 1998.
- [20] Miller, K. W., “Random Number Generators: Good Ones are Hard to Find,” Communications of the ACM, Outubro 1988.
- [21] Network Simulator (versão 2.1b8a), <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>, Outubro 2001.
- [22] Nichols, K., Jacobson, V. & Zhang, L., “A Two-bit Differentiated Services Architecture for the Internet”, RFC 2638, Julho 1999.
- [23] NSIS Working Group, “Next Steps in Signaling”, 2002.
- [24] QOSIPS Project, <http://qosips.ia.pw.edu.pl>, 2001.
- [25] RNP, “RNP2: Infra-estrutura Internet2 para o Brasil”, <http://www.rnp.br/rnp2>.
- [26] Teitelbaum, B. & Chimento, P., “QBone Bandwidth Broker Architecture”, Draft, Junho 2000.
- [27] TEQUILA Project, <http://www.ist-tequila.org>, 2000.
- [28] UCAID, “Abilene Project”, <http://www.internet2.edu/abilene>, 2001.
- [29] Verma, D., “Supporting Service Level Agreements on IP Networks”, Macmillan, 1999.