

APLICAÇÃO DO ESTUDO DA TEORIA DE FILAS NA MELHORA DA QUALIDADE DO SISTEMA DE ATENDIMENTO AO CLIENTE: ESTUDO DE CASO EM UM SUPERMERCADO DE SALVADOR/BA¹

João Paulo Fraga Pires Britto²

Orientador: Orlando Floriano de Souza Neto³

RESUMO

Este trabalho refere-se ao sistema de atendimento ao cliente de um supermercado em Salvador/BA que foi mal dimensionado, gerando assim, um tempo de espera inaceitável para os clientes. O mal dimensionamento de um sistema pode provocar diversos problemas: para os usuários, se subdimensionado, aumentando o tempo de espera na fila, bem como para os gestores, se superdimensionado, acarretando ociosidade nos canais de atendimento. Utilizou-se a Teoria de Filas com o intuito de analisar as características da espera e um novo modelo M/M/s é proposto para avaliar esse período de congestionamento do sistema, resultando em um tempo médio aceitável de espera na fila.

Palavras-Chave: Teoria de Filas. Fila. Supermercado. Qualidade.

ABSTRACT

This work refers to the customer service system of a supermarket in Salvador/BA that was poorly dimensioned, thus generating an unacceptable waiting time for customers. Bad sizing of a system can cause several problems: for users, if undersized, increasing the waiting time in line, as well as for managers, if oversized, causing idleness in the service channels. Queuing Theory was used in order to analyze the characteristics of the queue and a new M/M/s model is proposed to analyze this period of system congestion, resulting in an acceptable average waiting time in the queue.

Keywords: Queuing Theory. Row. Supermarket. Quality.

¹ Artigo desenvolvido como requisito na disciplina Projeto Aplicado, do curso de Especialização em Gestão da Qualidade do Centro Universitário Jorge Amado - Unijorge

² Bacharel em Engenharia de Produção e estudante do curso de Especialização em Gestão da Qualidade do Centro Universitário Jorge Amado (Unijorge).

³ Bacharel em Arquitetura e Urbanismo, Pós-graduação em Marketing Estratégico, Docente do Centro Universitário Jorge Amado (Unijorge).

1. INTRODUÇÃO

A história da qualidade está diretamente relacionada à evolução da indústria a partir da primeira metade do século XX. Foi nesse período, entre os anos de 1920 e 1930, que começaram a surgir nos parques industriais os primeiros especialistas no assunto. Contudo, foi somente após a Segunda Guerra Mundial que a qualidade ganhou impulso, principalmente por causa dos japoneses.

Em uma definição mais genérica e sucinta, o conceito de qualidade se dá por meio de um conjunto de atributos que se refere ao atendimento das necessidades dos clientes e ao padrão de produtos e serviços disponibilizados por uma organização.

A Pesquisa Operacional, por sua vez, é uma ciência que faz a utilização de técnicas matemáticas voltadas para a resolução de problemas em diversos setores, se tornando uma importante ferramenta para os gestores, que por sua vez fazem uso dessas informações as quais os auxiliam nos processos de tomada de decisões e planejamento. Outras técnicas também englobam a Pesquisa Operacional dentre as quais destacaremos a Teoria de Filas.

Inicialmente utilizada na aplicação em sistemas telefônicos, a Teoria de Filas consiste na modelagem analítica de processos ou sistemas que resultam em espera através de dados estatísticos e estocásticos e tem como principal objetivo determinar e avaliar quantidades, que se denominam medidas de desempenho, que expressam a produtividade e operacionalidade desses processos. Atualmente é cada vez mais comum as organizações buscarem por soluções que maximizem os lucros e otimizem os seus processos, então a Teoria de Filas se tornou o método responsável por avaliar a capacidade de atendimento desses sistemas, levando em consideração o número de chegadas de clientes, tempo de espera e o de atendimento.

Uma das filas mais comuns no cotidiano é a do supermercado, onde o cliente faz suas compras e se dirige para uma fila que o levará até um canal de atendimento, o caixa. As filas de supermercado têm um padrão de atendimento FIFO (primeiro a chegar é o primeiro a ser atendido) ou por prioridade de certas classes. Geralmente o que acontece nesses estabelecimentos é o mau dimensionamento do número de postos de atendimento ao cliente, principalmente nos horários de pico, quando pode-se observar que a taxa de chegada do cliente na fila é maior do que a taxa de atendimento, o que se agrava com a insuficiência de postos de atendimento, fazendo com que os usuários do sistema passem

muito tempo na fila, o que para os empresários é ótimo, pois o custo com funcionários será reduzido.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

No que tange a Pesquisa Operacional, antes de mais nada é necessário definir conceitos que envolvem o tema em evidência, como sendo a principal metodologia para a realização desse estudo de caso. Conceitua-se a Pesquisa Operacional como uma ciência que tem como objetivo fornecer ferramentas que facilitem o processo de tomada de decisões. Ela é formada por várias disciplinas, dentre elas estão: Simulação, Teoria das Filas, Programação Linear, Programação Dinâmica, Teoria dos Jogos, e outras. Essas disciplinas que compõem a Pesquisa Operacional se apoiam em quatro segmentos fundamentais: Matemática, Estatística, Economia e Informática. (PRADO,2009).

Como área do conhecimento, a Pesquisa Operacional estrutura processos, propondo um conjunto de alternativas de ação, fazendo a previsão e comparação de valores, de eficiência e custo. A maioria das suas aplicações abrangem áreas de administração, produção, planejamento e organização. Seus fundamentos se encontram na matemática, na análise de sistemas e na estatística. (LOESCHA et all, 2009)

Avançando na construção textual, a Teoria de Filas é um tópico da Pesquisa Operacional que emprega conceitos básicos de processos estocásticos e de matemática aplicada para analisar o fenômeno de formação de filas e suas características. (GALVÃO,1975).

A abordagem matemática da Teoria de Filas se deu no início do século XX (1908) em Copenhague, Dinamarca, com A. K. Erlang, que é considerado o pai da Teoria das Filas, onde, na ocasião ele trabalhava em uma companhia telefônica estudando o problema de redimensionamento de centrais telefônicas. (PRADO,2009). Teoria das Filas aborda problemas de obstrução de sistemas, cuja principal característica é a presença de “clientes” requerendo “serviços” de alguma forma. De maneira mais simples, um sistema de filas é composto de elementos que querem ser atendidos em um posto de serviço e que, eventualmente, devem esperar até que o posto esteja disponível. (LEOPOLDINO,2009).

Aprofundando da temática, dentro da Teoria de Filas classifica-se uma fila como qualquer processo onde usuários oriundos de uma determinada população chegam para receber um serviço pelo qual esperam, se for necessário, saindo do sistema assim que o serviço se completa. Essa espera acontece quando a demanda é maior que a capacidade de atendimento oferecido, em termos de fluxo. (FOGLIATTI et all,2007)

Uma fila possui várias características que a define, tais como sua classificação, processos de chegada e atendimento, número de servidores, capacidade do sistema, disciplina da fila e medidas de desempenho, os quais serão tratados nos itens a seguir. Um sistema com fila é composto por usuários, canais ou postos de serviço/atendimento e por um espaço reservado para a espera. Os usuários chegam em um determinado espaço de tempo, configurando o sistema de chegada, para serem atendidos em determinado posto, enquanto os canais estão ocupados os usuários aguardam em uma fila como espaço reservado para a mesma. (OLIVEIRA et al,2015).

Além das características gerais de um sistema de filas, é de extrema importância definir a ordem do sistema, que por sua vez é um elemento indispensável no estudo das filas as quais se classificam em: fila única e um servidor, fila única e múltiplos servidores em paralelo, múltiplas filas e múltiplos servidores em paralelo, fila única e múltiplos servidores em série. A disciplina da fila é quem determina qual a ordem em que os usuários serão atendidos. (OLIVEIRA et al,2015).

Dentro da teoria de filas existem provas que podem ser usadas para verificar a eficiência da prestação do serviço, entre eles são: tempo médio de um usuário na fila, tamanho médio da fila, tempo médio gasto pelo usuário na fila desde a chegada até o momento da saída do sistema, tempo de ociosidade ou congestionamento no ponto de atendimento. (OLIVEIRA,2015).

A situação típica, mais simples possível, que resulta na formação de uma fila encontra-se representada no Anexo 1, onde, FONTE DE CLIENTES é a população (no sentido estatístico de “conjunto de clientes”). Esses clientes chegam ao local em que será prestado o atendimento apresentando um certo comportamento de chegada. Talvez não possam ser atendidos de imediato, caso em que ficarão aguardando em uma fila. Passarão, então, por um PROCESSO DE SELEÇÃO, quando, segundo algum critério, serão selecionados para o atendimento (o critério mais comum, que todos conhecem, é de atender os clientes na ordem de chegada). Serão atendidos no posto de atendimento; esse atendimento terá suas características próprias, ou seja, seu comportamento de atendimento próprio. (MOREIRA,2010).

Pertinente ao Processo de chegada e tempo de atendimento, as CHEGADAS DE CLIENTES a um sistema acontecem, na maioria das vezes, de forma aleatória, ou seja, o número de chegadas de clientes por unidade de tempo varia de acordo com o acaso. Sendo assim, se torna importante realizar um levantamento estatístico com o intuito de descobrir

se a maneira de chegada pode ser caracterizada por uma distribuição de probabilidades. Para que essa caracterização seja feita, o processo de chegadas tem necessariamente que estar no chamado “estado estacionário”. Isso quer dizer que a distribuição de probabilidades de hoje será a mesma de amanhã. Não acontecendo isso, o sistema é intitulado “não-estacionário” ou “transitório”. (LEOPOLDINO,2009).

Existem mais de um aspecto a ser estudado quanto ao comportamento de CHEGADA DOS CLIENTES: Chegada isolada ou em grupos. O cliente pode chegar sozinho ao posto de atendimento, como acontece quando uma pessoa vai fazer uma retirada em um caixa eletrônico; pode chegar em grupos, como acontece quando um ônibus cheio de turistas estaciona em um restaurante para almoçar. Quando as chegadas são isoladas ou são uma mistura de chegadas isoladas e de pequenos grupos, faz-se a suposição de que todas as chegadas são isoladas. (MOREIRA,2010).

O processo de entrada dos usuários é determinado pelo comportamento do fluxo de chegadas dos clientes ao sistema. Se os números de chegadas são conhecidos e os instantes de tempo em que elas acontecem também, esse processo é chamado de determinístico; caso contrário, tem-se um comportamento aleatório constituindo um processo estocástico caracterizado por uma distribuição de probabilidade. (FOGLIATTI,2007).

O processo de chegada aponta qual o padrão de chegada dos clientes no sistema. Apresentando um comportamento estocástico, ou seja, as chegadas acontecem no tempo e no espaço conforme as leis da probabilidade; desta forma, é necessário conhecer qual a distribuição de probabilidade que representa os tempos entre as chegadas dos clientes. (OLIVEIRA et al,2015).

Outro tópico relevante a ser considerado diz respeito ao número de servidores, também conhecido como canais/postos de serviço, indicam a quantidade de “pontos de atendimento” do sistema. As filas podem usufruir das seguintes características: fila única com apenas um canal de atendimento, fila única e múltiplos canais, filas múltiplas e múltiplos canais. (PRADO,2009).

Os canais ou postos de serviço (em paralelo) são os locais (físicos ou não) onde são atendidos os usuários. O número de postos de um sistema pode ser finito ou infinito. Como exemplo do primeiro caso, podemos citar os guichês de um posto de pedágio e do segundo, qualquer atendimento tipo “self-service”, onde o cliente e servidor são a mesma pessoa e onde o serviço está sempre disponível. (FOGLIATTI,2007).

Uma fila é chamada de fila de canal único quando existe uma única instalação de atendimento. Uma fila é chamada de canal múltiplo se existir duas ou mais instalações de atendimento. O atendimento único é chamado de atendimento único se for realizado integralmente por um só posto de serviço; é chamado de atendimento múltiplo se forem necessários dois ou mais postos em sequência, cada qual responsável por uma parte do atendimento. (MOREIRA,2010).

Deve-se considerar outro componente, que é a capacidade do sistema, ou seja, a quantidade máxima de usuários que o mesmo pode comportar (incluindo fila e atendimento) podendo ser finita ou infinita essa capacidade. Como por exemplo, podemos referir em primeiro caso, um posto de vistoria de carros que aceita um número máximo de carros esperando pelo serviço, e no segundo caso, um porto onde navios chegam para descarregar, aguardando, se for necessário, no mar. No caso de capacidade finita, quando essa é atingida, os usuários que chegaram depois desse instante são rejeitados.

Além dos aspectos já mencionados, analisa-se também a disciplina da fila, ou seja, um agrupamento de regras que apontam a ordem em que os clientes presentes na mesma serão atendidos. A disciplina de atendimento é o critério estabelecido pela parte gerencial do sistema, segundo o qual os clientes que se encontram na fila são atendidos nos postos quando o mesmo fica disponível. Dentre as disciplinas mais utilizadas, podemos listar: FIFO (First In First Out) - Primeiro a chegar é o primeiro a ser atendido; LIFO (Last In First Out) - Último a chegar é o primeiro a ser atendido; PRI (Priority Service) - O atendimento segue uma ou mais prioridades preestabelecidas pela gerência, como exemplo temos a internação hospitalar/cirurgia; SIRO (Service In Random Order) - Atendimento segue uma ordem aleatória, como exemplo temos a contemplação de consórcio.

Outro tópico a ser dimensionado diz respeito as Medidas de Desempenho, levando-se em consideração que o tempo desperdiçado em filas de espera pode indicar um custo para as organizações. Entende-se a preocupação dos gestores em melhorar as propriedades dos sistemas de fila de espera considerando diversas possibilidades e para isso é importante mensurar o funcionamento de cada sistema através de medidas de desempenho que estabelecerão uma importante informação para quem decide. (OLIVEIRA,2015). Estas medidas são: Número Médio de Clientes na Fila de Espera (L_q), Número Médio de Clientes no Sistema (L), Tempo Médio que um Cliente Espera na Fila (W_q), Tempo Médio que um Cliente Espera no Sistema (W), Probabilidade de

que o Sistema Esteja Ocupado (ρ) e Probabilidade de que o Sistema Esteja Desocupado (P_0)

Essa possibilidade de intervenção numa não conformidade em um processo (espera em fila), perpassa por um eixo voltado a implementação de critérios de Qualidade que devem ser vislumbrados por uma gestão comprometida com a eficácia e eficiência do seu modelo de negócios. Segundo HESS (2021), qualidade é aquilo que atende às suas expectativas (ou às do cliente), que o faz querer voltar ao lugar ou comprar novamente. Ou seja, A satisfação com o produto/serviço é uma das maneiras de conquistar o seu cliente, mas, claro, não é a única.

3. ESTUDO DE CASO

O estudo em questão foi realizado em um supermercado localizado no bairro de São Rafael, que fica em Salvador/BA. Esse supermercado atende a um grande volume de clientes no seu horário de pico que é das 17:00 às 19:00 horas, tendo conhecimento disso, o gerente e proprietário do estabelecimento disponibilizaram 4 canais de atendimento, como o objetivo de atender a demanda daquele período.

4. METODOLOGIA DE PESQUISA

Os dados foram coletados no instante em que o processo ocorria, por meio de observação e quantificação de notas fiscais do período. Para obter os resultados mais sólidos possíveis, foi feita uma breve entrevista com o supervisor do estabelecimento que informou o horário de 17h às 19h como sendo o horário de pico, e logo em seguida, com o auxílio de um cronômetro digital foram coletados os seguintes dados: Registro do instante em que o cliente chegou na fila, Tempo do intervalo de chegada entre os clientes na fila, Quantidade de caixas disponíveis, Registro do instante em que inicia o atendimento do cliente pelo caixa, Registro do instante em que finaliza o atendimento do cliente e Tempo gasto para o atendimento.

Para esse trabalho, o sistema foi presumido como um modelo Markoviano, M/M/s, de fila única no qual as distribuições dos tempos de atendimento e chegadas são respectivamente de Poisson e exponencial, sendo o número de servidores/canais para atendimento dos clientes. Vale ressaltar que o atendimento ao cliente realizado pelos canais, consiste em um sistema em paralelo com fila única de atendimento seguindo a ordem de chegada dos clientes – FIFO (First In First Out). Desta maneira, foram utilizadas

as equações a seguir para analisar o modelo M/M/s onde λ se refere a taxa de chegada, S é o número de atendentes no sistema e μ é a taxa de atendimento, de modo $S\mu$ é a taxa de atendimento do sistema. A seguir são apresentadas as equações dos indicadores de desempenho da fila, onde a taxa de utilização ρ é dada por:

$$\rho = \frac{\lambda}{s \cdot \mu}$$

A probabilidade (P0) de não existirem clientes no sistema

$$P_0 = \frac{1}{\sum_{j=0}^{s-1} \frac{\rho^j}{j!} + \frac{(s \cdot \rho)^s}{s! (1 - \rho)}}$$

Probabilidade de que todos os canais estejam ocupados

$$P_{ocup.total} = \frac{P_0 (s \cdot \rho)^s}{s! (1 - \rho)}$$

Número médio de clientes na fila (Lq)

$$L_q = \frac{P_{ocup.total} \cdot \rho}{1 - \rho}$$

Número médio de clientes no sistema (L)

$$L = L_q + \frac{\lambda}{\mu}$$

Tempo médio de espera na fila (Wq)

$$W_q = L_q \cdot \frac{1}{\lambda}$$

Tempo médio gasto no sistema (W)

$$W = L \cdot \frac{1}{\lambda}$$

5. ANÁLISE DE RESULTADOS

Após a realização dos cálculos, apresentados nos Anexos 2 e 3, foi possível chegar aos resultados da situação atual do sistema de atendimento ao cliente nesse supermercado, aplicando as fórmulas já expostas anteriormente.

PARÂMETRO	VALOR	UNIDADES
Número de Canais (S)	4	Canais Atendimento
Taxa de Chegada de Clientes (λ)	118	Pessoas por Hora
Taxa de Atendimento (μ)	30	Pessoas por Hora
Taxa de Utilização (P)	0,98	-
Probabilidade de haver 0 clientes no sistema (p0)	0,2	% (por Cento)
Probabilidade de todos canais estarem ocupados (p)	99	% (por Cento)
Número médio de clientes na fila (lq)	49	Pessoas
Número médio de clientes no sistema (l)	53	Pessoas
Tempo médio de espera na fila (wq)	25,2	Minutos
Tempo médio gasto no sistema (w)	27	Minutos

Quadro 1: Medidas de desempenho do sistema com 4 canais de atendimento.

Através das informações contidas no Quadro 1, pode-se concluir que o sistema de atendimento está subdimensionado em relação a demanda desse estabelecimento. O principal fator que indica isso é a Ocupação Total (P), que está operando em 99% da sua capacidade, o que causa um gargalo no sistema de atendimento, gerando alto tempo de espera.

PARÂMETROS	VALOR	UNIDADES
Número de Canais(S)	6	Canais Atendimento
Taxa de Chegada de Clientes (λ)	118	Pessoas por Hora
Taxa de Atendimento (μ)	30	Pessoas por Hora
Taxa de Utilização (P)	0,65	-
Probabilidade de haver 0 clientes no Sistema (P0)	2	% (por Cento)
Probabilidade de todos canais estarem ocupados (P)	28	% (por Cento)
Número médio de clientes na fila (Lq)	1	Pessoas
Número médio de clientes no sistema (L)	5	Pessoas
Tempo médio de espera na fila (Wq)	0,6	Minuto
Tempo médio gasto no sistema (W)	2,7	Minutos

Quadro 2: Medidas de desempenho do sistema com 6 canais de atendimento.

O quadro 2, cujos cálculos se encontram no Anexo 2, mostra que com o aumento de 4 para 6 canais de atendimento o sistema ganhou estabilidade, não apresenta congestionamento e opera com capacidade para atender possíveis demandas sazonais. A taxa de Ocupação Total (P) caiu drasticamente para 28%, suavizando o sistema de atendimento e reduzindo abruptamente o tempo de espera dos clientes.

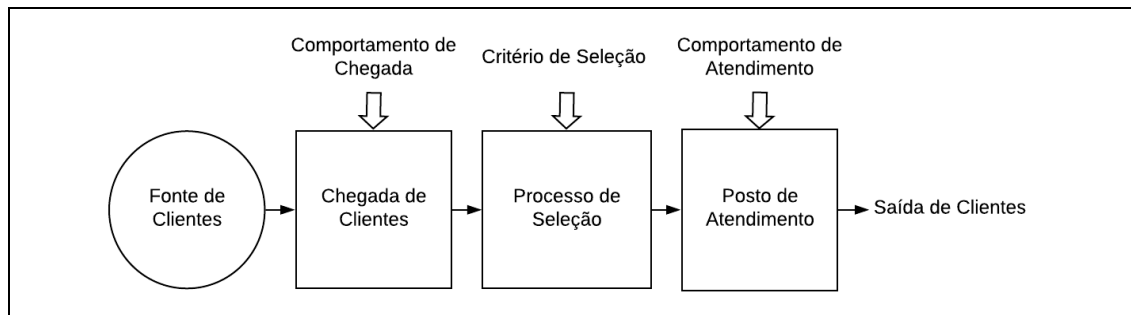
6. CONCLUSÃO

Através dos estudos feitos, observou-se que entre o período das 17h às 19h, a taxa de chegada de clientes era maior do que a taxa de atendimento, causando assim um elevado tempo de espera dos clientes no sistema. Sendo assim, foi possível concluir que o sistema de atendimento atual deste supermercado, com apenas 4 canais está subdimensionado, considerando as atuais condições da sua demanda. Nesse caso, se faz necessário o acréscimo de mais 2 canais de atendimento no sistema, totalizando 6, sendo o suficiente para deixar o sistema estável, seguro e eficiente. Com esse ajuste, os caixas proporcionarão aos clientes atendimento mais rápido, tempo de espera baixo e o aumento da satisfação dos seus consumidores. Entretanto, para alcançar tal resultado, se faz necessário a contratação de mais dois funcionários e a implantação de dois novos caixas, para compor o sistema de atendimento, gerando assim um aumento dos custos fixos da empresa e necessitando de capital para a aquisição dos novos postos de atendimento ao cliente. Esses fatores deverão ser analisados pela empresa e, só então, decidido qual diretriz tomar.

5. REFERÊNCIAS

- GALVÃO, Antonio. Pesquisa Operacional e Transportes: Modelos Probabilísticos. São Paulo: USP,1975.
- MOREIRA, Daniel Augusto. Pesquisa Operacional Curso Introdutório,2ª ed. São Paulo: CENGAGE Learning,2010.
- PRADO, Darci. Teoria das Filas e da Simulação,4ª ed. Belo Horizonte:INDG,2009.
- LEOPOLDINO, Eduardo. Introdução a Pesquisa Operacional Métodos e Modelos para Análise de Decisões,4. Rio de Janeiro: LTC,2009.
- PASSOS, Eduardo José. Programação Linear Como Instrumento da Pesquisa Operacional. São Paulo: Atlas,2008.
- PERIN, Clovis. Introdução á Simulação de Sistemas. São Paulo: LJ UNICAMP,1995.
- FOGLIATTI e MATTOS, Maria Cristina e Néli Maria. Teoria de Filas. Rio de Janeiro: INTERCIÊNCIA,2007.
- OLIVEIRA, Francieli; GRANADO, Mara; BELUSSO, Marcel; BUENO, Stefan. Análise de teoria das filas: sistema de filas de um serviço de pronto atendimento. ENEGEP,2015, São Paulo.
- GOMES, Ramon; BERG, Alef; FREITAS, Thulio; CRUZ, Igor. Aplicação da teoria de filas no sistema de filas de uma empresa do ramo de panificação de médio porte. ENEGEP.2015, São Paulo.
- MIRSHAWKA, Victor. Pesquisa Operacional Vol.2, ed.3ª. São Paulo: Nobel,1985.
- TICIANI, Klisman; OLBERMANN, Rosangela; GRANDO, Mara; SEHN, Filipe. Aplicação da teoria de filas em uma linha de produção crítica de uma empresa de metal-mecânica. UCEFF,2018,Santa Catarina.
- MEDEIRO, Ermes et all. Pesquisa operacional para os cursos de administração e engenharia, ed. 4ª. São Paulo: ATLAS, 2010.
- LOESCH, Cláudio et all. Pesquisa Operacional Fundamentos e Modelos. São Paulo: Saraiva, 2009.
- PUSTILNICK, Renato et all, Qualidade total. ESTADO: Intersaberes, 2012.
- SILVA, Rosinda et all, Qualidade, padronização e certificação. ESTADO: Intersaberes, 2017.
- REIS, Dálcio, Qualidade e excelência em serviços. ESTADO: Intersaberes, 2022.

ANEXO 1



ANEXO 2

Memória de Cálculo para sistema de atendimento com 4 canais:

$\lambda = 118$ Pessoas/Hora

$\mu = 30$ Pessoas/Hora

$s = 4$

$$\rho = \frac{\lambda}{s \cdot \mu} \Rightarrow \log \rho = \frac{118}{4 \cdot 30} \Rightarrow \rho \cong 0,98$$

A probabilidade de não existirem clientes no sistema é dada pela seguinte fórmula:

$$P_0 = \frac{1}{\sum_{j=0}^{s-1} \frac{\rho^j}{j!} + \frac{(s \cdot \rho)^s}{s!(1-\rho)}}$$

Temos então para o primeiro termo do divisor:

$$\frac{(4 \cdot 0,98)^0}{0!} + \frac{(4 \cdot 0,98)^1}{1!} + \frac{(4 \cdot 0,98)^2}{2!} + \frac{(4 \cdot 0,98)^3}{3!} \cong 22,64$$

E para o segundo termo do divisor, temos:

$$\frac{(4 \cdot 0,98)^4}{4!(1-0,98)} \cong 492$$

Logo, a probabilidade de não haver clientes no sistema é:

$$P_0 = \frac{1}{(22,64 + 492)} \cong 0,002 \Rightarrow 0,002 \cdot 100 \cong 0,2\%$$

Probabilidade de todos os canais estarem ocupados é dada pela fórmula:

$$P_{ocup.total} = \frac{P_0(s \cdot \rho)^s}{s!(1-\rho)}$$

$$\text{Temos então: } P_{ocup.total} = \frac{0,002(4 \cdot 0,98)^4}{4!(1-0,98)} \cong 0,99 \Rightarrow 0,99 \cdot 100 = 99\%$$

$$\text{Número médio de clientes na fila: } L_q = \frac{P_{ocup.total} \cdot \rho}{1-\rho}$$

$$\text{Logo, } L_q = \frac{0,99 \cdot 0,98}{(1-0,98)} \cong 48,5 \cong 49$$

$$\text{Número médio de clientes no sistema: } L = L_q + \frac{\lambda}{\mu}$$

$$\text{Logo, } L = 48,5 + \left(\frac{118}{30}\right) \cong 52,43 \cong 53$$

$$\text{Tempo médio de espera na fila: } W_q = L_q \cdot \frac{1}{\lambda}$$

$$\text{Logo, } W_q = 49 \cdot \frac{1}{118} \cong 0,42 \text{ H} \Rightarrow 25,2 \text{ min}$$

$$\text{Tempo médio gasto no sistema: } W = L \cdot \frac{1}{\lambda}$$

$$\text{Logo, } W = 53 \cdot \frac{1}{118} \cong 0,45 \text{ H} \Rightarrow 27 \text{ min}$$

ANEXO 3

Memória de Cálculo para sistema de atendimento com 6 canais:

$\lambda = 118$ Pessoas/Hora

$\mu = 30$ Pessoas/Hora

$s = 6$

$$\rho = \frac{\lambda}{s \cdot \mu} \Rightarrow \log \rho = \frac{118}{6 \cdot 30} \Rightarrow \rho \cong 0,65$$

A probabilidade de não existirem clientes no sistema é dada pela seguinte fórmula:

$$P_0 = \frac{1}{\sum_{j=0}^{s-1} \frac{\rho^j}{j!} + \frac{(s \cdot \rho)^s}{(s-1)!(s-\rho)}}$$

Temos então para o primeiro termo do divisor:

$$\frac{(4,0,65)^0}{0!} + \frac{(4,0,65)^1}{1!} + \frac{(4,0,65)^2}{2!} + \frac{(4,0,65)^3}{3!} + \frac{(4,0,65)^4}{4!} + \frac{(4,0,65)^5}{5!} \cong 39,55$$

E para o segundo termo do divisor, temos:

$$\frac{6,0,65^6}{6!(1-0,65)} \cong 13,96$$

Logo, a probabilidade de não haver clientes no sistema é:

$$P_0 = \frac{1}{(39,55+13,96)} \cong 0,02 \Rightarrow 0,02 \cdot 100 \cong 2\%$$

Probabilidade de todos os canais estarem ocupados é dada pela fórmula:

$$P_{ocup.total} = \frac{P_0(s \cdot \rho)^s}{s!(1-\rho)}$$

$$\text{Temos então: } P_{ocup.total} = \frac{0,02 \cdot (6,0,65)^6}{6!(1-0,65)} \cong 0,28 \Rightarrow 0,28 \cdot 100 = 28\%$$

$$\text{Número médio de clientes na fila: } L_q = \frac{P_{ocup.total} \cdot \rho}{s-\rho}$$

$$\text{Logo, } L_q = \frac{0,28 \cdot 0,65}{(1-0,65)} \cong 0,52 \cong 1$$

$$\text{Número médio de clientes no sistema: } L = L_q + \frac{\lambda}{\mu}$$

$$\text{Logo, } L = 1 + \left(\frac{118}{30}\right) \cong 4,93 \cong 5$$

$$\text{Tempo médio de espera na fila: } W_q = L_q \cdot \frac{1}{\lambda}$$

$$\text{Logo, } W_q = 1 \cdot \frac{1}{118} \cong 0,01 \text{ H} \Rightarrow 0,6 \text{ min}$$

$$\text{Tempo médio gasto no sistema: } W = W_q \cdot \frac{1}{\lambda}$$

$$\text{Logo, } W = 5 \cdot \frac{1}{118} = 0,043 \text{ H} \Rightarrow 2,6 \text{ min}$$