

Ema Isabel Modesto Marques

Modelos de localização com filas de espera em rede

Dissertação para a obtenção do grau de Mestre em Gestão (MBA)

Orientador

Prof. Doutor Francisco José Ferreira Silva

Coorientador

Prof. Doutor Pedro Portugal de Sousa Nunes



UNIVERSIDADE DOS AÇORES

outubro de 2015

Agradecimentos

Ao Professor Doutor Francisco José Ferreira Silva e Professor Doutor Pedro Portugal de Sousa Nunes por terem aceite a orientação científica dessa dissertação e pela disponibilidade demonstrada ao longo do trabalho.

A todos os que, direta ou indiretamente, deram motivação e apoio ao longo deste percurso.

Índice

Agradecimentos.....	3
Lista de Tabelas.....	6
Lista de Figuras	7
Introdução	8
1. Revisão Bibliográfica.....	11
2. Modelos de Localização de Filas de Espera.....	17
2.1. Modelos Discretos de Localização.....	17
2.2. Modelos de Localização Estocásticos	26
2.3. Modelos de Locação de Filas de Espera: Servidores Fixos	29
2.3.1. O Problema de Cobertura Probabilística de Localização-Afetação	29
2.3.2. O Problema Probabilístico de Cobertura com Filas de Espera.....	32
2.3.3. O Modelo de Localização-Afetação de Cobertura Máxima com Filas de Espera.....	34
2.3.4. O Problema de Cobertura de Localização de Filas de Espera com Diferentes Prioridades.....	38
3. Rede Aberta de Filas de Espera.....	42
3.1. Nó i na rede de Jackson.....	43
3.2. Rede de Jackson	43
3.3. Conservação de Fluxos.....	44
3.4. Teorema de Jackson	45
3.4.1. Resultados médios das redes do tipo Jackson	48
4. Análise Empírica.....	50
4.1. Formulação do Modelo	50
4.2. Programa	52
4.3. Resultados	54
5. Conclusões	57
Bibliografia	58
Anexos.....	66
Anexo I: $K=2; p=2$	67
Anexo II: $K=2; p=3$	70
Anexo III: $K=2; p=4$	73
Anexo III: $K=2; p=5$	76
Anexo IV: $K=3; p=2$	79
Anexo V: $K=3; p=3$	82

Anexo VI: $K=3$; $p=4$	85
Anexo VII: $K=3$; $p=5$	89
Anexo VIII: $K=4$; $p=2$	93
Anexo IX: $K=4$; $p=3$	96
Anexo X: $K=4$; $p=4$	99
Anexo XI: $K=4$; $p=5$	103
Anexo XII: $K=4$; $p=5$; $\alpha=0,9$	106
Anexo XIII: $K=4$; $p=5$; $\alpha=0,9$; $\tau=0,01$	108
Anexo XIV: $K=4$; $p=5$; $\tau=0,01$	110

Lista de Tabelas

Tabela 1- Situação de referência: 2 redes e 2 centros a serem alocados a cada rede ($K=2$; $p=2$)	68
Tabela 2- Cenário de 2 redes e 3 centros a serem alocados a cada rede ($K=2$; $p=3$)	71
Tabela 3- Cenário de 2 redes e 4 centros a serem alocados a cada rede ($K=2$; $p=4$)	74
Tabela 4- Cenário de 2 redes e 5 centros a serem alocados a cada rede ($K=2$; $p=5$)	77
Tabela 5- Cenário de 3 redes e 2 centros a serem alocados a cada rede ($K=3$; $p=2$)	80
Tabela 6- Cenário de 3 redes e 3 centros a serem alocados a cada rede ($K=3$; $p=3$)	83
Tabela 7- Cenário de 3 redes e 4 centros a serem alocados a cada rede ($K=3$; $p=4$)	86
Tabela 8- Cenário de 3 redes e 5 centros a serem alocados a cada rede ($K=3$; $p=5$)	90
Tabela 9- Cenário de 4 redes e 2 centros a serem alocados a cada rede ($K=4$; $p=2$)	94
Tabela 10- Cenário de 4 redes e 3 centros a serem alocados a cada rede ($K=4$; $p=3$)	97
Tabela 11- Cenário de 4 redes e 4 centros a serem alocados a cada rede ($K=4$; $p=4$)	100
Tabela 12- Cenário de 4 redes e 5 centros a serem alocados a cada rede ($K=4$; $p=5$)	104
Tabela 13- Cenário de 4 redes e 5 centros a serem alocados a cada rede e da probabilidade do tempo de espera ser menor ou igual a τ de 0,9 ($K=4$; $p=5$; $\alpha=0,9$)	107
Tabela 14- Cenário de 4 redes e 5 centros a serem alocados a cada rede, da probabilidade do tempo de espera ser menor ou igual a τ de 0,9 e do limite para o tempo de espera ser 0,01 ($K=4$; $p=5$; $\alpha=0,9$; $\tau=0,01$)	109
Tabela 15- Cenário de 4 redes e 5 centros a serem alocados a cada rede e do limite para o tempo de espera ser 0,01 ($K=4$; $p=5$; $\tau=0,01$)	111

Lista de Figuras

Figura 1- Diagrama de Transição de Estado, Sistema de Fila de Espera M/M/s/s	33
Figura 2- Diagrama de Transição de Estado, Sistema de Fila de Espera M/M/1.....	36
Figura 3- Representação do Nó i na rede de Jackson.....	43
Figura 4- Representação da Rede de Jackson	44
Figura 5- Representação Esquemática da Conservação de Fluxos	45
Figura 6- Representação da Estrutura Geral para Redes com Filas de Espera Abertas	46

Introdução

A existência de filas de espera trata-se de um fenómeno corrente no dia-a-dia, que se deve à existência de clientes- que se podem tratar de pessoas, veículos ou outras entidades físicas ou conceptuais- que necessitam de um serviço, pelo qual podem ter que esperar numa fila física ou conceptual (por exemplo senhas com número de atendimento).

Verifica-se a existência de filas de espera sempre que o número de clientes é superior ao número de servidores. Como o servidor demora algum tempo a atender cada cliente (tempo de serviço), em muitas situações os clientes vão encontrar o servidor ocupado e terão de aguardar em fila de espera.

O estudo de sistemas fila/servidor aplica-se em inúmeras áreas, desde de atendimento ao público (bancos, serviços públicos, etc.) até ao estudo do comportamento humano e redes de computadores.

Para efetuar uma análise teórica de uma fila de espera é necessário ter em consideração uma diversidade de tipos de parâmetros que a caracterizam, tais como o carácter aleatório das chegadas de clientes e as variações que podem existir nos tempos de serviço; a ocupação média da fila de espera e o atraso médio no sistema.

Como referido em Bhaskar et al (2010) os modelos de localização com filas de espera em rede, têm sido utilizados para investigar problemas de fornecimento de cadeias há muitos anos. Na década 40 do século passado, aqueles modelos eram utilizados para solucionar uma variedade de problemas de interferência de máquinas, ou seja, a determinação da quantidade de pessoal, para efetuar reparações, necessária para a manutenção de um sistema em condições, ou o número de operadores telefónicos necessários para gerir chamadas de tráfego. Os modelos de localização com filas de

espera em rede são utilizados para analisar os tradeoffs relacionados com o número de servidores versus o tempo de espera dos clientes/utilizadores.

Claramente, se o número de servidores é elevado, o seu custo (dos servidores) é elevado, mas o tempo de espera (custo do tempo de ócio do cliente/utilizador) é baixo (Bhaskar et al (2010)).

Segundo Bhaskar et al (2010), os modelos de localização com filas de espera em rede calculam o número ótimo de clientes/pontos de solicitação de serviço (servidores), no sentido de minimizar o custo para os negócios. Considera a taxa média de chegada de chamadas, a taxa média de serviço ao cliente, o custo para o negócio do tempo de espera do pedido (insatisfação do cliente) e o custo para operar os pontos de prestação de serviço.

De acordo com os mesmos autores, os modelos de localização com filas de espera em rede são utilizados para obter, à priori, informação não só sobre medidas de performance importantes tais como comprimentos das filas de espera, tempos de resposta e de espera, mas também outras medidas de performance, tais como: (a) probabilidade da ocorrência de algum atraso; (b) probabilidade que a demora total seja maior que um valor pré-determinado; (c) probabilidade de todas as instalações de serviço (servidores) sejam ociosas; (d) tempo de ócio expetável de todas as instalações, e (e) probabilidade de retornos devido a insuficientes acomodações de espera. Alguns tipos de problemas de filas de espera envolvem a determinação do número apropriado de instalações de serviço para cobrir a procura expetável, bem como determinar a eficiência dos servidores e o número de servidores de diferentes tipos nas instalações de serviço

O trabalho encontra-se organizado da forma que se segue. O Capítulo 1 apresenta uma revisão bibliográfica com o objetivo de efetuar a análise de modelos de localização e afetação que incorporem efeitos de filas de espera e a respetiva simulação de modo a testar os parâmetros e prerrogativas do estudo.

No Capítulo 2 é efetuada a enumeração dos modelos de localização de filas de espera utilizados para a realização do presente trabalho, nomeadamente, Modelos

Discretos de Localização; Modelos de Localização Estocásticos e Modelos de Locação de Filas de Espera com Servidores Fixos e do Capítulo 3 consta a explicação de rede aberta de fila de espera, com ênfase na rede e teorema de Jackson.

O Capítulo 4 inicia-se com a apresentação da formulação do modelo e do programa para uma situação de referência. Neste mesmo capítulo são simulados alguns desvios em relação à situação de referência. Aqui consideram-se os impactos nos tempos de espera e no fluxo médio de clientes/usuários que passam pelo nó i (λ) da variação do número de centros a localizar em uma rede (p); número de redes (K); no limite para o tempo de espera (τ) e probabilidade do tempo de espera ser menor ou igual a $\tau(\alpha)$.

Por último, no Capítulo 5 são expressas as principais conclusões, limitações e lançadas pistas para trabalhos a desenvolver no futuro.

O trabalho inclui ainda um conjunto de anexos onde são representadas as tabelas resultantes da variação de alguns parâmetros em relação à situação de referência.