

UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS

MATHEUS DOS SANTOS SOARES

**APLICAÇÃO DE UM MODELO DE TEORIA DAS FILAS EM UM
RESTAURANTE UNIVERSITÁRIO: ESTUDO DO TEMPO DE
ATENDIMENTO**

DOURADOS

2016

MATHEUS DOS SANTOS SOARES

**APLICAÇÃO DE UM MODELO DE TEORIA DAS FILAS EM UM
RESTAURANTE UNIVERSITÁRIO: ESTUDO DO TEMPO DE
ATENDIMENTO**

Trabalho de Conclusão de Curso de
graduação apresentado para obtenção do
título de Bacharel em Engenharia de
Produção. Faculdade de Engenharia.
Universidade Federal da Grande Dourados.
Orientador: Prof. Dr. Márcio Rogério Silva

DOURADOS

2016

MATHEUS DOS SANTOS SOARES

**APLICAÇÃO DE UM MODELO DE TEORIA DAS FILAS EM UM
RESTAURANTE UNIVERSITÁRIO: ESTUDO DO TEMPO DE
ATENDIMENTO**

Trabalho de Conclusão de Curso aprovado como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Produção na Universidade Federal da Grande Dourados, pela comissão formada por:

Orientador: Prof. Dr. Márcio Rogério Silva
FAEN - UFGD

Prof. Dr. Rogério Santos
FAEN – UFGD

Prof. Dr. Eduardo Mirko Valenzuela Turdera
FAEN – UFGD

Dourados, ____ de _____ de 2016.

RESUMO

O gerenciamento de um sistema de serviços significa fazer com que o processo possua clara capacidade de atendimento a demanda, com a qualidade aceitável ao consumidor e com um custo plausível para a organização. A execução mal feita dessa tarefa implica no comprometimento do sucesso da organização através de retrabalho e baixa qualidade aos olhos do consumidor. Sendo assim, o presente trabalho tem por objetivo a modelagem do sistema de atendimento do Restaurante Universitário da Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD) por meio de Teoria das Filas, de forma a avaliar também o sistema, dada a crescente demanda apresentada pelo Plano de Desenvolvimento Institucional (PDI). A metodologia de pesquisa adotada foi o estudo de caso com visitas ao sistema de atendimento, onde as variáveis coletadas foram os tempos de atendimento das operações, os tempos entre as chegadas dos clientes e a taxa média diária de refeições servidas no restaurante. A modelagem do sistema se seguiu com a elaboração de dois modelos interdependentes. Os cálculos realizados concluíram que o sistema de atendimento atual não está preparado para o atendimento da potencial demanda futura apresentada no PDI da universidade e, portanto otimizações no sistema devem ser feitas. Por fim, este estudo serve como base para posteriores estudos, que por meio de outras metodologias possam contribuir ainda mais para o melhor gerenciamento das capacidades do Restaurante Universitário – UFGD, além de fornecer informações que contribuam para o planejamento de expansões e melhorias no local.

Palavras-chave: Teoria das Filas; Restaurante Universitário; Capacidade de Atendimento; Demanda Futura.

ABSTRACT

The management of a service system means making the process clearly capable of meeting the demand, with acceptable quality to the consumer and reasonable cost to the organization. A poorly execution of this task implicates the organizations's commitment to success through rework and low quality to the consumer's eyes. Thus, this work has the goal of modeling the service system from the University's Restaurant of the Federal University of Grande Dourados (UFGD) using Queueing Theory to evaluate the system, given the increasing demand presented by the Institutional Development Plan (PDI). The research methodology chosen was a case study, visiting the restaurant and its operations, where the collected variables were customer contact time, time between customer arrival and the average daily rate of meals served at the restaurant. The system modeling continued with the development of two independent models. The calculations made concluded that the current service system is not prepared for the potential future demand presented on the University's PDI and, therefore, optimizations on the system must be made. Finally, this study can be used as foundation for future research that, using other methods, can contribute even more for the University's Restaurant capability management, besides providing information to assist in planning expansions and improvements on site.

Key Words: Queueing Theory; University Restaurant; Service Capacity; Future Demand.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Estrutura básica de sistema de filas.....	14
Figura 2 – Esquema de processo de nascimento-e-morte	20
Figura 3 – Fluxo de pessoas e layout no Restaurante Universitário - UFGD	29
Figura 4 – Histograma de distribuição para os tempos de chegada.....	32
Figura 5 – Histograma de distribuição para os tempos de atendimento da fase 1.....	32
Figura 6– Histograma de distribuição para os tempos de atendimento da fase 2.....	33

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Equações dos indicadores gerais de desempenho do modelo de filas M/M/1.	22
Quadro 2 – Equações dos indicadores gerais de desempenho do modelo de filas M/M/s.....	23
Quadro 3 – Equações dos indicadores gerais de desempenho do modelo de filas M/Ek/1.....	25
Quadro 4 – Médias diárias e do período para os tempos entre chegada e de atendimento para as operações.....	30
Quadro 5 – Parâmetros dos modelos “Fase 1” e “Fase 2”.....	34
Quadro 6 – Indicadores de desempenho dos modelos “Fase 1” e “Fase 2”	35
Quadro 7 – Dados e resultados com base no PDI.....	36
Quadro 8 – Parâmetros dos modelos “Fase 1” e “Fase 2” considerando expansão da universidade.....	37

SUMÁRIO

1. Introdução	9
1.1. Problema	10
1.2. Objetivos	11
1.2.1. Objetivo Geral	11
1.2.2. Objetivos Específicos	11
1.3. Justificativa	12
1.4. Estrutura do Trabalho.....	13
2. Revisão teórica	13
2.1. Teoria das Filas	13
2.2. Sistema de filas.....	14
2.2.1. Formas de chegada	15
2.2.2. Formas de atendimento	15
2.2.3. Disciplina da fila	16
2.2.4. Terminologias e considerações para os modelos.....	16
2.2.5. A distribuição exponencial.....	17
2.2.6. A distribuição de Poisson.....	19
2.3. O Processo de Nascimento-e-morte	20
2.4. Modelos de filas	21
2.4.1. Modelo M/M/1	22
2.4.2. Modelo M/M/s.....	23
2.4.3. Modelo M/Ek/1	24
2.5. Plano de Desenvolvimento Institucional - UFGD.....	25
3. Metodologia	26
3.1. Desenvolvimento da pesquisa	27
3.2. Método de análise dos dados.....	28
4. Estudo de Caso	28
4.1. Coleta de Dados	30
4.2. Validação dos dados.....	31
4.3. Modelagem e discussão.....	33
4.4. Projeção de expansão segundo PDI.....	36
5. Conclusão	37

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	39
---	-----------

1. Introdução

Na atualidade a busca por serviços de qualidade e excelência tem crescido muito, em grande parte pelo fato de que o consumidor visa cada vez mais um melhor gasto para seu dinheiro. A constante intenção de otimização do tempo hábil faz com que os consumidores busquem sempre o serviço que esteja mais a sua disposição.

No Brasil o setor de serviços atua fortemente na criação de empresas e empregos. No ano de 2005, excluindo-se os serviços financeiros, a empregabilidade do setor de serviços era de quase 9 milhões de trabalhadores formais, sendo superior ao setor de comércio e indústria. Em relação à receita líquida gerada, ainda no mesmo ano, o setor de serviços atingiu o terceiro lugar. O impacto do setor de serviços no país vem crescendo devido à globalização de muitos serviços, que por sua vez acontecem de acordo com a necessidade das empresas buscarem novos fornecedores especializados em serviços, tanto fora como dentro do país. (SILVA, NEGRI e KUBOTA, 2006).

Inserido no setor de serviços existe a indústria de restaurantes que teve sua grande expansão no país no início dos anos 80, influenciada pela abertura do mercado brasileiro e o crescente aumento populacional. Já no começo da década de 90 o país já possuía cerca de 10.000 estabelecimentos do ramo serviços de alimentação/restaurantes. (IGLESIAS FILHO, 1990). A inserção dos restaurantes *self-service* (autoatendimento) no Brasil se deu devido à necessidade de uma alternativa aos *fast-food* para o consumidor, com o objetivo de trazer um panorama competitivo de preço para lanchonetes e restaurantes *a lá carte* (REBELATO, 1997).

Em várias universidades públicas, é prestado o serviço de restaurante universitário, com o objetivo de atender a comunidade universitária. Há desde os modelos tradicionais em que os funcionários servem os estudantes até modelos de *self-service* parcial, em que são controlados apenas a carne e as guarnições.

As universidades brasileiras tendem em sua maioria adotar esse tipo de serviço em seus restaurantes, acarretando um problema de geração de filas, dado principalmente pelo fato de que a chegada dos clientes (docentes, discentes, servidores, etc) ocorre de maneira repentina, baseada nos horários de pico, que consistem na chegada de uma grande quantidade de clientes em um pequeno espaço de tempo, o que ocasiona na maioria das vezes uma espera grande na fila.

Dentro desta problemática, uma importante definição é a de filas, que são “unidades (clientes) chegando a um posto de serviço que não possam ser atendidas prontamente tendo que, ocasionalmente, esperar para sê-lo.” (TORRES, 1966, p. 02). Vale ressaltar que os elementos que estão passando pelo processo de atendimento também são parte componente da fila. Segundo Amidani (1975,p.01)., só existe a formação de filas quando “a demanda corrente de clientes excede à oferta corrente de serviços.”

O surgimento da Teoria das Filas no século XX se deu como obra do matemático Agner Krarup Erlang, através do estudo de ligações telefônicas em uma vila, tratando-as como uma fila em espera. Este estudo disponibilizou expressões amplamente utilizadas, em conjunto com distribuições probabilísticas, que visam modelar o comportamento do sistema de filas. (IGLESIAS, 2007).

Ainda, para Hillier e Lieberman (2013), para que o problema das filas seja resolvido, ou minimizado, a Teoria das Filas visa elaborar modelos que sejam responsivos a realidade, de forma a tentar prever da maneira mais realística possível o funcionamento, formação, dimensão e outros aspectos intrínsecos as filas. Os modelos de filas combinados convergem para representação de um sistema de filas que são a demonstração mais verossímil da realidade prática dos empreendimentos. Os sistemas apresentam em si como é o funcionamento e interação de todas as filas, permitindo um estudo para que a eficiência do sistema seja elevada.

Por fim, em uma definição simplista, um sistema de filas pode ser definido como a chegada de clientes, a espera pelo serviço (se não houver atendimento imediato) e a saída do sistema após o atendimento.

1.1. Problema

Devido a crescente competitividade das empresas, o conceito de melhor atendimento ao cliente está constantemente em foco, fazendo com que as empresas busquem sempre a satisfação de seu cliente, pois essa está diretamente ligada à qualidade dos serviços que estão sendo consumidos e da qualidade que os clientes esperam dos serviços (PAULINS, 2005).

Ainda, do ponto de vista do cliente, psicologicamente as filas são variáveis impactantes na avaliação da qualidade de um serviço. Sendo assim, num restaurante, a

existência de filas pode causar efeitos negativos na avaliação da empresa/serviço pelo cliente (IGLESIAS; GÜNTHER, 2009).

A Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD), em que o restaurante universitário em foco está inserido, possui um Plano de Desenvolvimento Institucional (PDI) que apresenta um planejamento de expansão da capacidade dos cursos oferecidos pela mesma, aumentando assim, o fluxo de usuários do restaurante (docentes, discentes, etc.). Sendo assim, como o restaurante em questão atende todos os usuários do campus da universidade, a expansão afetará diretamente seu fluxo de consumidores. Considerando ainda que na atualidade já existem constantes reclamações advindas dos usuários do restaurante, acerca do tempo de espera na fila, se faz necessário um estudo com foco nos problemas atuais e futuros que ocasionam a espera/formação na fila do restaurante.

Diante do exposto, o presente trabalho busca responder a seguinte pergunta:

Como modelar o atendimento da fila do Restaurante Universitário – UFGD, como inserir a previsão de demanda no horizonte do PDI e qual sugestão de solução?

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo Geral

Este trabalho visa aplicar um modelo de teoria das filas num restaurante universitário de forma a otimizar a capacidade do sistema de atendimento e maximizar a utilidade e responsividade, ao mesmo tempo em que busca estabelecer modelos estatísticos de previsão de demanda com base no horizonte planejado do PDI.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Compreender o sistema de atendimento atual;
- Avaliar modelos que representem a realidade do estudo e aplicar um modelo escolhido;
- Inserir no modelo a previsão de demanda no horizonte de demanda do PDI;

- Subsidiar estudos da Coordenadoria de Planejamento (COPLAN – UFGD) para planejamento de construção de um novo restaurante universitário;

1.3. Justificativa

Segundo Slack, Chambers e Harrisson (2007), a falta de planejamento de um sistema ocasiona a formação de filas ou gasto desnecessário de recursos e de tempo, criando um problema de planejamento e controle de capacidade, pois num sistema de atendimento com um alto nível de utilização e baixo número de atendentes há a formação de filas e o aumento da insatisfação dos clientes, já num sistema com baixo nível de utilização e alto número de atendentes, a espera dos clientes será baixa ou não haverá espera, mas com o nível de utilização dos atendentes baixo há o aumento de gasto de recursos pela organização. Portanto o planejamento de sistema de atendimento é de grande importância para o sucesso empresarial.

Ao pensar especificamente em uma universidade pública, o tempo é um fator de alto valor agregado, uma vez que estudantes, funcionários e docentes com maior tempo têm mais condições de se dedicar às atividades de ensino, pesquisa e extensão universitária, o que aumenta, dessa maneira, a eficiência dos objetos da instituição.

Dentre os diversos métodos de avaliação de sistemas de atendimento, a Teoria das Filas possui grande relevância, pois além de sua ampla aplicabilidade em diversos setores, a avaliação por meio dessas técnicas é um método que possui uma grande vantagem de oferecer informações a baixo custo.

Do ponto de vista de satisfação do cliente, um bom planejamento do sistema de atendimento das empresas eleva o grau de assiduidade e lealdade dos clientes que em longo prazo acarreta solidificação de receitas ao longo do tempo, reduz custos e garante um melhor tempo de processamento. (ANDERSON; FORNELL, 1999).

Sendo assim, dado o exposto, justifica-se a utilização de conceitos de Teoria das Filas, pois ela traz benefícios e possui grande relevância no setor de serviços, em especial o de restaurantes universitários, com o objetivo último de contribuir para o alcance da excelência acadêmica.

1.4. Estrutura do Trabalho

O presente trabalho é composto de três capítulos, o capítulo 1 é composto da introdução, da definição do problema de estudo, da definição dos objetivos do trabalho e da justificativa do trabalho; o capítulo 2 contém a revisão bibliográfica dos temas e assuntos que o estudo engloba; o capítulo 3 contempla da metodologia do trabalho, que tratará de explicitar como o estudo foi realizado; o capítulo 4 apresenta o estudo de caso realizado no restaurante; o capítulo 5 que mostra as conclusões e por fim as referências bibliográficas são apresentadas numa sessão a parte.

2. Revisão teórica

2.1. Teoria das Filas

A Teoria das Filas é o estudo da espera em todas as formas diversas. Assim, por meio de modelos matemáticos, são feitas as representações dos mais variados sistemas de filas com o objetivo de solucionar os problemas envolvendo esperas nas filas/sistemas. O conceito de fila está associado ao local onde os clientes aguardam atendimento em um sistema qualquer. Filas podem ser finitas ou infinitas, de acordo com sua capacidade de clientes possíveis. Para a maioria dos modelos de filas, assume-se a hipótese padrão de fila infinita, mesmo quando o número máximo de clientes possui um limite superior finito muito grande. A suposição de filas finitas só é utilizada quando esse limite tornar a solução do modelo factível. (HILLIER; LIEBERMAN, 2013).

Para Abensur (2011), a existência de filas em um sistema é causada pela baixa capacidade de atendimento de um servidor e pela simultânea alta demanda de seus serviços. A aplicação dessas técnicas se faz necessária, pois é impossível estar ciente de toda variação de demanda que o sistema pode sofrer, sendo, portanto uma ferramenta de grande valia a ser aplicada para representação do sistema em um dado período de tempo.

Arenales et al. (2007) conceituam Teoria das Filas como um método analítico que, através de formulas matemáticas, estuda a relação entre demanda e atrasos sofridos por usuários do sistema, com o objetivo de mensurar o desempenho do sistema.

Segundo Moreira (2010), Teoria das Filas é um conjunto de conhecimentos matemáticos, aplicado ao fenômeno das filas, que pode ser descrito genericamente pelo processo de chegada de clientes a certo sistema de atendimento/serviços que possui canais/postos de atendimento e que não havendo disponibilidade dos canais/postos o cliente se dirige a uma fila. Nesse sentido, a existência da fila se dá quando a capacidade de atendimento do sistema é menor que a procura do mesmo.

Além do mais, a Teoria das Filas busca criar medidas de desempenho do sistema, medidas como tempo médio de espera dos clientes na fila, tempo médio de chegada de clientes, probabilidades de sistema lotado, probabilidade certa quantidade de sistemas na filas, entre outras. Assim, por meio destes indicadores busca-se encontrar um ponto de equilíbrio entre o gasto econômico-financeiro do prestador do serviço e a satisfação do cliente.

2.2. Sistema de filas

Segundo Hillier e Lieberman (2013), os sistemas de filas possuem uma estrutura básica baseada em eventos como chegada do cliente no sistema a partir de uma fonte de entrada (geralmente gerada por uma distribuição probabilística), a entrada do cliente na fila (se o atendimento não for realizado imediatamente), seleção do cliente para realização do atendimento (baseado na regra imposta pela disciplina da fila), realização do atendimento em um ponto de atendimento e saída do cliente do sistema. A figura 1 abaixo esboça a estrutura de um sistema de filas.

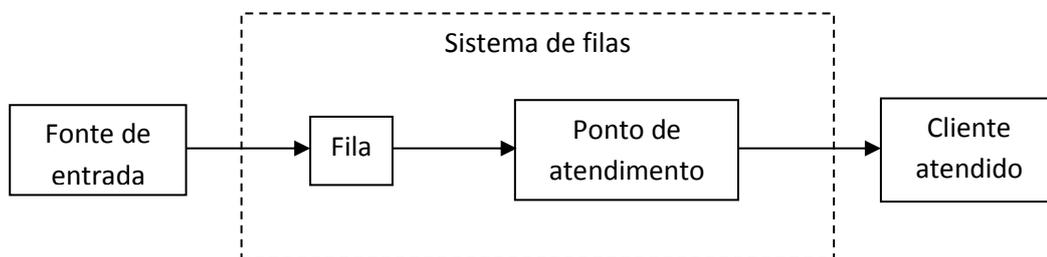


Figura 1 – Estrutura básica de sistema de filas (modificado de Hillier e Lieberman (2013))

Um sistema de filas para Andrade (2004) possui seis elementos básicos, sendo eles: modelo de chegada (dado geralmente por distribuição probabilística), modelo de serviço (geralmente assume-se a mesma distribuição que o modelo de chegada), número de servidores (atendentes), capacidade do sistema (limitada ou ilimitada), tamanho da população (finita ou infinita) e disciplina da fila. Em geral, se não informados, os três últimos elementos são presumidos como ilimitada, infinita e *first in, first off*.

2.2.1. Formas de chegada

A taxa de chegada de clientes em um sistema de atendimento é um evento importante a ser considerado, pois a partir do mesmo, quando comparado com outros fatores, é possível identificar a formação de filas. Uma importante característica desse evento é o número total de clientes possíveis, onde pode-se assumir que esse número seja finito ou infinito. A hipótese de infinita é a normalmente assumida, dado que os modelos de filas a partir dessa suposição são mais facilmente solucionados. Entretanto a suposição de modelos finitos se faz necessária quando a taxa de chegada de clientes é afetada pelo número de clientes no sistema de filas.

O padrão estatístico da chegada de clientes é um dado de grande relevância na elaboração de modelos, na maioria dos modelos assume-se a hipótese de uma chegada aleatória com uma média fixa pré-estabelecida, ou seja, baseado em uma distribuição de Poisson ou a hipótese de que o tempo entre chegadas consecutivas é aleatório dado por uma distribuição exponencial. (HILLIER; LIEBERMAN, 2013).

Para Arenales et al. (2007), a taxa média de chegada de clientes em um determinado intervalo de tempo ocorre de maneira aleatória e é caracterizada por uma distribuição de probabilidade, tal como Poisson, exponencial, Erlang entre outras. Ainda enfatiza que por se tratar de um processo determinístico, o número de usuários presentes no sistema não afeta a chegada de clientes.

2.2.2. Formas de atendimento

O processo de atendimento é caracterizado por um ou diversos pontos de atendimento onde cada um deles contém um ou mais canais de atendimento denominados atendentes. Caso as instalações caracterizem a existência de somente um ponto de atendimento, consideram-se canais de atendimentos em série, já na existência de mais de um ponto de atendimento, considera-se canais de atendimento paralelos. O modelo de filas a ser elaborado deve especificar esta condição. Grande parte dos modelos parte da consideração de um ponto de atendimento com um ou mais canais. (ANDRADE, 2004)

De forma análoga a taxa de chegada, o tempo de atendimento dos clientes em um modelo deve ser determinado por uma distribuição probabilística. Comumente assume-se a mesma distribuição da taxa de chegada (em sua grande maioria distribuição exponencial ou de Poisson). (HILLIER; LIEBERMAN, 2013).

Segundo Arenales et al. (2007), uma consideração importante para a grande maioria dos modelos de filas é de que atendente só pode atender um cliente por intervalo de tempo e que também de maneira análoga a taxa de chegada de clientes, o número de usuários presentes no sistema não afeta a variável tempo de atendimento.

2.2.3. Disciplina da fila

Um importante fator que deve ser especificado por um modelo de filas é a ordem de atendimento dos clientes no sistema e a essa ordem é dado o nome de disciplina da fila. (CHWIF; MEDINA, 2007)

Dentre as regras mais comumente adotadas para disciplina de filas estão FIFO (*first in, first off*, onde o primeiro cliente que chega no sistema é o primeiro que sai) e LIFO (*last in, first off*, onde o ultimo cliente que entra é o primeiro a sair), podendo ainda adotar-se critérios de prioridades de clientes ou outras formas de disciplina. Usualmente, quando não explicitado pelo modelo, assume-se disciplina FIFO. (ABENSUR, 2011)

2.2.4. Terminologias e considerações para os modelos

Para todos os modelos aqui tratados, as mesmas variáveis serão utilizadas, segue abaixo seus significados e considerações a respeito:

- Estado do sistema: número de clientes no sistema de filas
- Comprimento da fila: numero de clientes que aguardam o início de seu atendimento
- $N(t)$: numero de clientes no sistema de filas no instante t ($t \geq 0$)

- $P_n(t)$: probabilidade de exatamente n clientes no sistema de filas no instante t , dado o número no instante 0 .
- P_0 : probabilidade de exatamente n clientes se encontrarem no sistema de filas
- L : número de clientes esperado no sistema de filas
- L_q : comprimento esperado da fila (exclui clientes que estão sendo atendidos)
- W : Tempo de espera no sistema (inclui o tempo de atendimento) para cada cliente individual
- W_q : Tempo de espera na fila (exclui o tempo de atendimento) para cada cliente individual
- S : número de atendentes (canais de atendimento paralelos no sistema de filas)
- λ_n : taxa média de chegada (número de chegadas esperado por unidade de tempo) de novos clientes quando n clientes se encontram no sistema.
- μ_n : taxa média de atendimento para o sistema global (número de clientes esperado que completa o atendimento por unidade de tempo) quando n clientes se encontram no sistema.
- Quando λ_n e μ_n foram constantes para todo n , serão representados respectivamente por λ e μ .

Segundo Hillier e Lieberman (2013) todos os modelos são válidos somente após a entrada em estado estável, sendo que considera-se estado estável todo sistema que após determinado tempo, torna-se independente do estado inicial e permanece na mesma distribuição probabilística e obedecendo a premissa de que seu fator de utilização deve ser inferior a 1 ($\rho < 1$).

2.2.5. A distribuição exponencial

Dada que na maioria dos modelos existe a necessidade da descrição de um processo aleatório, uma ferramenta matemática amplamente utilizada é a distribuição de probabilidades exponencial. Essa distribuição é uma distribuição de variáveis contínuas que possui diversas aplicações. Na Teoria das Filas, a distribuição exponencial é mais utilizada para descrever as aleatoriedades de formas de chegada aos modelos de filas. (HILLIER; LIEBERMAN, 2013).

A distribuição exponencial é utilizada para analisar experimentos que possuem tempo de duração variável e sem interrupções, como um atendimento de um caixa ou uma operação num processo produtivo. Por se tratar de uma distribuição de variáveis aleatórias contínuas, todos os valores assumidos na distribuição são positivos e seu parâmetro de distribuição de probabilidade sempre será $\mu > 0$.

Dada uma variável aleatória contínua X , a função densidade de probabilidade para a distribuição exponencial será:

$$f(x) = \begin{cases} \mu e^{-\mu x}, & x \geq 0 \\ 0, & x < 0 \end{cases} \quad \text{Eq.(1)}$$

Onde x será o valor da variável aleatória (tempo entre as chegadas) e μ é a taxa de ocorrências dessa variável. Estabelecendo assim uma taxa de chegadas por hora, minutos ou alguma outra unidade de tempo. Vale ressaltar que considerando a taxa de ocorrências μ , a média de ocorrências no modelo será de $1/\mu$. (MONTGOMEY; RUNGER, 2003).

Segundo Moraes, Silva e Rezende (2011), partindo da definição que uma variável aleatória contínua possui sua probabilidade dada pela área do gráfico da curva de sua função densidade de probabilidade, a probabilidade acumulada de 0 até b será:

$$P(x \leq b) = 1 - e^{-\mu b} \quad \text{Eq.(2)}$$

Onde b será o valor máximo que a variável x poderá assumir. A partir da equação 2, a probabilidade complementar ao valor b será:

$$P(x \geq b) = e^{-\mu b} \quad \text{Eq.(3)}$$

Logo, a partir das equações 2 e 3, é possível a obtenção da probabilidade da variável aleatória estar contida num intervalo qualquer $[a,b]$, como mostra a equação a seguir:

$$P(a \leq x \leq b) = P(x \leq b) - P(x \leq a) \quad \text{Eq.(4)}$$

Por fim, uma importante propriedade da distribuição exponencial muito utilizada nos modelos de filas é a propriedade de ausência de memória, caracterizada matematicamente por:

$$P(X \geq s + t | X \geq s) = P(X \geq t) \quad \text{Eq.(5)}$$

Onde, segundo Hillier e Lieberman (2013, p. 737), “para quaisquer valores positivos de s e t , a distribuição probabilística do tempo remanescente até o evento de atendimento

(chegada ou término), ocorrer é sempre a mesma, independente de quanto tempo já tenha passado.”.

2.2.6. A distribuição de Poisson

A distribuição de Poisson é uma distribuição de probabilidades de grande importância no que tange a Teoria das Filas, possuindo também diversas outras aplicações em outras tantas áreas. Seu criador Simeon Denis Poisson (1781-1842) publicou-a pela primeira vez, em seu trabalho “Inquérito sobre a probabilidade em julgamentos sobre matérias criminais e civis” no ano de 1838. Essa distribuição busca sumariamente expressar a probabilidade de certo número de eventos ocorrerem em um dado período de tempo, considerando esses eventos independentes e com uma taxa média de acontecimento. (MYERS; MONTGOMERY, 2002).

Na Teoria das Filas a distribuição de Poisson tem o principal papel na criação dos modelos de filas, onde está principalmente inserida como forma de descrever as chegadas de clientes em um sistema. A aplicabilidade dessa distribuição é dependente de 3 condições, sendo elas:

- A variável da distribuição deve ser aleatória e discreta;
- As ocorrências devem ser aleatórias;
- Não há dependências entre os eventos;

Satisfeitas as condições acima, a distribuição permite o cálculo da probabilidade da ocorrência de n eventos em um determinado intervalo de tempo, dado por sua função densidade de probabilidade:

$$P(n) = \frac{\lambda^n e^{-\lambda}}{n!} \quad \text{Eq.(6)}$$

Onde, $P(n)$ é a probabilidade de n eventos ocorrerem; λ é o parâmetro da distribuição de probabilidades e n é o número de ocorrências. (MYERS; MONTGOMERY, 2002).

De acordo com Hillier e Lieberman (2013), a dita “forma de chegada aleatória” em um modelo de filas é dada pela distribuição de Poisson, ou seja, cada período de tempo considerado tem a mesma chance de possuir uma chegada de um novo cliente no sistema, sendo esses independentes uns aos outros, como mandam as condições da distribuição de Poisson.

2.3. O Processo de Nascimento-e-morte

Para a elaboração de um modelo de filas, considerações a respeito do chamado processo de nascimento-e-morte são feitos. Num modelo de filas, o evento de chegada de clientes no sistema é chamado processo de nascimento e o evento de saída de clientes do sistema, após atendimento é chamado processo de morte. As frequências de acontecimento dos processos de nascimento e de morte indicam respectivamente a taxas de chegada de cliente (genericamente, λ) e a taxa de atendimento de clientes (genericamente, μ). Ao se considerar essas taxas dadas por distribuições aleatórias exponenciais de probabilidade e que essas variáveis são mutuamente independentes, o processo de nascimento-e-morte passa a ser considerado um tipo especial de cadeia de Markov de tempo contínuo (para saber mais, consultar Hillier e Lieberman (2013)).

A figura 2 a seguir representa um esquema de um processo de nascimento e morte.

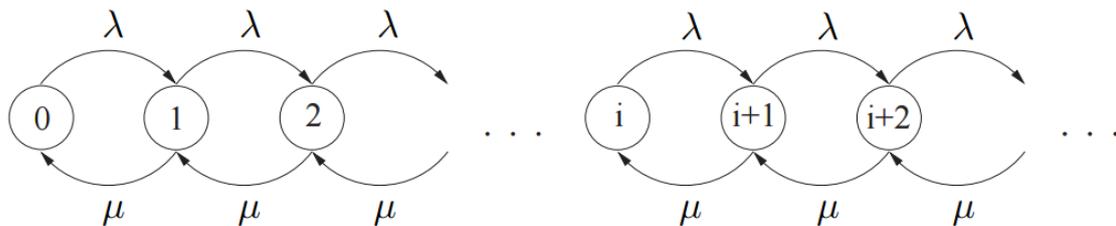


Figura 2 – Esquema de processo de nascimento-e-morte (modificado de Hillier e Lieberman (2013))

A partir das taxas de chegada (λ) e de atendimento (μ), pode-se obter o tempo médio de chegada entre clientes $1/\lambda$ e o tempo médio entre atendimentos $1/\mu$. Ainda a partir desses dados, pode-se obter a intensidade do tráfego de clientes no sistema (ρ), dado por:

$$\rho = \lambda/\mu \quad \text{Eq.(7)}$$

Partindo do resultado obtido na equação 1, pode-se observar que:

- Se $\rho > 1$, há mais chegadas do que saídas de clientes. O número de clientes no sistema é ilimitado e o sistema é instável;
- Se $\rho < 1$, há mais saídas do que chegadas de clientes. Existe uma solução estacionária para o sistema;
- Se $\rho = 1$, significa que chega, em média, o mesmo número de clientes que saem do sistema. Qualquer número de clientes no sistema é equiprovável e o sistema é instável.

2.4. Modelos de filas

De acordo com Arenales et al. (2007), os modelos de filas buscam tratar matematicamente um sistema de filas, criando índices de desempenho para o sistema modelado e convencionalmente para nomear os modelos utiliza-se a notação de Kendall-Lee. Essa notação é apresentada como:

$$A/B/s/K/N/Z$$

Onde,

A: representa a distribuição probabilista da forma de entrada;

B: apresenta a distribuição probabilística do tempo de atendimento;

s: indica a capacidade dos servidores;

K: representa a capacidade máxima de serviços do sistema;

N: é o tamanho da população de clientes;

Z: apresenta a disciplina da fila.

Vale ressaltar que ao utilizar essa notação, é comum a omissão dos últimos 3 elementos, dado que são presumidamente fixos (ilimitada, infinita e FIFO, respectivamente), sendo somente utilizada a notação inteira quando realizado alguma consideração que modifique esses elementos.

De modo geral, cada modelo busca gerar quatro indicadores gerais que mostram o desempenho do modelo em si, sendo eles: número de clientes esperado no sistema de filas (L), comprimento esperado da fila (L_q), tempo de espera no sistema (W) e tempo de espera na fila (W_q). Assim, para cada modelo são feitas considerações a respeito do cálculo e das interações desses indicadores gerais com os específicos de cada modelo. (ARENALES et al. 2007)

A seguir, os modelos explicitados nas seções abaixo possuem a indicação “M” e “E_k” para representar suas distribuições probabilísticas de forma de entrada e/ou tempo de atendimento, que representam respectivamente: distribuição *memoryless* (correspondente a exponencial/de Poisson para entrada/atendimento, devido a suas propriedades de falta de memória e aleatoriedade) e distribuição de Erlang com parâmetro k.

2.4.1. Modelo M/M/1

Um dos modelos mais simples de fila é o M/M/1, que possui seus processos de entrada e forma de atendimento dados por uma distribuição aleatória (Poisson e exponencial, respectivamente) e somente um atendente ($s=1$). Para esse modelo considera-se uma fila infinita e estado estável no sistema ($\rho < 1$).

Para este modelo os indicadores gerais são dados conforme mostrado no Quadro 1 abaixo.

Quadro 1 – Equações dos indicadores gerais de desempenho do modelo de filas M/M/1.

Indicador	Equação
Número de clientes esperado no sistema	$L = \frac{\lambda}{\mu - \lambda}$ Eq.(8)
Comprimento esperado da fila	$L_q = \frac{\lambda^2}{\mu(\mu - \lambda)}$ Eq.(9)
Tempo de espera no sistema	$W = \frac{1}{\mu - \lambda}$ Eq.(10)
Tempo de espera na fila	$W_q = \frac{\lambda}{\mu(\mu - \lambda)}$ Eq.(11)

Fonte: Hillier e Lieberman, 2013 (adaptado).

Onde, para todas as equações desse modelo, tem-se:

- λ = taxa média de chegada de clientes;
- μ = taxa média de atendimento;
- $\rho = \lambda/\mu$ = fator de utilização do sistema.

Ainda, para esse modelo se faz necessário o cálculo das probabilidades de existirem n clientes no sistema (P_n), de não existirem clientes no sistema (P_0) e de ao chegar ao sistema o cliente ter que aguardar atendimento ($P(W_q > t)$), sendo, respectivamente, dados de acordo com as equações 12, 13 e 14 abaixo.

$$P_n = \rho^n P_0 \quad \text{Eq.(12)}$$

$$P_0 = 1 - \rho \quad \text{Eq.(13)}$$

$$P(w_q > t) = \rho e^{-\mu(1-\rho)t} \quad \text{Eq.(14)}$$

Assim, a partir desses indicadores é possível a identificação do desempenho do sistema por meio do modelo. (HILLIER; LIEBERMAN, 2013).

2.4.2. Modelo M/M/s

O modelo M/M/s também possui, de forma análoga ao modelo M/M/1, suas distribuições de chegada e atendimento aleatórias (Poisson e exponencial), fila infinita e disciplina FIFO, porém possui a particularidade de não se limitar a somente um atendente, ou seja, $s > 1$. Feita essa consideração, os valores de μ e ρ não serão sempre constantes, afinal com a adição de novos atendentes a taxa de atendimento será influenciada, sendo assim necessária a criação da variável “ μ_n “, que representa a taxa média de términos de atendimento para o sistema de filas global, ou seja, com $s > 1$ e $n > 1$ a taxa de atendimento global terá um comportamento como:

$$\mu_n = n\mu \text{ quando } n \leq s ;$$

$$\mu_n = s\mu \text{ quando } n \geq s.$$

O conceito de estado estável nesse modelo é atingido quando $\rho = \frac{\lambda}{s\mu} < 1$. (HILLIER; LIEBERMAN, 2013).

Para este modelo os indicadores gerais são dados conforme mostrado no Quadro 2 abaixo.

Quadro 2 – Equações dos indicadores gerais de desempenho do modelo de filas M/M/s

Indicador	Equação
Número de clientes esperado no sistema	$L = L_q + \frac{\lambda}{\mu}$ Eq.(15)
Comprimento esperado da fila	$L_q = \frac{P_0(\lambda/\mu)^2 \rho}{s!(1-\rho)^2}$ Eq.(16)
Tempo de espera no sistema	$W = W_q + \frac{1}{\mu}$ Eq.(17)
Tempo de espera na fila	$W_q = \frac{L_q}{\lambda}$ Eq.(18)

Fonte: Hillier e Lieberman, 2013 (adaptado).

Onde, para todas as equações desse modelo, tem-se:

- λ = taxa média de chegada de clientes;
- μ = taxa média de atendimento;
- $\rho = \lambda/s\mu$ = fator de utilização do sistema.

Ao considerar-se esse modelo se faz necessário o cálculo das probabilidades de existirem n clientes no sistema (P_n), de não existirem clientes no sistema (P_0) e de ao chegar ao sistema o cliente ter que aguardar atendimento ($P(W_q > t)$), sendo, respectivamente, dados de acordo com as equações 19, 20 e 21 abaixo:

$$P_n = \begin{cases} \frac{(\lambda/\mu)^n}{n!} P_0 & \text{se } 0 \leq n \leq s \\ \frac{(\lambda/\mu)^n}{s!s^{n-s}} P_0 & \text{se } n \geq s. \end{cases} \quad \text{Eq.(19)}$$

$$P_0 = \frac{1}{\left[\sum_{n=0}^{s-1} \frac{(\lambda/\mu)^n}{n!} + \frac{(\lambda/\mu)^s}{s!} \frac{1}{1-\lambda/(s\mu)} \right]} \quad \text{Eq.(20)}$$

$$P(W_q > t) = e^{-\mu t} \left[1 + \frac{P_0(\lambda/\mu)^s}{s!(1-\rho)} \left(\frac{1 - e^{-\mu t(s-1-\lambda/\mu)}}{s-1-\lambda/\mu} \right) \right] \quad \text{Eq.(21)}$$

Assim, a partir desses indicadores é possível a identificação do desempenho do sistema por meio do modelo. (HILLIER; LIEBERMAN, 2013).

2.4.3. Modelo M/E_k/1

O modelo M/E_k/1 possui a particularidade de tratar sua forma de entrada como uma distribuição de Erlang, esse tipo de distribuição trata os processos de atendimento com uma variação do tempo dada por um fator k , ou seja, o valor k gerará a variabilidade dos tempos de atendimento em relação à média da distribuição. A distribuição de Erlang recebeu esse nome em homenagem ao criador da Teoria das Filas (Agner Krarup Erlang).

Na distribuição de Erlang, os dois principais fatores a serem dados para caracterizar a distribuição probabilística são os valores μ e k , onde μ representa a taxa média de atendimento e k é o parâmetro de forma da distribuição. O valor de k sofre como restrição a necessidade de ser inteiro. De modo geral, pode-se dizer que a distribuição exponencial é um caso especial da distribuição de Erlang com $k=1$, ou seja, com a diminuição desse valor, considera-se que a nova distribuição gerada possui uma variabilidade dos tempos de atendimento menor que a distribuição exponencial. Sendo assim, uma das grandes vantagens da distribuição de Erlang é sua grande família de distribuições probabilísticas que ela engloba,

possibilitando assim, uma razoável aproximação para determinados sistemas reais de atendimento/filas.

Dentro deste modelo, indicadores de desempenho são dados conforme o Quadro 3 a seguir.

Quadro 3 – Equações dos indicadores gerais de desempenho do modelo de filas M/Ek/1

Indicador	Equação	
Número de clientes esperado no sistema	$L = \lambda W$	Eq.(22)
Comprimento esperado da fila	$L_q = \frac{1+k}{2k} \frac{\lambda^2}{\mu(\mu-\lambda)}$	Eq.(23)
Tempo de espera no sistema	$W = W_q + \frac{1}{\mu}$	Eq.(24)
Tempo de espera na fila	$W_q = \frac{1+k}{2k} \frac{\lambda}{\mu(\mu-\lambda)}$	Eq.(25)

Por se tratar de uma distribuição probabilística extremamente genérica e individual, a determinação probabilística no número de clientes no sistema e da condição de estado estável não é tão facilmente determinada, sendo necessária a aplicação de teorias numéricas avançadas para resolução de cada caso (valor de k e μ) individual. (HILLIER; LIEBERMAN, 2013).

2.5.Plano de Desenvolvimento Institucional - UFGD

De acordo com o Plano Nacional de Educação (2011-2020), o Brasil deverá ampliar a taxa bruta de matrícula na educação superior para cinquenta por cento e a taxa líquida para trinta e três por cento da população de 18 a 24 anos e elevar gradualmente a matrícula na pós-graduação strictu sensu. (UFGD, 2013).

Na Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD), a situação de cursos atualmente se encontra em 37 cursos de graduação e 22 cursos de pós-graduação strictu sensu (senso de 2013). Vale ressaltar que a instituição também possui um plano de ensino a distância (EaD- UFGD) que possui cerca de 560 vagas ofertadas anualmente. Ao final do ano de 2013, a universidade possuía cerca 8.488 alunos anualmente, considerando graduação presencial e a distância e pós-graduação.

Visto tanto o tamanho atual da comunidade acadêmica, quanto à projeção de expansão, torna-se um desafio implantar uma infraestrutura de serviços à comunidade acadêmica que atenda às necessidades. Nesse ínterim, o restaurante universitário da UFGD se mostra em saturado, especialmente em determinados horários de pico.

Dessa maneira, não só a teoria de filas pode contribuir para tratar entradas mais fidedignas em relação à realidade da frequência, como podem contribuir para fazer projeções futuras que subsidiem a construção do novo restaurante universitário junto à COPLAN - UFGD; nesse sentido, tais estudos podem contribuir com o planejamento de outras IES e também podem ajudar a reduzir gargalos e falhas de previsão no futuro pela COPLAN.

O órgão responsável pelo planejamento administrativo-institucional na UFGD é a COPLAN, que tem como principais objetivos a atuação na universidade de forma a auxiliar as atividades de ensino, pesquisa e extensão por meio de atividades como a elaboração de planos de ação anuais, acompanhamento do planejamento de distribuição orçamentária, estabelecimento de normas e procedimentos para planejamento, execução e fiscalização de obras, coordenar em conjunto com outros órgãos os planos de expansão da universidade, entre outros.

O presente trabalho de conclusão de curso faz parte de um projeto de colaboração junto à Pró-Reitoria de Assuntos Estudantis (PROAE), em reunião com engenheiros civis e técnicos, de maneira a oferecer melhores serviços à comunidade acadêmica.

Segundo UFGD (2013), no tocante à pós-graduação o plano de expansão, até o ano de 2023, da universidade é de atender 1588 alunos que somados com as graduações presenciais somarão 27.956 vagas ofertadas existentes.

Considerando essa projeção, o sistema de serviços oferecido pelo restaurante universitário do campus deve estar compatível com a expansão proposta, se fazendo necessário, portanto a utilização de técnicas que contribuam com o planejamento das capacidades, como a Teoria das Filas.

3. Metodologia

A metodologia aqui apresentada tem por objetivo o embasamento comprobatório e científico do trabalho realizado, para isso, cabe à classificação das atividades e tarefas realizadas nas modalidades clássicas de pesquisa.

Por se tratar de um trabalho com aplicação específica em um restaurante universitário, quanto a natureza da pesquisa, pode-se classificá-la como aplicada.

Segundo Terence; Escrivão Filho (2006), uma pesquisa pode possuir duas linhas de abordagem da problemática, sendo elas: quantitativa e qualitativa. A abordagem qualitativa busca relacionar a realidade com o objeto de estudo de forma a analisar os fenômenos e traduzi-los em significados não numéricos, pois naturalmente eles são indissociáveis. Já a abordagem quantitativa, trata o problema de forma a traduzir todas as observações do meio e do objeto de estudo em resultados na forma numérica, a fim de apresentar resultados obtidos por meio de recursos e técnicas matemático-estatísticas.

A presente pesquisa se enquadra na classificação quantitativa, pois busca apresentar as variáveis (e seus valores) que influenciam na formação de filas no atendimento do restaurante universitário.

Dado o objetivo de construir hipóteses de melhoramento e levantar os problemas atuais no atendimento do restaurante, essa pesquisa pode ser classificada como uma pesquisa exploratória, onde devido ao estudo focalizado e exaustivo de um único objeto específico de estudo, pode mais especificamente ser classificada como um estudo de caso.

3.1.Desenvolvimento da pesquisa

O início do estudo se deu a partir da pesquisa bibliográfica e revisão teórica, onde foram adquiridos os conhecimentos sobre o assunto Teoria das Filas e os importantes pontos conceituais e teóricos foram levantados. O processo se segue por meio de uma visita ao restaurante, no qual foi realizada uma entrevista com os responsáveis do atendimento seguido da coleta e observação inicial dos tempos de atendimento e de chegada de clientes. Esta entrevista inicial foi feita em conjunto com o orientador do trabalho a fim de familiarizar-se com os dados a serem coletados no local e de obter informações básicas a respeito da empresa.

Por meio da observação inicial, um modelo de filas foi eleito para representar o ambiente real do Restaurante Universitário - UFGD. A partir do modelo escolhido, foram elencados os dados a serem obtidos no restaurante, como tempos entre chegada de clientes e tempos de atendimento. A fim de tornar o recolhimento dos dados tão verossímil quanto possível foram utilizados dois cronômetros para haver a confronta dos dados obtidos em cada

e as visitas foram realizadas em diferentes períodos de tempo e em diferentes estágios do período de atendimento do restaurante.

3.2.Método de análise dos dados

O tratamento dos dados obtidos nas visitas foi feito de forma a adequá-los para a utilização no modelo de filas proposto, observando e caracterizando cada variável obtida.

Os resultados foram observados junto o modelo escolhido a fim de comparação, sendo avaliados da mesma forma e por meio desta avaliação preliminar, elaborar horizonte conceitual básico que oriente a realização de novos estudos e projetos no local para a otimização geral do atendimento atual e da possível alteração para a demanda projetada.

4. Estudo de Caso

O estudo de caso foi realizado no Restaurante Universitário da UFGD. Inicialmente seguiu-se a metodologia proposta, onde foram feitas três visitas no ambiente de maneira a identificar o fluxo de pessoas e atendimento, bem como o layout atual, para posteriormente, por meio dessa observação e das visitas fosse elaborado um fluxograma do processo de atendimento e a compreensão do processo atual.

O fluxograma do processo de atendimento e pessoas do Restaurante Universitário é apresentado na Figura 3 abaixo.

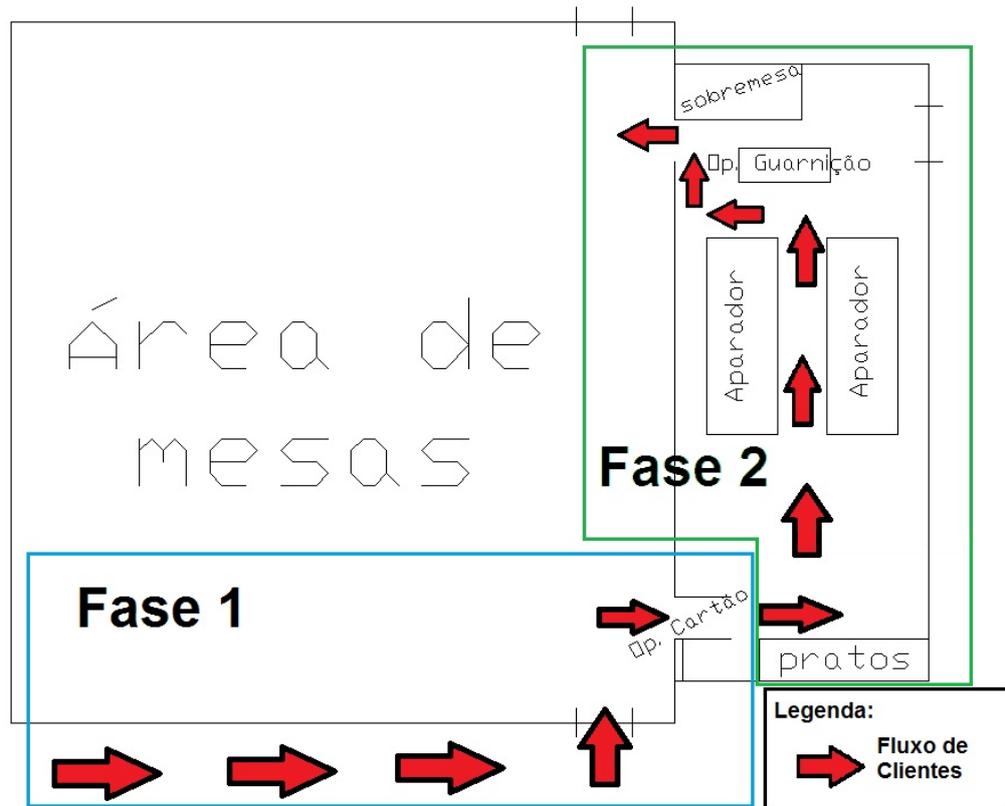


Figura 3 – Fluxo de pessoas e layout no Restaurante Universitário - UFGD

Como pode-se observar no fluxograma, o sistema atual de atendimento é composto de duas fases, onde na Fase 1, o cliente entra na fila para o terminal de entrada/caixa, onde será realizada a passagem do cartão e/ou a recarga do mesmo para por fim receber os tickets de vale alimentação; de posse dos tickets o cliente prossegue para a Fase 2, onde realizará o seu auto atendimento nos aparadores de pratos e talheres e posteriormente no aparador de alimentos. Ao fim do aparador de alimentos existe operação de servimento de guarnição, porção de carne e sobremesa, para finalmente sair do sistema. É importante citar que mesmo existindo dois aparadores de alimentos, a realização da operação de servimento da guarnição é realizada por um único operador.

Um ponto a ser ressaltado é que apesar do restaurante universitário possuir uma área de mesas para realização das refeições e que isso poderia desencadear um estudo de capacidade das mesmas, este ambiente/fator não foi levado em conta neste estudo, de maneira que o sistema considerado termina após a operação de entrega da ficha de guarnição e sobremesa.

4.1.Coleta de Dados

Após a realização das visitas iniciais de reconhecimento do sistema atual de atendimento, se procederam as visitas com o objetivo de coletas dos dados. Os dados coletados consistem nos tempos de chegadas de clientes no sistema e os tempos de atendimento para cada uma das operações (tanto na Fase 1 quanto na Fase 2).

Os tempos observados foram:

- Para o tempo de chegada de clientes: o intervalo em segundos para que cada cliente entre no sistema
- Para os tempos de atendimento: o intervalo de tempo em segundos que transcorreu desde o início do atendimento até o final do mesmo.

As visitas de coletas de dados se procederam durante 10 dias úteis de atendimento do restaurante no período de 15 a 26 de fevereiro de 2016. As visitas tinham duração de três horas, onde em cada hora eram realizadas as medições dos tempos chegada, atendimento na Fase 1 e atendimento na Fase 2 individualmente, de forma que era realizada uma rotação entre os horários da medição dos tempos das operações, para garantir uma maior uniformidade dos dados coletados.

Em cada dia de coleta de dados, na duração de uma hora para cada medida de tempo (realização média de 350 medidas/operação/dia), foi elaborada uma tabela para cada dia com os tempos coletados para cada operação e posteriormente feita a média diária e média geral do período, como apresentado no Quadro 4 a seguir:

Quadro 4 – Médias diárias e do período para os tempos entre chegada e de atendimento para as operações

Dia	Média – Tempo entre Chegadas	Média – Tempo de Atendimento Fase 1 (Cartão)	Média – Tempo de Atendimento Fase 2 (Carne)
15/02	10,19 s	9,82 s	8,72 s
16/02	10,42 s	9,23 s	7,30 s
17/02	12,57 s	11,18 s	8,18 s
18/02	14,75 s	13,50 s	9,86 s
19/02	14,62 s	14,06 s	9,99 s
22/02	14,85 s	13,85 s	10,25 s
23/02	14,76 s	13,76 s	9,98 s

24/02	15,05 s	13,32 s	10,24 s
25/02	15,07 s	13,87 s	10,07 s
26/02	14,89 s	13,92 s	9,62 s
Média Período	13,72 s	12,65 s	9,42 s

Um importante fato para compreensão dos dados são suas unidades. Os tempos entre chegadas demonstram que um cliente chega em média a cada 13,72 segundos e que na Fase 1 e 2 a cada 12,65 e 9,42 segundos, respectivamente, um cliente é atendido, ou seja:

- $\lambda = 4,37$ clientes/minuto
- $\mu_{\text{Fase1}} = 4,74$ clientes/minuto
- $\mu_{\text{Fase2}} = 6,37$ clientes/minuto

A partir dos dados coletados e já pré-organizados apresentados acima, seguiu-se para a etapa de modelagem do sistema, tratada na sessão a seguir.

4.2. Validação dos dados

No presente trabalho, o intervalo de dados coletados foi submetido, após ajustes, como remoções dos valores muito fora da curva, ao *software Input Analyzer* que é uma ferramenta do *software Arena®*, com o objetivo de garantir que os dados coletados estivessem distribuídos de acordo com as distribuições exponencial e de *Poisson*. As análises geradas pelo software seguem respectivamente abaixo para os tempos de chegada (Figura 4), atendimento na fase 1 (Figura 5) e atendimento na fase 2 (Figura 6).

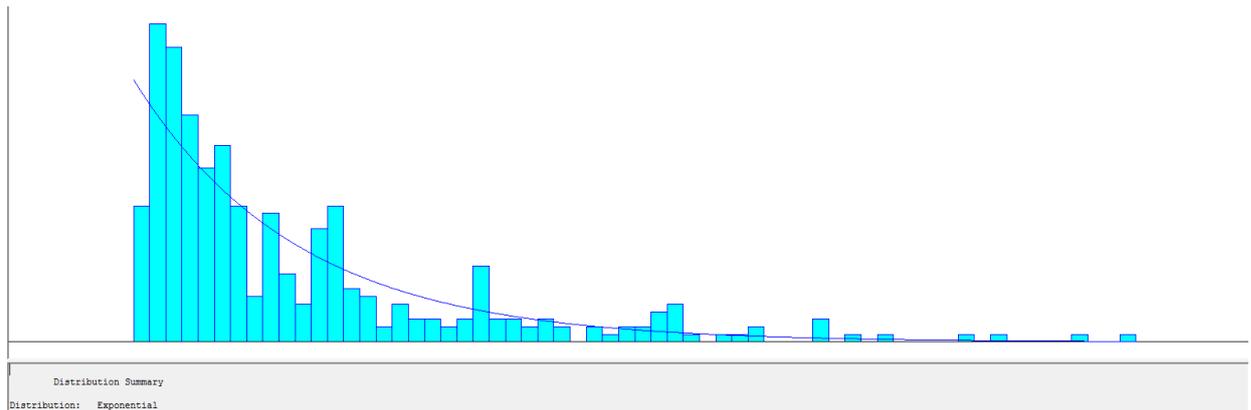


Figura 4 – Histograma de distribuição para os tempos de chegada.

Pode-se observar na Figura 4 que a fina linha azul representa uma perfeita distribuição exponencial fornecida pelo software e as barras do histograma apresentam os dados coletados, divididos em períodos de acordo com sua frequência de aparecimento.

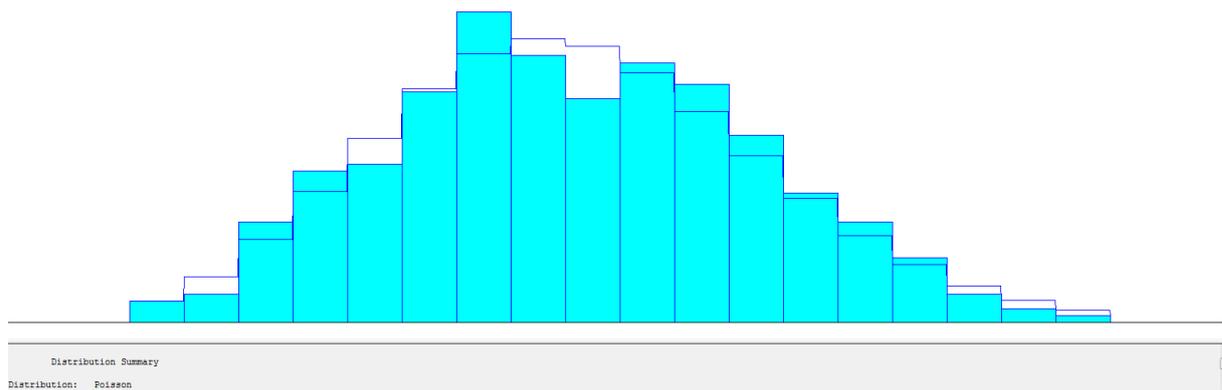


Figura 5 – Histograma de distribuição para os tempos de atendimento da fase 1.

Pode-se observar na Figura 5 que a fina linha azul representa uma perfeita distribuição de Poisson fornecida pelo software e as barras do histograma apresentam os dados coletados, divididos em períodos de acordo com sua frequência de aparecimento.

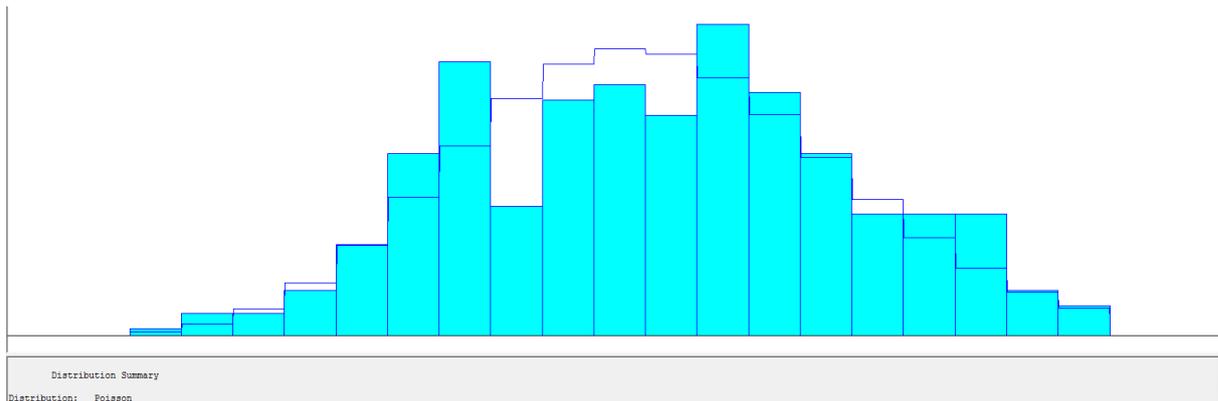


Figura 6– Histograma de distribuição para os tempos de atendimento da fase 2.

Pode-se observar na Figura 6 que a fina linha azul representa uma perfeita distribuição de Poisson fornecida pelo software e as barras do histograma apresentam os dados coletados, divididos em períodos de acordo com sua frequência de aparecimento.

Um importante ponto a ser ressaltado é que o *software* calcula as melhores distribuições que os dados se enquadram por meio do teste qui-quadrado (para mais informações consultar Montgomery e Runger, 2003).

Após a validação dos dados nas respectivas distribuições, prosseguiu-se para a modelagem do sistema, tratado na sessão a seguir.

4.3. Modelagem e discussão

Segundo Powell & Baker (2006), a modelagem de um sistema consiste em um processo de criação de uma representação da realidade com o objetivo de compreender ou controlar algum fator do sistema atual.

Para Moore & Weatherford (2005) o modelo mais básico de teoria das filas utiliza como distribuição dos dados a distribuição exponencial para os tempos de chegadas de clientes e distribuição de *Poisson* para os tempos de atendimento, devido as suas diversas características (como a falta de memória), facilitando assim o desenvolvimento do modelo.

Ao se considerar os modelos interdependentes pode-se dizer que o intervalo de atendimento da última operação do modelo inicial é necessariamente a taxa de entrada do modelo seguinte, ou seja, o μ da última operação do modelo inicial passa a ser o λ do modelo subsequente. (MONTGOMERY; RUNGER, 2003)

A partir das visitas iniciais de reconhecimento do sistema e layout atual do restaurante, observou-se que ambas as fases de atendimento são interdependentes, gerando assim dois modelos interdependentes e que apesar de possuírem estrutura para mais de um atendente, em todos os dias de visita somente um atendente estava trabalhando. Sendo assim, para fins de modelagem do sistema a chamada fase 1 será considerada um modelo, que representará a entrada no sistema e o atendimento no terminar de cartão/caixa e a fase 2 será outro modelo que representará a entrada no sistema a partir da operação de passagem de cartão e a operação de servimento de guarnição/sobremesa.

Os dois modelos gerados (chamados Fase 1 e Fase 2) se adequam nas configurações M/M/1, onde os tempos de chegada de clientes são dados por distribuição exponencial (M), os tempos de atendimento são dados por uma distribuição de Poisson (M), cada sistema possui somente um atendente (1) e a capacidade e tamanho do sistema e a disciplina da fila foram observadas como: ilimitada, infinita e FIFO, respectivamente.

Sendo assim, após a validação dos dados realizada na sessão anterior, passou-se a utilizar os valores de médias do período de 10 dias como os valores de entrada para os modelos. Inicialmente calculou-se para ambos os modelos, o estado de estabilidade do sistema a partir do fator de utilização dado pela Eq.7, como apresentado no Quadro 5 abaixo.

Quadro 5 – Parâmetros dos modelos “Fase 1” e “Fase 2”

Parâmetros	Fase 1	Fase 2
λ	4,37 clientes/minuto	4,74 clientes/minuto
μ	4,74 clientes/minuto	6,37 clientes/minuto
$\rho = \lambda/\mu$	92,2%	74,4%

Inicialmente deve-se observar que os coeficientes de utilização dos operadores nos modelos Fase 1 e Fase 2 são respectivamente 92,2% e 74,4%, ou seja o operador da Fase 1 possui uma taxa de utilização muito grande e isso pode ser um grande indicador da necessidade da implantação de um segundo guichê de atendimento, aliviando assim a taxa de utilização dos mesmos.

Além disso, como pode-se observar, os valores de ρ para ambos os modelos é menor que 1, logo ambos são considerados estáveis e as equações 8 a 11, 13 e 14 são validas como indicadores de desempenho dos sistemas, os resultados dos cálculos são apresentados no Quadro 6 a seguir.

Quadro 6 – Indicadores de desempenho dos modelos “Fase 1” e “Fase 2”

Indicadores	Equações	Fase 1	Fase 2
Número de clientes esperados no sistema	$L = \frac{\lambda}{\mu - \lambda}$	11,81 clientes	2,91 clientes
Comprimento esperado da fila	$L_q = \frac{\lambda^2}{\mu(\mu - \lambda)}$	10,89 clientes	2,16 clientes
Tempo de espera no sistema	$W = \frac{1}{\mu - \lambda}$	2,7 minutos	0,61 minutos
Tempo de espera na fila	$W_q = \frac{\lambda}{\mu(\mu - \lambda)}$	2,49 minutos	0,46 minutos
Probabilidade de não existirem clientes no sistema	$P_0 = 1 - \rho$	7,8%	25,6%
Probabilidade de ao chegar ao sistema o cliente ter que aguardar atendimento por mais de 3 minutos	$P(w_q > 1)$ $= \rho e^{-\mu(1-\rho)}$	30,38%	0,56%

A partir dos resultados apresentados no quadro acima, deve-se observar que os resultados refletem uma realidade que não contempla completamente todas possíveis variáveis e acontecimentos do cotidiano do restaurante, pois conforme observações, o tempo médio de permanência na fila é de 30 minutos, o que demonstra que o modelo não contempla vários fatores que podem interferir no fluxo de atendimento e tempo de permanência na fila.

Dentre os fatores que podem influenciar nesse elevado tempo de permanência da fila são: queda do sistema de cartão, que implica diretamente no aumento do tempo de atendimento da Fase 1; demora na reposição da bandeja de guarnição e sobremesa (sofrendo essa variação principalmente em função do cardápio do dia), que também reflete no aumento do tempo de atendimento da Fase 2 e até mesmo fatores comportamentais que não puderam ser inseridos na modelagem devem ser citados, como a questão de chegada de pessoas em locais diferentes do final da fila, desrespeitando assim a disciplina da fila (o chamado ato de “furar fila”) que influencia diretamente no parâmetro λ . Ainda, para futuros estudos, tais fatores comportamentais podem ser considerados para a elaboração de um modelo mais acurado, podendo até mesmo alimentar modelo de simulação em longo prazo.

Apesar das considerações feitas, o modelo gerado, ainda que com restrições, a realidade do sistema de atendimento do restaurante, podendo assim ser utilizado para uma o planejamento de expansão da universidade, como tratado na sessão a seguir.

4.4. Projeção de expansão segundo PDI

No PDI da UFGD consta que no ano de 2016 a quantidade de alunos, incluindo somente graduação presencial (em vista que a frequência de uso do restaurante pelos alunos de pós-graduação é baixa em vista do não subsídio governamental do valor da refeição para alunos de pós-graduação) é de 11.059 e no plano segundo o plano de expansão, haverá um aumento de 2320 alunos para o ano de 2017 em vista da abertura de novas turmas em cursos existentes e implantação de novos cursos.

Em vista desses dados, também foram coletados em reuniões com a pró-reitoria responsável pelo Restaurante Universitário, a frequência média diária de refeições servidas. Esse dado de 1550 refeições/dia foi colhido no sistema interno da universidade com base nos 6 últimos meses de funcionamento normal (desconsiderando eventos como férias, greves e etc). A partir disso, calculou-se de maneira proporcional o crescimento da taxa média de refeições diária para o ano de 2017. Sendo assim, os dados apresentados acima foram agrupados no Quadro 7 abaixo.

Quadro 7 – Dados e resultados com base no PDI

Ano	Quantidade de alunos na universidade	Média de refeições/dia
2016	11059	1550
2017	13379	1876
Taxa de Crescimento	20,9%	

A fim de tentar mensurar o impacto dessa expansão no atendimento do restaurante universitário, foi realizada a modelagem do novo sistema.

A taxa de crescimento apresentada no quadro acima foi aplicada na taxa de chegada de clientes (λ) do modelo, de forma a simular o aumento na média de refeições diárias, dado que os horários de atendimento permanecerão os mesmos. Ainda, para efeitos de modelagem do

novo sistema, as taxas de atendimento foram mantidas as mesmas dado que nenhuma reestruturação ou adequação de layout no restaurante, como apresentado no Quadro 8 a seguir.

Quadro 8 – Parâmetros dos modelos “Fase 1” e “Fase 2” considerando expansão da universidade

Parâmetros	Fase 1	Fase 2
λ	5,29 clientes/minuto	4,74 clientes/minuto
μ	4,74 clientes/minuto	6,37 clientes/minuto
$\rho = \lambda/\mu$	111,6%	74,4%

Pode-se observar que com a aplicação da taxa de aumento na chegada de clientes o modelo Fase 1 se torna instável ($\rho > 1$), impossibilitando assim os cálculos de seus indicadores, dado que a fila sempre será crescente, sendo assim um forte indicativo de que a estrutura atual de atendimento não está preparada para atendimento da demanda prevista no PDI.

Um ponto que implicaria diretamente na diminuição dessa taxa de utilização e tornaria o modelo aplicável, seria a implantação de um segundo atendente na operação de cartão, de maneira que o modelo M/M/1 seria substituído pelo modelo M/M/s, que possui o cálculo da taxa de utilização dada pela equação $\rho = \lambda/s\mu$, ou seja, com a implantação de um segundo atendente a nova taxa de utilização passaria a ser 55,8%. Entretanto essa nova modelagem não será tratada neste trabalho, pois faria necessária uma nova coleta de dados dos tempos.

5. Conclusão

O uso da Teoria de Filas é uma ferramenta de grande aplicabilidade, especialmente para a avaliação do desempenho de um sistema de atendimento, como é o caso deste trabalho. A utilização dos modelos permite concluir sobre o três componentes de um processo para envolvendo serviços: gerência-atendimento-cliente, que são influenciados de diferentes maneiras e devem ser conciliados um resultado final agradável para os clientes e para a empresa.

A aplicação da Teoria das filas neste estudo de caso demonstrou sua viabilidade para casos em que se buscam indicadores de desempenho do sistema com resultados satisfatórios diante da situação estudada. Entretanto, é importante reforçar que algumas situações que acontecem na realidade do sistema não podem ser contempladas pelo modelo de Teoria das Filas. Eventos como as paradas do sistema digital, atrasos na reposição de bandeja de guarnição e o problema comportamental relativo às “furadas de fila”.

Deve-se compreender assim que um modelo de Teoria das Filas é um modelo matemático ele é de fato rígido quanto aos fatores comportamentais, entretanto pode-se em longo prazo, elaborar uma distribuição probabilística que trace o acontecimento desses problemas comportamentais e assim incorporar essa informação num futuro modelo de simulação.

Acredita-se, portanto que este estudo possibilita uma janela de oportunidades para outros experimentos no local, através de outras metodologias, especialmente as que possam levar em conta os eventos não tratados por esse modelo, de forma a aumentar a precisão geral das informações obtidas e melhor validar casos práticos.

Sendo assim, uma metodologia interessante a ser explorada em pesquisas futuras é a modelagem do sistema estudado em um software de simulação de processos, que poderia incorporar mais fatores de estudo e investigar a sensibilidade do sistema a outros elementos, melhorando assim a análise do *tradeoff* de investimento e atendimento/satisfação do cliente, ou seja, um modelo de simulação, que utiliza um modelo de filas de maneira complementar, pode dar a exata dimensão das necessidades de aumento de estrutura, dado que a simulação 3D permite a análise da planta baixa, emulação dos fluxos e serviços e a captação dos subsídios de necessidade de área construída e arranjo físico.

Por fim, dado o horizonte de expansão da universidade, a capacidade de atendimento do restaurante é baixa, mas a implantação de pequenos ajustes organizacionais, como a adição de mais canais de atendimento nas operações, pode contribuir em curto prazo para o atendimento da demanda sem a necessidade de altos investimentos monetários.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABENSUR, E. O. **Banking operations using queuing theory and genetic algorithms.** Produto & Produção, 2011, v.12, n.2, p.69-86.
- AMIDANI, L. R. **A Teoria das Filas Aplicada aos Serviços Bancários.** Artigo publicado na Revista de Administração de Empresas vol. 5 n. 15. Fundação Getúlio Vargas, 1975.
- ANDERSON, E. W.; FORNELL, C. **The customer satisfaction index as a leading indicator.** In: IACOBUCCI, D.; SWARTZ, T. (Org) Handbook of Services Marketing and Management. Sage Publications, New York, 1999.
- ANDRADE, E. L. **Introdução a Pesquisa Operacional: métodos e modelos para análise de decisão.** 3. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2004
- ARENALES, M.; ARMENTANO, V.; MORABITO, R. **Pesquisa operacional: para cursos de engenharia.** 2007.
- CHWIF, L.; MEDINA, A. C. **Análise e Simulação de Eventos Discretos.** São Paulo, 2007.
- HILLIER, F. S.; LIEBERMAN, G. J. **Introdução à pesquisa operacional.** 9º ed. São Paulo: McGraw-Hill, 2013.
- IGLESIAS, F. **Comportamentos em filas de espera: Uma abordagem multimétodos.** Tese de doutorado, Universidade de Brasília, Brasília, 2007.
- IGLESIAS, F.; GÜNTHER, H. **A espera na vida urbana: uma análise psicossocial das filas.** Artigo publicado na Revista Psicologia em Estudo, Maringá, vol. 14, n. 3, p. 537-545, jul./set. 2009.
- IGLESIAS FILHO, B.F. **Marketing de hospitalidade: conceitos e aplicações: um estudo de caso.** Dissertação (Mestrado), FEA - USP - São Paulo, 1990.
- MONTGOMERY, D.C; RUNGER, G.C. **Estatística aplicada e probabilidade para engenheiros.** Rio de Janeiro: LTC, 2003.
- MOORE, J. H. & WEATHERFORD, L. R. **Tomada de decisão em administração com planilhas eletrônicas.** 6ª Edição. Porto Alegre: Bookman, 2005.
- MOREIRA, D. A. **Pesquisa Operacional – Curso Introductório.** 2. ed. São Paulo: Thomson Learning, 2007.
- MYERS, R. H.; MONTGOMERY, D. C. **Response surface methodology: process and product optimization using designed experiments.** Nova Iorque: John Wiley & Sons, 2002.

PAULINS, V. A. **Na analysis of customer service quality to college students as influenced by costumer appearance through dress during the in-store shopping process.** Journal Retailing Consumer Service, v.12, p.345-355, 2005.

POWELL, S. G. & BAKER, K. R. **A Arte da Modelagem com Planilhas: ciência da gestão, engenharia de planilhas e arte da modelagem.** Rio de Janeiro: LTC, 2006.

REBELATO, M. G. **Uma análise sobre a estratégia competitiva e operacional dos restaurantes self-service.** Artigo publicado na Revista GESTÃO & PRODUÇÃO v.4, n.3, p. 321-322, dez. 1997.

SILVA, A. M.; DE NEGRI, J. A.; KUBOTA, L. C. **Estrutura e Dinâmica do Setor de Serviços no Brasil.** Brasília: IPEA, 2006.

TERENCE, A. C. F.; ESCRIVÃO FILHO, E. Abordagem quantitativa, qualitativa e a utilização da pesquisa-ação nos estudos organizacionais. **Encontro Nacional de Engenharia de Produção**, v. 26, 2006.

TORRES, O. F. **Elementos das Teorias das Filas.** Artigo publicado na Revista de Administração de Empresas Vol. 6 nº. 20. Fundação Getúlio Vargas,1966.

UFGD. **Plano de Desenvolvimento Institucional-PDI-2013-2017.** Universidade Federal da Grande Dourados. Dourados: UFGD, 2013. 231 p.