



UNIDADE II

Pesquisa Operacional

Prof. Dr. Angel Martinez

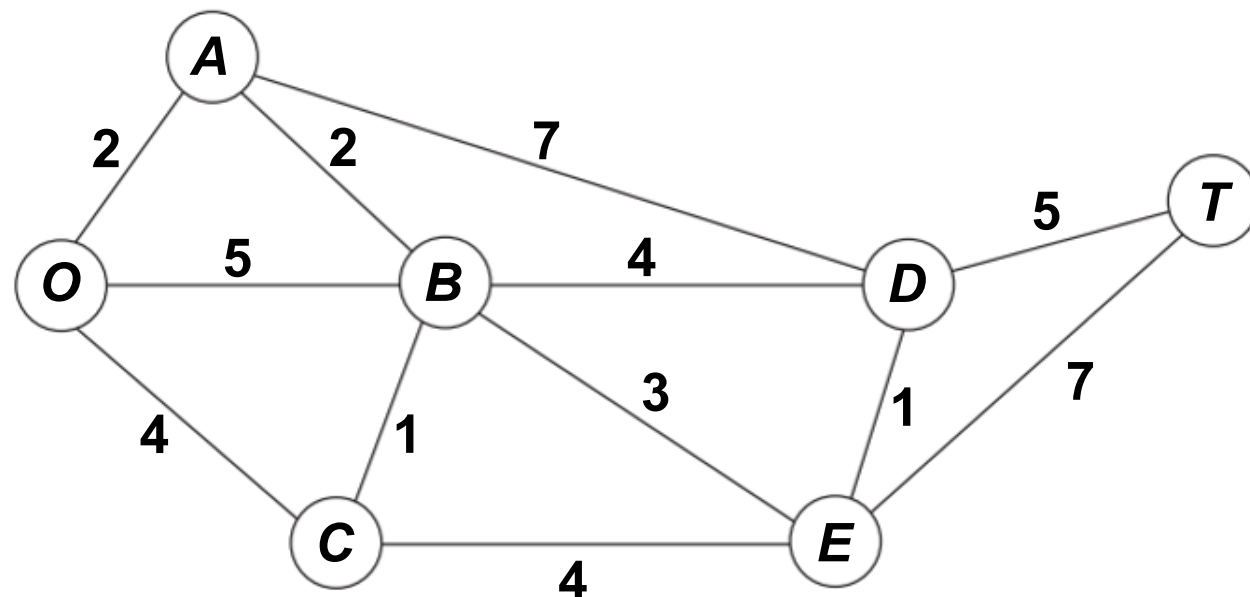
Otimização de redes

- A otimização de redes é uma subárea da pesquisa operacional que se concentra no *design*, no planejamento e na operação de redes de tal forma que se possa alcançar um determinado objetivo, como maximizar a eficiência ou minimizar os custos, sob certas restrições.
- Ela lida principalmente com problemas que podem ser representados por uma estrutura de rede, composta por nós e arcos. Esses problemas abrangem diversas aplicações, desde a logística e transporte até a comunicação de dados e distribuição de energia.

Otimização de redes

São conceitos-chave na otimização de redes:

- **Nó:** ponto individual na rede. Pode representar cidades, computadores, pontos de distribuição, entre outros.
- **Arco:** ligação entre dois nós. Pode representar estradas, cabos de comunicação, tubulações etc. Cada arco tem associado um custo, uma capacidade ou um tempo de viagem.
- **Caminho:** série de arcos que conecta dois nós.
- **Fluxo:** quantidade de produto, informação, tráfego etc. que circula pela rede.



Fonte: adaptado de: Hillier *et al.* (2012, p. 342).

Otimização de redes

A otimização de redes apresenta alguns problemas comuns:

- **Problema do caminho mais curto:** compreende determinar o caminho mais curto (ou de menor custo) entre dois nós de uma rede, por exemplo: encontrar a rota mais rápida entre duas cidades em um mapa rodoviário.
- **Problema de fluxo máximo:** abrange encontrar o maior fluxo que pode ser enviado de um nó de origem para um nó de destino em uma rede sem exceder as capacidades dos arcos, por exemplo: determinar a máxima quantidade de dados que pode ser enviada de um servidor para um cliente em uma rede de computadores.

Otimização de redes

- **Problema do transporte:** envolve determinar a forma mais econômica de transportar mercadorias de várias fontes para vários destinos, dadas as capacidades e demandas.
- **Problema de designação:** implica alocar recursos a tarefas para minimizar custos ou maximizar eficiência.
- **Problema de circulação:** visa determinar a distribuição de fluxo em uma rede de modo a satisfazer determinadas demandas e restrições.

Otimização de redes

Nessa área, uma variedade de técnicas matemáticas e algorítmicas é utilizada para resolver problemas. Algumas das mais notáveis são:

- **Algoritmo de Dijkstra:** usado para resolver o problema do caminho mais curto (Goldbarg, 2014).
- **Algoritmo de Ford-Fulkerson:** empregado no problema de fluxo máximo.
- **Método simplex especializado:** pode ser adaptado para tratar de problemas de transporte e designação na estrutura de rede.

Otimização de redes

- Na pesquisa operacional, a teoria de redes e grafos é um campo fundamental, utilizado para representar e analisar sistemas complexos em diversas áreas, como transporte, telecomunicações e logística.
- Um grafo ($G = (V, E)$) consiste em um conjunto (V) de vértices (ou nós) e um conjunto (E) de arestas (ou arcos) que conectam pares de vértices. Um vértice (ou nó) representa uma entidade dentro do grafo. Uma aresta (ou arco) representa uma relação ou conexão entre dois vértices. Dois vértices são adjacentes se estiverem conectados por uma aresta (Goldbarg; Goldbarg, 2012).

Otimização de redes

A seguir estão alguns dos métodos de resolução utilizados:

- **Programação linear:** frequentemente usada para modelar problemas de otimização de redes. Emprega os métodos simplex e do ponto interior.
- **Algoritmo de Dijkstra:** usado para resolver problemas do caminho mais curto em grafos com arestas de peso não negativo utilizando o método do relaxamento de arestas e seleção gulosa.
- **Algoritmo de Ford-Fulkerson:** empregado para resolver problemas de fluxo máximo em redes aplicando o método do aumento de caminhos e corte mínimo.
 - **Programação dinâmica:** usada em problemas cuja solução ótima pode ser construída a partir de soluções ótimas de subproblemas. Emprega o método da divisão do problema em subproblemas e armazenamento de soluções intermediárias.

Otimização de redes

Problema do caixeiro viajante (caminho mínimo)

- O PCV é um problema clássico que imagina um vendedor (o caixeiro viajante) que precisa visitar várias localidades e quer encontrar a rota mais curta que passa por cada cidade uma única vez e retorna ao ponto de partida.

É aplicado principalmente nas áreas de:

- **Logística:** empresas de entrega usam variações do PCV para planejar rotas de veículos de entrega.
- **Turismo:** agências de viagem o usam para otimizar itinerários.
- **Tecnologia:** redes de computadores o utilizam para encontrar caminhos eficientes entre seus nós.
- **Manufatura:** indústrias o aplicam para otimizar trajetos de ferramentas de corte em máquinas CNC.

Interatividade

Qual das afirmações a seguir é um objetivo comum na utilização de técnicas de otimização de redes?

- a) Aumentar o número de nós na rede para diversificar as rotas possíveis.
- b) Reduzir a variabilidade do tempo de trânsito entre os nós sem considerar os custos.
- c) Minimizar o custo total de transporte ou comunicação entre pontos em uma rede.
- d) Maximizar a quantidade de dados que podem ser armazenados em cada nó da rede.
- e) Priorizar o tráfego de rede com base no tipo de dados, independentemente do custo.

Resposta

Qual das afirmações a seguir é um objetivo comum na utilização de técnicas de otimização de redes?

- a) Aumentar o número de nós na rede para diversificar as rotas possíveis.
- b) Reduzir a variabilidade do tempo de trânsito entre os nós sem considerar os custos.
- c) Minimizar o custo total de transporte ou comunicação entre pontos em uma rede.
- d) Maximizar a quantidade de dados que podem ser armazenados em cada nó da rede.
- e) Priorizar o tráfego de rede com base no tipo de dados, independentemente do custo.

Teoria da Decisão

- A Teoria da Decisão é um campo interdisciplinar que oferece ferramentas para tomar decisões mais eficazes sob diferentes tipos de incertezas e restrições. Ela se sobrepõe significativamente com a pesquisa operacional, especialmente no que diz respeito à modelagem e análise de problemas complexos que envolvem escolhas.
- A Teoria da Decisão é frequentemente aplicada em conjunto com outras técnicas de pesquisa operacional para resolver problemas em áreas como gestão da cadeia de suprimentos, planejamento estratégico, política de preços, alocação de recursos e planejamento de operações em serviços de saúde, transporte e logística.

Teoria da Decisão

Conceitos-chave:

- **Tomadores de decisão:** indivíduos ou entidades que têm a responsabilidade de escolher entre várias alternativas.
- **Alternativas:** as diferentes opções disponíveis para escolha.
 - **Critérios de decisão:** as métricas usadas para avaliar as diferentes alternativas. Esses critérios podem ser quantitativos (como custo e tempo) ou qualitativos (como satisfação do cliente ou reputação).

Teoria da Decisão

- **Matriz de pagamento:** representação tabular das recompensas (ou custos) associada às várias combinações de alternativas e estados da natureza.
- **Risco e incerteza:** risco se refere às situações em que as probabilidades dos diferentes estados da natureza são conhecidas. Incerteza se refere às situações em que se desconhecem essas probabilidades.
- **Estratégias:** planos de ação que especificam qual alternativa seguir para cada possível estado da natureza.

Teoria da Decisão

Métodos e modelos da Teoria da Decisão:

- **Árvores de decisão:** gráfico que representa as diferentes alternativas, os eventos incertos e seus respectivos pagamentos. Esse modelo gráfico ajuda a visualizar e avaliar opções complexas.
- **Análise de sensibilidade:** estudo que examina como as mudanças nas entradas de um modelo de decisão afetam a decisão ótima. É particularmente útil quando há incerteza nos parâmetros do modelo.
 - **Programação matemática:** técnicas como programação linear, programação inteira e programação não linear podem ser usadas para resolver problemas de decisão de otimização.

Teoria da Decisão

Matriz de decisão

- Na Teoria da Decisão, no contexto da pesquisa operacional, uma matriz de decisão, também chamada de método de pontuação ponderada, é uma ferramenta útil para analisar e facilitar a escolha entre várias estratégias ou opções disponíveis, especialmente quando há incertezas e riscos envolvidos. Uma matriz de decisão permite que os decisores comparem diferentes alternativas com base em vários critérios, de forma a escolher a alternativa mais adequada de acordo com os objetivos estabelecidos.

Teoria da Decisão

Exemplo de Matriz de Decisão:

- Suponha que uma empresa de *software* tenha três alternativas: desenvolver um novo produto, melhorar um produto existente ou não fazer nada. Existem dois possíveis estados da natureza: o mercado pode ter uma alta demanda ou uma baixa demanda pelo produto.

	Alta demanda	Baixa demanda
Desenvolver novo	100	50
Melhorar existente	50	10
Não fazer nada	00	0

- Nesse exemplo, os números na matriz representam os ***payoffs* (lucros ou perdas)** associados a cada combinação de alternativa e estado da natureza.

Teoria da Decisão

Decisão tomada sob risco

- A tomada de decisão sob risco é um contexto em que o tomador de decisão tem alguma informação sobre as probabilidades dos diferentes estados da natureza que podem ocorrer.

Componentes principais

- **Decisões:** as ações possíveis que o tomador de decisão pode escolher.
- **Estados da natureza:** os possíveis cenários que podem ocorrer no futuro, sobre os quais o tomador de decisão não tem controle.
- **Probabilidades:** estimativas quantitativas da chance de ocorrência de cada estado da natureza.
- ***Payoffs*** (pagamentos): os resultados associados a cada combinação de decisão e estado da natureza.

Teoria da Decisão

Decisão tomada sob incerteza

- A decisão sob incerteza na pesquisa operacional ocorre quando o tomador de decisão não tem informações suficientes sobre as probabilidades dos diferentes estados da natureza, ou seja, o tomador de decisão desconhece as chances de ocorrência de cada possível cenário. A ausência de conhecimento probabilístico faz com que o tomador de decisão use outros critérios para avaliar as opções de decisão.

Componentes principais:

- **Decisões:** são as diferentes ações que o tomador de decisão pode escolher.
- **Estados da natureza:** são as diferentes condições ou situações que podem ocorrer no futuro e que estão fora do controle do tomador de decisão.
- ***Payoffs*** (pagamentos): representam os resultados associados a cada combinação de decisão e estado da natureza.

Teoria da Decisão

Critério Maximax

- O Critério Maximax é um dos métodos utilizados na tomada de **decisão sob incerteza** e é considerado um **critério otimista**. Esse critério é também conhecido como o critério do melhor dos melhores. Quando um tomador de decisão utiliza o Critério Maximax, ele examina os melhores possíveis *payoffs* para cada alternativa de ação e escolhe a alternativa que oferece o maior *payoff* máximo.

Como funciona

- **Liste as decisões possíveis:** o primeiro passo é listar todas as decisões ou estratégias de ação que podem ser tomadas.
- **Determine os *payoffs*:** para cada decisão possível, liste os *payoffs* (resultados) associados a cada estado da natureza possível.
- **Identifique o melhor *payoff*:** para cada decisão, defina o melhor *payoff* possível.
- **Escolha a decisão com o maior *payoff*:** a decisão que tem o melhor dos melhores *payoffs* é escolhida.

Teoria da Decisão

Critério Maximin

- O Critério Maximin é um método de tomada de **decisão sob incerteza** e é considerado um **critério pessimista**. É o oposto do Critério Maximax. Quando se usa o Critério Maximin, considera-se o pior cenário possível para cada alternativa de decisão e seleciona-se a alternativa cujo pior resultado seja o melhor entre todos os piores resultados possíveis.

Como funciona

- **Liste as decisões possíveis:** começa-se listando todas as decisões ou estratégias de ação possíveis.
- **Determine os *payoffs*:** para cada alternativa, os *payoffs* (resultados) associados a cada possível estado da natureza são identificados.
- **Identifique o pior *payoff*:** para cada alternativa, defina o pior *payoff* possível.
- **Escolha a alternativa com o melhor dos piores *payoffs*:** a decisão que tem o melhor dos piores *payoffs* é escolhida.

Interatividade

Na Teoria da Decisão, qual conceito é essencial para decidir sob incerteza?

- a) Optar pela decisão de maior retorno financeiro.
- b) Preferir a opção com a menor perda potencial.
- c) Avaliar as probabilidades dos estados da natureza.
- d) Aumentar o leque de opções de decisão.
- e) Focar no maximizar do pior cenário.

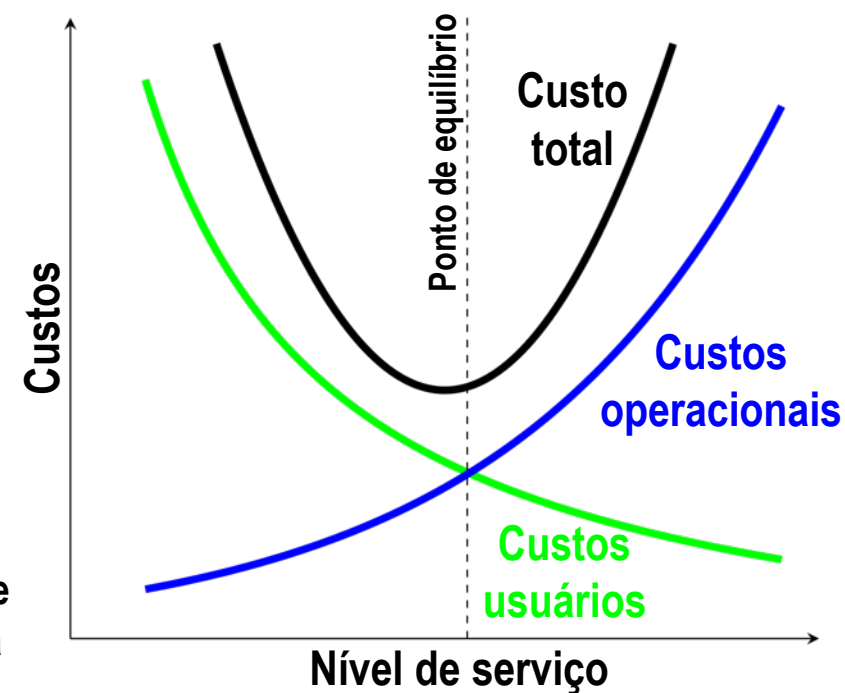
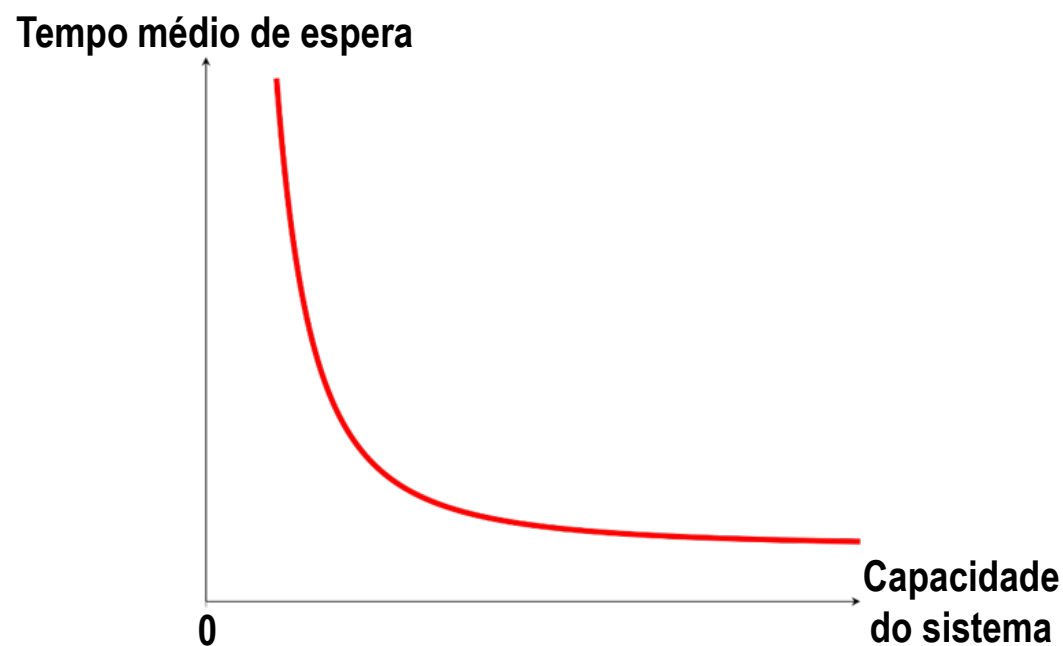
Resposta

Na Teoria da Decisão, qual conceito é essencial para decidir sob incerteza?

- a) Optar pela decisão de maior retorno financeiro.
- b) Preferir a opção com a menor perda potencial.
- c) Avaliar as probabilidades dos estados da natureza.
- d) Aumentar o leque de opções de decisão.
- e) Focar no maximizar do pior cenário.

Teoria das Filas

- A Teoria das Filas é um ramo da pesquisa operacional que estuda a formação de filas, como as pessoas ou objetos se acumulam e aguardam para serem atendidos. Dada a prevalência de filas em muitos cenários da vida real – de supermercados e hospitais a sistemas computacionais –, entender e otimizar sistemas de filas é crucial para melhorar a eficiência e a satisfação do cliente.



Teoria das Filas

Conceitos básicos:

- **População e fonte de entrada:** referem-se à origem dos clientes, ou seja, de onde eles vêm. Essa população pode ser limitada (como um número fixo de aviões em um aeroporto) ou ilimitada (como clientes chegando a um supermercado).
- **Servidores:** representam o recurso ou entidade que atende os clientes. Pode haver um ou vários servidores, por exemplo: os caixas em um supermercado.
- **Mecanismo de atendimento:** define a maneira como os clientes são atendidos. Pode ser em ordem de chegada (Fifo), por prioridade etc.
- **Disciplina da fila:** refere-se à maneira como os clientes são selecionados para atendimento.
- **Capacidade do sistema:** indica o número máximo de clientes (na fila e em serviço) que o sistema pode acomodar.

Teoria das Filas

Características-chave da Teoria das Filas (medida de desempenho)

- **Taxa de chegada (λ):** é a taxa média de clientes que chegam ao sistema por unidade de tempo.
- **Taxa de atendimento (μ):** é a taxa média de clientes que um servidor pode atender por unidade de tempo.
- **Nível de utilização (ρ):** é a fração de tempo em que o servidor está ocupado.
- **Número médio de clientes no sistema (L):** é o cálculo que inclui clientes que estão esperando e sendo atendidos.
 - **Tempo médio que um cliente gasta no sistema (W):** é a soma do tempo que um cliente gasta esperando na fila e sendo atendido.

Teoria das Filas

Classificação de um sistema de filas

Um sistema de filas é caracterizado por três componentes principais:

- **População de clientes:** define quem são os clientes e como eles chegam ao sistema. Podem ser finitos ou infinitos.
- **Mecanismo de serviço:** especifica como os clientes são atendidos, por exemplo: por um ou vários servidores e pode variar em termos de capacidade e disciplina (Fifo, Lifo, prioridades).
- **Política de filas:** determina a ordem pela qual os clientes serão atendidos na fila.

Teoria das Filas

Segundo a fonte de entrada:

- População infinita: quando o número de possíveis clientes é muito grande, como num posto de gasolina em uma rodovia movimentada.
- População finita: quando o número de possíveis clientes é limitado, como funcionários de uma empresa usando a mesma impressora.

Segundo a disciplina da fila:

- First in, first out (Fifo): o primeiro que chega é o primeiro que sai.
- Last in, first out (Lifo): o último que chega é o primeiro que sai.
- Prioridade: clientes com maior prioridade são atendidos primeiro.

Teoria das Filas

Segundo o número de servidores:

- Sistema de um único servidor: apenas um servidor realiza todos os atendimentos.
- Sistema de múltiplos servidores: mais de um servidor está disponível para atendimento.

Segundo a capacidade do sistema:

- Capacidade ilimitada: o número de clientes no sistema (na fila e em serviço) pode ser infinito.
- Capacidade limitada: existe um limite para o número de clientes no sistema.

Segundo o tempo de chegada e serviço:

- Determinístico: o tempo entre chegadas e/ou o tempo de serviço são constantes.
- Estocástico: o tempo entre chegadas e/ou o tempo de serviço seguem uma distribuição probabilística.

Teoria das Filas

Disciplina da fila:

- Esse componente se refere à regra ou conjunto de regras que determinam a ordem segundo a qual os clientes são selecionados para o serviço a partir da fila. A disciplina da fila é um componente crítico no *design* e análise de sistemas de filas, pois pode influenciar significativamente seu desempenho e suas métricas.

As principais disciplinas da fila são:

- **FIFO** (*first in, first out*) ou **FCFS** (*first come, first served*): o cliente que entra na fila primeiro é atendido primeiro. É a disciplina mais comum, usada em situações em que a justiça ou igualdade é uma preocupação, como em caixas de supermercados ou filas de banco.
- **LIFO** (*last in, first out*) ou **LCFS** (*last come, first served*): o cliente que entra na fila mais recentemente é atendido primeiro. É menos comum que o Fifo, mas pode ser observado em algumas aplicações específicas, como em pilhas de armazenamento.
- **SIRO** (*service in random order*): clientes são selecionados para atendimento em ordem totalmente aleatória. É raro em aplicações práticas, mas pode ser usado em simulações ou para modelagem teórica.
- Etc.

Teoria das Filas

A notação básica de Kendall é $A/B/C$, em que:

A: refere-se ao processo de chegada.

- **M:** chegadas com distribuição de Poisson (do inglês, *memoryless*).
- **D:** chegadas determinísticas ou constantes.
- **G:** chegadas gerais, em que não há um padrão específico.

B: refere-se à distribuição do tempo de serviço.

- **M:** tempo de serviço exponencialmente distribuído.
- **D:** tempo de serviço determinístico ou constante.
- **G:** tempo de serviço geral, sem uma distribuição específica.

C: refere-se ao número de servidores no sistema.

Teoria das Filas

Medidas de desempenho de um sistema de filas:

- **Taxa de chegada (λ):** é a taxa média em que entidades (clientes, peças, chamadas etc.) chegam ao sistema. Em geral, assume-se que as chegadas seguem um processo de Poisson, embora isso possa variar de acordo com o sistema específico.
- **Taxa de serviço (μ):** representa a taxa média em que os servidores atendem ou processam as entidades.
- **Número médio de entidades na fila (L_q):** essa métrica reflete a quantidade média de entidades esperando na fila, sem contar aquelas já em serviço.
 - **Tempo médio de espera na fila (W_q):** é o tempo médio que uma entidade passa esperando na fila antes de ser atendida.

Teoria das Filas

- **Número médio de entidades no sistema (L):** essa é a quantidade total média de entidades no sistema, considerando tanto aquelas na fila quanto as em serviço.
- **Tempo médio no sistema (W):** representa o tempo médio que uma entidade passa dentro do sistema, incluindo tanto o tempo de espera na fila quanto o tempo de atendimento.
- **Probabilidade de o servidor estar ocupado (ρ):** reflete a fração do tempo em que o servidor (ou servidores) está ocupado atendendo entidades. É também conhecido como fator de utilização do sistema.
- **Probabilidade de um número específico de entidades no sistema (P_n):** reflete a probabilidade de haver n entidades no sistema em um dado momento.
 - **Probabilidade de o sistema estar vazio (P_0):** essa é a probabilidade de não haver entidades no sistema.
 - **Tempo máximo de espera na fila:** embora menos comum do que as métricas médias, em alguns cenários, é crucial conhecer o tempo máximo que uma entidade pode esperar na fila.

Teoria das Filas

Exemplo simples

Suponha um caixa de banco em que clientes chegam a uma taxa média de 5 clientes por hora ($\lambda = 5$) e passam em média 10 minutos (ou $1/6$ de uma hora) no sistema, seja esperando na fila ou sendo atendidos ($W = 1/6$). Usando a fórmula de Little, podemos calcular o número médio de clientes no sistema (L) como:

$$L = \lambda W = 5 * \left(\frac{1}{6}\right) = \frac{5}{6}$$

- Isso significa que, em média, haverá $5/6$ (ou, aproximadamente, 0,83) clientes no sistema (no caixa ou esperando na fila).

Interatividade

Qual das seguintes opções melhor descreve o conceito de disciplina da fila e sua aplicação?

- a) Disciplina de filas refere-se exclusivamente à ordem física em que os clientes estão alinhados na fila.
- b) Disciplina de filas é o método utilizado para determinar quais variáveis aleatórias serão utilizadas no modelo estocástico.
- c) Disciplina de filas define a maneira como os trabalhos são priorizados e selecionados para o serviço, como “primeiro a chegar, primeiro a ser servido” (Fifo).
 - d) Disciplina de filas é um conjunto de regras para limitar a entrada de clientes na fila, como uma política de portas fechadas.
 - e) Disciplina de filas é a estratégia para minimizar o tempo de serviço, garantindo que o servidor esteja sempre ocupado.

Resposta

Qual das seguintes opções melhor descreve o conceito de disciplina da fila e sua aplicação?

- a) Disciplina de filas refere-se exclusivamente à ordem física em que os clientes estão alinhados na fila.
- b) Disciplina de filas é o método utilizado para determinar quais variáveis aleatórias serão utilizadas no modelo estocástico.
- c) Disciplina de filas define a maneira como os trabalhos são priorizados e selecionados para o serviço, como “primeiro a chegar, primeiro a ser servido” (Fifo).
- d) Disciplina de filas é um conjunto de regras para limitar a entrada de clientes na fila, como uma política de portas fechadas.
- e) Disciplina de filas é a estratégia para minimizar o tempo de serviço, garantindo que o servidor esteja sempre ocupado.

Simulação

- A Teoria da Simulação é um ramo da pesquisa operacional que envolve a modelagem de sistemas complexos para prever seu comportamento em diferentes cenários. Em vez de solucionar problemas matematicamente, a simulação permite que os analistas configurem um modelo computacional do sistema em questão e realizem experimentos para observar o que acontece.

Simulação

Fundamentos da simulação

- **Entidades:** componentes individuais que interagem dentro do sistema, por exemplo: em uma simulação de tráfego, carros, semáforos e pedestres seriam as entidades.
- **Atributos:** características que definem as propriedades das entidades. No contexto de uma simulação de hospital, atributos podem incluir o tipo de tratamento necessário para cada paciente, o tempo de espera etc.
 - **Eventos:** ações que ocorrem em pontos específicos no tempo e que alteram o estado das entidades e do sistema como um todo.

Simulação

Fundamentos da simulação (continuação)

- **Horizonte de tempo:** duração total do estudo de simulação. Pode ser finito ou infinito.
- **Estado do sistema:** representação das variáveis de interesse em determinado momento.
- **Relógio de simulação:** variável que avança de forma incremental ou em saltos para representar o passar do tempo no sistema simulado.

Simulação

Tipos de simulação

- **Simulação de eventos discretos (DES):** foca em sistemas nos quais as mudanças ocorrem em pontos específicos no tempo. É comum em simulações de fábricas e sistemas de transporte.
- **Simulação de Monte Carlo:** utiliza o acaso e variáveis aleatórias para modelar eventos incertos. É bastante utilizada em finanças e engenharia de risco.
 - **Simulação contínua:** aplica-se a sistemas nos quais as mudanças ocorrem continuamente ao longo do tempo, como em simulações climáticas.

Simulação

Uma simulação depende de diversas etapas

- Na etapa de **definição do problema**, deve-se entender o que se quer alcançar com a simulação;
- Na etapa de **construção do modelo**, deve-se representar o sistema de forma abstrata, normalmente com o auxílio de *software* de simulação;
- Na **coleta de dados**, busca-se obter dados para as entradas do modelo;
- Na etapa de **execução**, deve-se rodar o modelo e coletar os resultados;
- Na **análise**, interpretam-se os resultados, frequentemente usando técnicas estatísticas;
 - Na etapa de **validação e verificação**, garante-se que o modelo é uma representação precisa do sistema real e que os resultados são confiáveis;
 - Na etapa de **documentação**, criam-se registros detalhados do modelo, dos dados e das conclusões para futura referência ou para uso por outros pesquisadores.

Simulação

- As aplicações da simulação na pesquisa operacional abrangem a otimização de processos industriais, a análise de sistemas de saúde, o estudo de cadeias de suprimentos, a modelagem de redes de computadores e o planejamento de operações logísticas.
- Entre suas vantagens, estão a flexibilidade para modelar sistemas complexos e a capacidade de testar uma grande variedade de cenários, contudo, sua dependência da qualidade dos dados de entrada e o possível alto custo computacional e de tempo podem limitá-la.
 - Em suma, a simulação é uma ferramenta da pesquisa operacional para analisar sistemas complexos em que soluções analíticas são difíceis ou impossíveis de se encontrar. Ela permite aos decisores entender melhor o comportamento do sistema sob diferentes condições e tomar decisões mais informadas.

Simulação

O método Monte Carlo

- O método Monte Carlo é uma técnica de simulação estatística usada para modelar a probabilidade de diferentes resultados em um processo que não pode ser facilmente previsto devido à intervenção de variáveis aleatórias. Embora originalmente desenvolvido para problemas na física estatística, ele pode ser útil em uma variedade de campos, como pesquisa operacional, finanças, engenharia e muitas outras ciências aplicadas.

Seus principais componentes são:

- **Variáveis de entrada:** as variáveis que você não pode controlar no sistema, como demanda do cliente, tempo de falha de máquinas etc.
- **Modelo estocástico:** um modelo matemático ou computacional que incorpora as variáveis de entrada.
- **Variáveis de saída:** as métricas que você está tentando entender ou otimizar, como custo, lucro, tempo de espera etc.

Simulação

As etapas básicas do método Monte Carlo são:

- **Definição do modelo:** em que se identificam as variáveis aleatórias e os parâmetros do sistema.
- **Geração de entradas aleatórias:** em que se utilizam geradores de números aleatórios para criar uma série de entradas com base em distribuições de probabilidade conhecidas.
- **Simulação:** em que se usa o modelo estocástico para executar um experimento usando as entradas aleatórias.
- **Coleta de dados:** em que os resultados são coletados e analisados.
 - **Análise estatística:** em que se realizam análises para entender a distribuição dos resultados e outras estatísticas descritivas.
 - **Validação:** em que se valida o modelo para garantir que ele é uma representação precisa do sistema real.

Simulação

Casos interessantes de simulação

- **Em aeroportos**, é possível simular fluxos de passageiros e bagagens para projetar terminais mais eficientes, otimizar a alocação de portões e reduzir tempos de espera.
- **Nos hospitais**, pode-se simular o fluxo de pacientes para reduzir tempos de espera, otimizar a ocupação de leitos e melhorar a eficiência das salas de cirurgia.
 - **Na manufatura**, simula-se a linha de produção para identificar gargalos, otimizar a sequência de produção e avaliar o impacto de falhas de equipamentos.

Simulação

- **Em logística e cadeia de suprimentos**, é possível simular redes de distribuição para otimizar rotas de transporte, gerenciar estoques e avaliar estratégias sob diferentes cenários, como greves ou interrupções devido a desastres naturais.
- **Nos sistemas financeiros**, a simulação do mercado pode testar algoritmos de negociação, avaliar riscos e testar estratégias de investimento sob diferentes cenários econômicos.
- **No planejamento urbano**, pode-se simular fluxos de tráfego para otimizar a sincronização de semáforos, planejar novas vias ou avaliar os impactos de grandes eventos ou construções.
- **Nas telecomunicações**, é possível simular redes para avaliar sua capacidade, otimizar o posicionamento de torres e antenas e prever o desempenho sob diferentes volumes de tráfego.

Resumo

- Nesta unidade, foram vistos alguns problemas da pesquisa operacional mais específicos que se valem dos métodos apresentados na unidade I. Todos eles foram abordados de forma bastante simplificada, pois essa disciplina tem o objetivo de ser um texto introdutório, porém abrangente.
- Aprendemos sobre otimização de rede, cujos métodos são utilizados em muitas áreas da indústria e geralmente visam escolher um caminho mais curto, mais barato ou mais rápido. Também discutimos a Teoria de Decisão, que envolve uma grande gama de problemas, como a escolha para compra de equipamentos ou que investimento seria mais lucrativo ou de menor risco.
 - Abordamos igualmente a Teoria das Filas, que serve de suporte para diversos ramos da indústria, da troca de mensagens em um sistema computacional a filas em um supermercado, e está diretamente envolvida com a Teoria da Simulação, usada para testar valores e cenários para orientar a tomada de decisão.

Interatividade

Qual das seguintes afirmações melhor descreve a simulação para a pesquisa operacional?

- a) Simulação é o uso de funções matemáticas para resolver problemas de otimização.
- b) Simulação é uma técnica que busca encontrar soluções ótimas com base em algoritmos determinísticos.
- c) Simulação é um processo que utiliza modelos matemáticos para imitar o comportamento de sistemas reais.
- d) Simulação é um método exclusivo para avaliação de risco financeiro.
- e) Simulação é um conjunto de técnicas utilizadas para prever resultados futuros com certeza absoluta.

Resposta

Qual das seguintes afirmações melhor descreve a simulação para a pesquisa operacional?

- a) Simulação é o uso de funções matemáticas para resolver problemas de otimização.
- b) Simulação é uma técnica que busca encontrar soluções ótimas com base em algoritmos determinísticos.
- c) Simulação é um processo que utiliza modelos matemáticos para imitar o comportamento de sistemas reais.
- d) Simulação é um método exclusivo para avaliação de risco financeiro.
- e) Simulação é um conjunto de técnicas utilizadas para prever resultados futuros com certeza absoluta.

Referências

- GOLDBARG, E.; GOLDBARG, M. *Grafos*. 1. ed. Rio de Janeiro: GEN, 2012.
- GOLDBARG, M. *Programação linear e fluxos em redes*. Rio de Janeiro: GEN, 2014.
- HILLIER, F. S. *et al. Introdução à pesquisa operacional*. 9. ed. Porto Alegre: AMGH, 2012.

ATÉ A PRÓXIMA!