

Simulação Computacional

Simulação
Prof. Eng. Ms. Pedro Nascimento de Lima



JESUÍTAS BRASIL



Aula Introdutória

- Quem Somos?
- Competências e Conteúdos desta Disciplina;
- Plano de Aula e Contrato Pedagógico;
- Introdução à Simulação Computacional.

01/06/2019

Quem Somos?

- Nome;
- Cidade;
- Semestre;
- Empresa e setor onde trabalha (se aplicável);

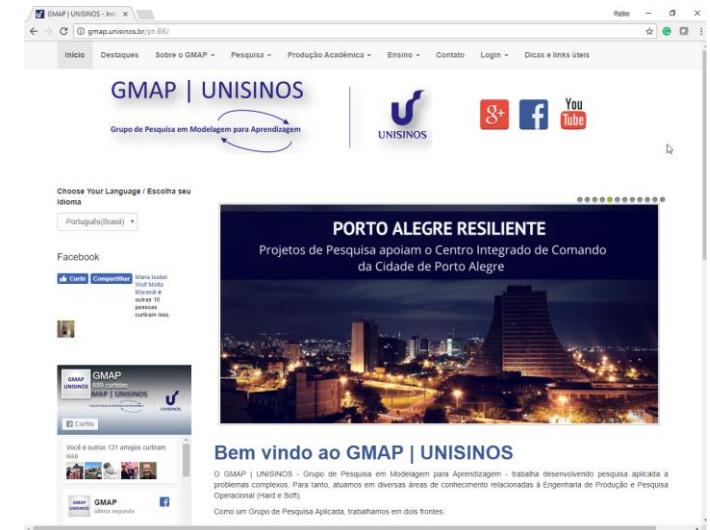
01/06/2019

Sobre o GMAP | UNISINOS

- Grupo de Pesquisa em **Modelagem para Aprendizagem.**



<http://youtube.com/gmapunisinos>



<http://gmap.unisinos.br>

01/06/2019

THE SMARTEST WAY TO

Learn Data Science Online

The skills people and businesses need to succeed are changing. No matter where you are in your career or what field you work in, you will need to understand the language of data. With DataCamp, you learn data science today and apply it tomorrow.

[Start Learning For Free](#)

Create Your Free Account



LinkedIn



Facebook



Google

or



Email address



Password

[Create Free Account](#)

By continuing you accept the Terms of Use and Privacy Policy, that your data will be stored outside of the EU, and that you are 16 years or older.



DESAFIO DATA SCIENCE

Datacamp

- Plataforma (em inglês) para aprender Data Science (R, python, SQL, etc.) com mais de 200 cursos interativos;
- Custo ~ R\$ 120,00 / mês;
- Organiza os cursos em “carreiras”;
- Nível de qualidade alto e global.

The screenshot shows three career paths on the Datacamp platform:

- R Programmer**: A shield icon featuring an R logo and a document. Details: 40 hours, 10 courses.
- Data Analyst with R**: A shield icon featuring an R logo and a bar chart. Details: Base salary: \$62,000.
- Data Scientist with R**: A shield icon featuring an R logo and a stack of books. Details: Base salary: \$118,000.

A blue arrow points from the "Nada Mal" text box at the top right towards the "Data Scientist with R" card.

Nada Mal

Data Scientist with R
Base salary: \$118,000

Data Analyst with R
Base salary: \$62,000

A Python Developer uses their ~~ammer~~ programming skills to wrangle data and build tools for data analysis.

Learn More >

01/06/2019

Minha Proposta

- Para quem se interessar:
 - Escolha um curso e eu “pago” ele para você;
 - A cada curso que terminar, eu libero outro que você escolher para você realizar;
 - Sugestão: Use o R se não tiver um bom motivo para escolher o python;
 - Você ganha um ponto extra se fizer o curso;
 - Tudo isso é em **paralelo** às disciplinas e aos outros compromissos;

01/06/2019



“Não quero ser programador, porquê isso é útil?”

- R – bibliotecas free para diversos tipos de tarefas:
 - Previsão de Demanda: forecast, prophet;
 - Simulação por Eventos Discretos: simmer, Arena2r;
 - Simulação de Dinâmica de Sistemas: deSolve;
 - Análise de Causalidade: CausalImpact;
 - Algoritmos Genéticos: GA
 - Teoria de Filas: queueing
 - Controle de Qualidade: qicharts
 - Programação Linear: lpSolve
 - Análise de Confiabilidade: Weibull-R
 - e mais de 13 mil outros pacotes.
- Conclusão: Muitos problemas da empresa podem ser resolvidos com dois elementos:
 - Software livre;
 - Alguém que saiba usá-lo!

01/06/2019

Links

- Cursos Disponíveis:
<https://www.datacamp.com/courses>
- Link para Inscrição (até 11/03; apenas os primeiros 70 inscritos receberão acesso):
<https://goo.gl/forms/NXIhRocS2UXCDWpI2>
- Link para Acesso (após 11/03):
<https://www.datacamp.com/enterprise/desafio-data-science-2019-1>

01/06/2019

Regras (para a pontuação extra)

- Para poder participar o aluno deve:
 - Criar uma conta no site www.datacamp.com;
 - Navegar nos cursos e escolher um curso de seu interesse (qualquer curso que ainda não tenha feito);
 - Até a segunda semana de aula, realizar a inscrição pelo google forms;
 - Acessar o link: <http://bit.ly/bonus20191>
 - **Durante seis meses após o início das aulas, você tem acesso a qualquer curso.**
 - Se concluir mais de 4 horas de conteúdo até a prova do grau A, recebe 1 ponto;
 - Se concluir mais de 6 horas de conteúdo até a prova do GB, recebe 1 ponto no GB;
 - Pontos extra só valem para uma disciplina.

01/06/2019



Run

This model simulates the manufacturing and shipping process in a small job shop.

Raw material is delivered to the receiving dock, which is placed into storage until processing occurs at the CNC machine.

Finished parts are palletized, and then moved to storage at the shipping dock, until the completed pallets can be loaded on a truck.

The user can control certain model parameters, like process times and labor quantities, via the input boxes.

COMPREENDENDO O CONCEITO DE SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL

Simulação de um Processo Produtivo Simples



01/06/2019

Situação Problemática

- Uma pequena empresa do Vale do Sinos tem enfrentado os seguintes problemas:
 - Pedidos são entregues com atraso com frequência;
 - A empresa recebe multas de seu comprador por não entregar peças no prazo;
 - Teoricamente, a capacidade da empresa é suficiente para atender a demanda;
 - A empresa tem intenção em investir para o aumento da capacidade, mas está insegura pois o gestor não consegue justificar o investimento / decidir “onde é o gargalo” – que parece mudar a todo instante;
 - Não se sabe exatamente no que investir, devido à alta variabilidade.

01/06/2019

Situação Problemática

- Você é Engenheiro de Produção na Empresa, e não consegue aplicar as ferramentas que já conhece:
 - A variabilidade é muito grande: Não é possível otimizar as operações;
 - O fluxo produtivo é altamente complexo: Utilizar teoria de filas não é uma opção;
 - Apenas considerar o OEE não funciona: A variabilidade do processo faz com que suas estimativas falhem.
 - Como planejar adequadamente a expansão da empresa?

01/06/2019

Atividade Prática

- Formar Grupos de 4 pessoas.
- Observar o Modelo Computacional em operação;
- Responder, e anotar a resposta em grupo:
 - Que tipo de decisões o modelo pode suportar?
 - Que informações são necessárias para formular o modelo computacional?
 - Quais são as vantagens em utilizar este modelo?
 - Quais são as desvantagens em utilizar este modelo?

01/06/2019

Competências a Desenvolver

- Construir e analisar modelos de simulação computacional destinados à melhoria de processos produtivos.
- Comparar e avaliar cenários simulados por meio de indicadores de desempenho.
- Aplicar os conhecimentos em problemas de suporte à decisão de cunho estratégico ou tático.
- Identificar, modelar e resolver problemas por meio da Simulação Computacional por eventos discretos.

01/06/2019

Próximos Passos do Trabalho

- Pesquisar Casos de Simulação Computacional por eventos discretos aplicados à manufatura;
- Definir o artigo a apresentar até o dia **14/03**.
Enviar o artigo por e-mail para
pedronl@unisinos.br.

01/06/2019

Projeto de Simulação da Disciplina

- Objetivo: Propor e Implementar um Projeto de Simulação Computacional por Eventos Discretos;
- Grau A: Modelo Conceitual;
- Grau B: Modelo Implementado.

01/06/2019

Competição Arena

The screenshot shows a web browser window for 'Arena Arena Simulation' at the URL <https://www.arenasimulation.com/academic/iie-arena-student-competition>. The page features a red header with navigation links for 'Download a Free Trial', 'Newsletter', and 'Blog'. Below the header is the 'Arena® Simulation Software' logo and a search bar. A 'Rockwell Automation' logo is visible in the top right corner. A black navigation bar contains links for 'What is Simulation', 'Business Processes', 'Industry Solutions', 'Support', 'Purchasing Options', and 'Academic'. The main content area displays the title 'IIE/Arena Student Competition' in large bold letters. Below the title, a paragraph describes the competition as a great way for undergraduates to demonstrate their skills and compete against the world's best simulation students for cash prizes. A 'Register for the Competition' button is prominently displayed. At the bottom of the page, a dark banner indicates the competition dates as 'MAY 18 – 21, 2019'.

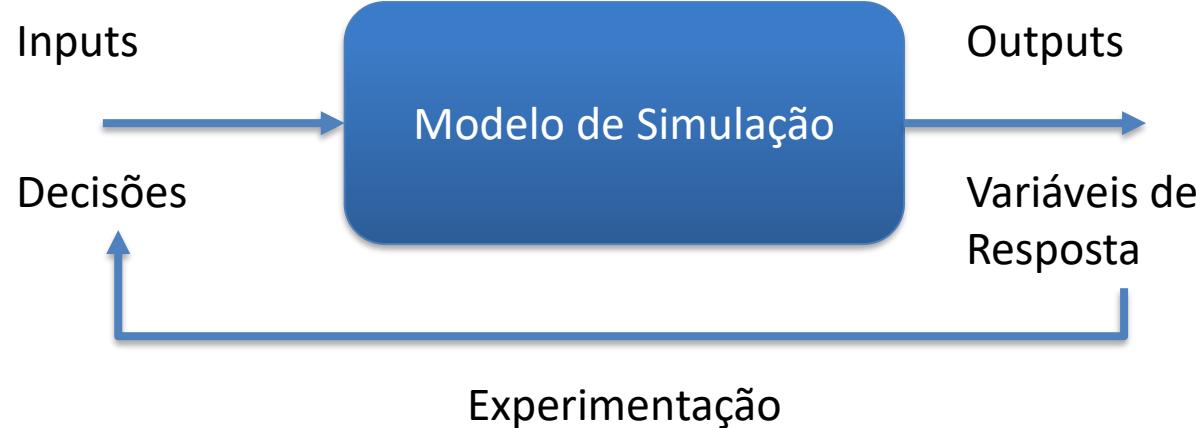
<https://www.arenasimulation.com/academic/iie-arena-student-competition>

01/06/2019



JESUÍTAS BRASIL



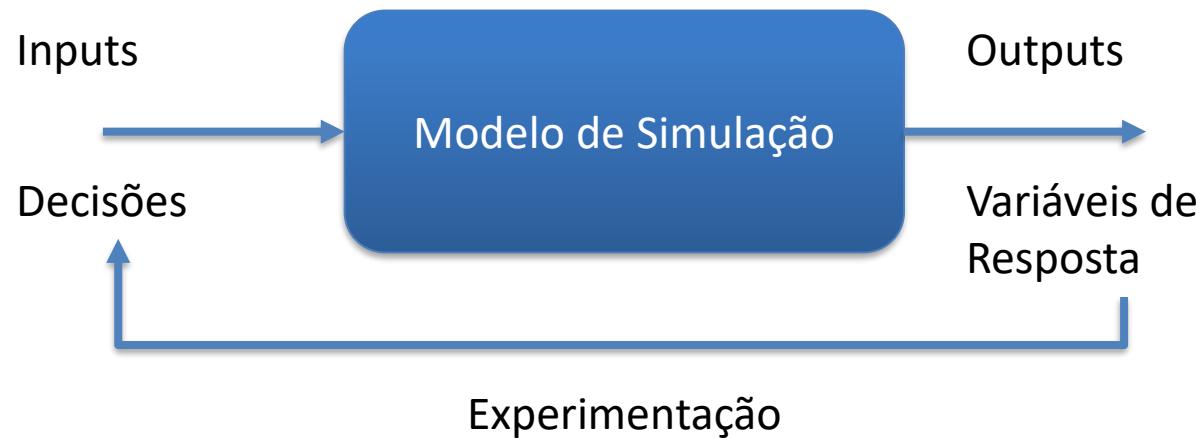


SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL

INTRODUÇÃO À SIMULAÇÃO POR EVENTOS DISCRETOS

Simulação Como Experimentação

- Simulação computacional é uma maneira de experimentação:



01/06/2019

Porquê Simular?

- Custos: Em comparação à experimentação real, a simulação incorre em menos custos;
- Tempo: É possível simular meses ou anos em alguns segundos, ao invés de esperar os resultados das decisões se concretizarem;
- Replicabilidade: No mundo real, é difícil obter uma replicação adequada de um experimento (por exemplo em um setor produtivo);
- Segurança: É possível testar condições extremas em simulação computacional, o que seria difícil.

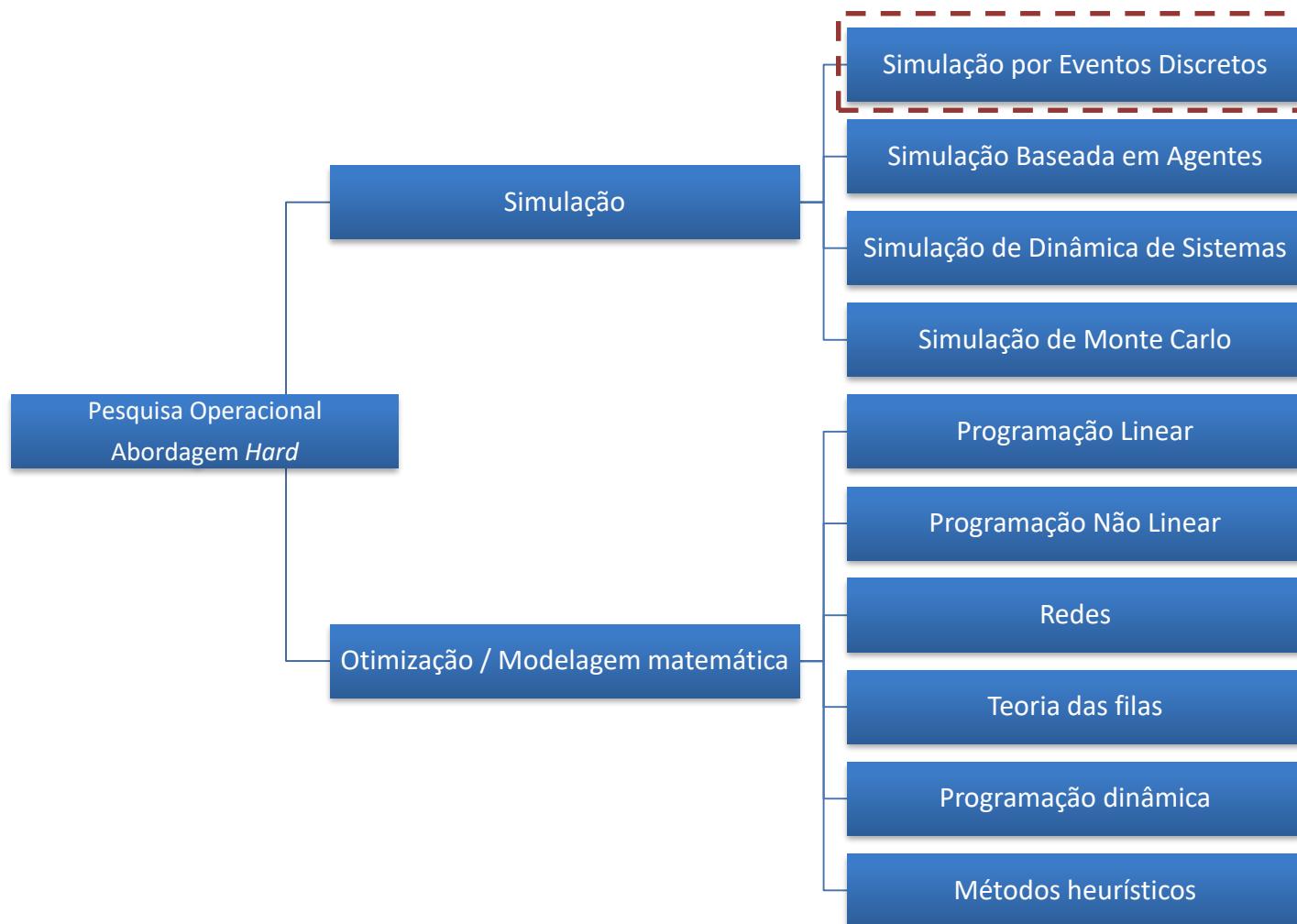
01/06/2019

Desvantagens da Simulação

- Não é uma técnica criada para a obtenção de resultados ótimos (como técnicas de programação linear e não linear);
- Os resultados são dependentes da qualidade do modelo desenvolvido;
- Demanda tempo e expertise significativos;
- É considerada como uma “alternativa de último caso”.

01/06/2019

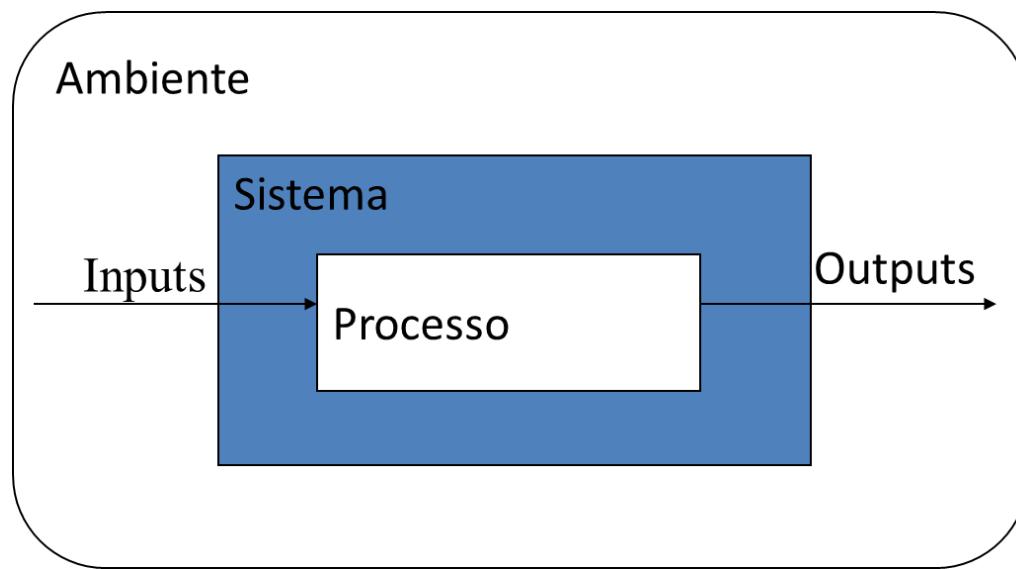
Técnicas da Pesquisa Operacional



01/06/2019

O que é um Sistema?

- Um **sistema** é um agrupamento de partes que operam juntas, visando um objetivo em comum. (Forrester, 1968)



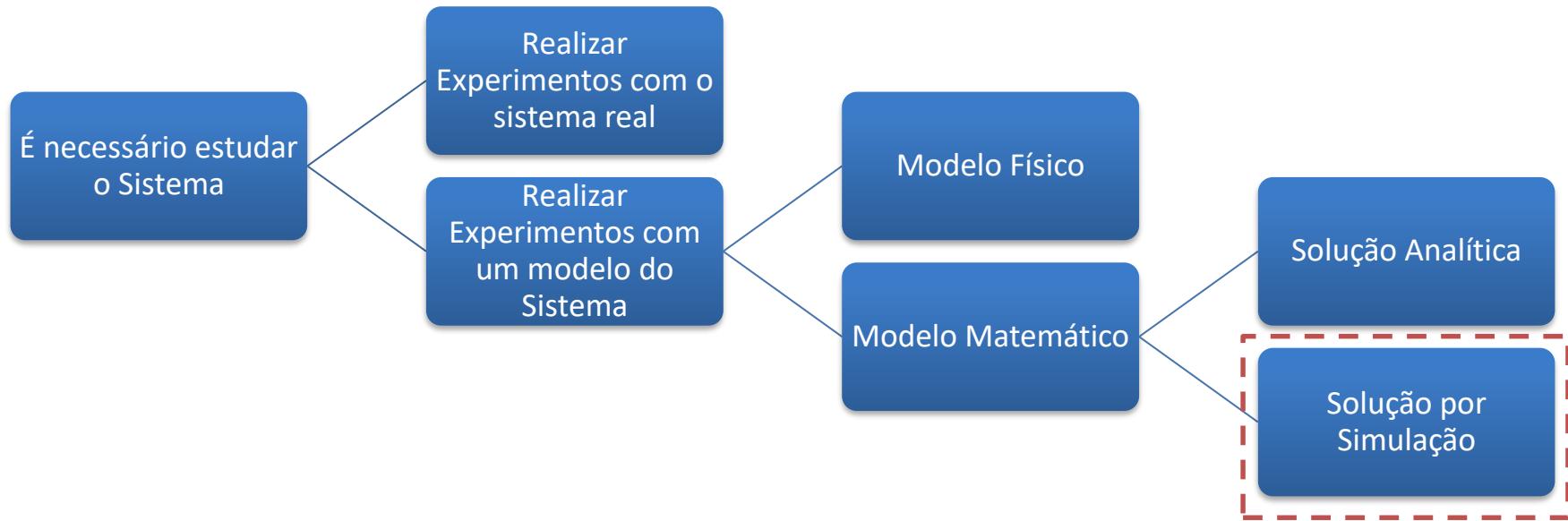
01/06/2019

O que é um modelo?

- Um **modelo** pode ser definido como uma representação das relações dos componentes de um **sistema**, sendo considerada como uma abstração, no sentido em que tende a se aproximar do verdadeiro comportamento do sistema.

01/06/2019

Formas de Estudar um Sistema com experimentos



LAW, KELTON (1991, p. 4)
01/06/2019

O que é Simulação Computacional

- **Simulação computacional** é uma técnica de Pesquisa Operacional que visa criar um modelo computacional que **representa a realidade**.
- Esta **representação** pode ser então **experimentada** de maneira que o comportamento **futuro** do sistema possa ser **previsto**. (Hollocks, 1992).
- **Simulação** implica na modelagem de um processo ou sistema, de tal forma que o modelo imite as **respostas do sistema real** numa sucessão de **eventos** que ocorrem ao longo do tempo (Schriber, 1974).
- Simulação é o processo de projetar um **modelo** de um **sistema real** e conduzir experimentos com este modelo com o propósito de **entender** seu **comportamento** e/ou avaliar estratégias para sua operação (Pegden, 1991).

01/06/2019

Áreas de Aplicação da Simulação Computacional

- **Processos produtivos:** sistemas logísticos, linhas de produção, estoques, sistemas de armazenamento, estudos de confiabilidade, layout de plantas, projetos de máquinas, etc;
- **Administração e Negócios:** estratégias de marketing, estudos de aquisição, análise de fluxo de caixa, análise preditiva, etc;
- **Atividades governamentais:** táticas militares, previsão populacional, previsão de uso de recursos, adequação de serviços essenciais (saúde, polícia, bombeiros, justiça), administração de trânsito, etc.

01/06/2019

Áreas de Aplicação da Simulação Computacional

- **Hospitais:** planejamento de atendimento, sequenciamento de atendimento, melhoria de processo de negócios;
- **Operação aérea:** operações de aeroporto (sequenciamento de pouso e decolagem), controle de tráfego aéreo;
- **Logística:** simulação de tráfego; roteirização de entrega;
- **Plano de emergência:** evacuação de prédio. (Pidd, 1992).

01/06/2019

SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL

CONCEITOS UTILIZADOS EM MODELOS DE SIMULAÇÃO POR EVENTOS DISCRETOS

Elementos para a Formulação do Modelo

- Cada Abordagem da Pesquisa Operacional Estabelece *elementos a serem considerados* no processo de formulação do modelo:
- Exemplos:
 - Programação Linear: Função Objetivo Linear, Variáveis de Decisão e Restrições;
 - Simulação de Dinâmica de Sistemas: Estoques, Fluxos, Conversores;
 - Simulação de Monte Carlo: Parâmetros de Incerteza e Risco, iterações, etc.
 - Etc...
- Hoje, iremos estudar os elementos utilizados para formulação de modelos de **Simulação por Eventos Discretos**.

01/06/2019

Um Caso em Comum

- Atendimento com triagem e filas (Ex.: Obtenção de Passaporte, Matrículas, etc)



01/06/2019

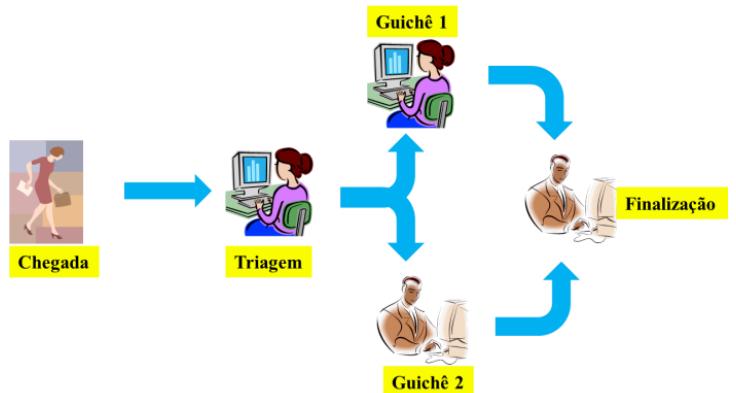
Componentes de um modelo de Simulação computacional por Eventos Discretos

- Entidade;
- Recurso;
- Estado;
- Evento;
- Atividade;
- Variável;
- Atributo.

01/06/2019

Entidade

- Representam o(s) objeto(s) que são movimentados ao longo da simulação;
- Exemplos:
 - Pessoas, clientes, caminhões, navios, lote produto, etc.

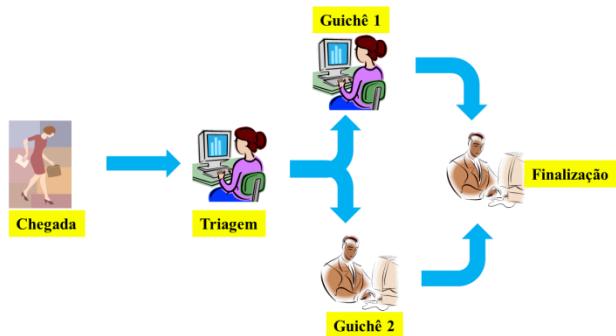


Entidades: Pessoas

01/06/2019

Recursos

- Realizam as atividades (ações) sobre as entidades;
- A capacidade do recurso limita o número de entidades que podem ser tratados simultaneamente no simulador;
- Exemplos:
 - caixas registradora; terminais; docas, operadores, etc.



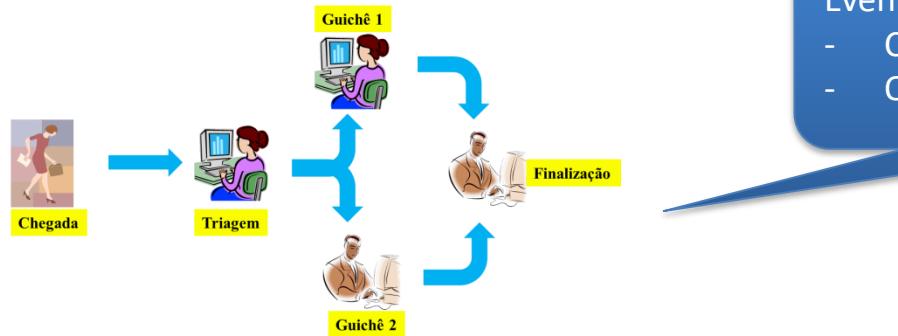
Recursos:

- Nro de computadores na Triagem
- Guichês 1 e 2
- Nro de funcionários na finalização

01/06/2019

Evento

- Um evento é uma ocorrência de mudança de estado;
- O evento desencadeia o inicio de uma atividade sobre uma entidade em um dado recurso do modelo;
- Exemplos:
 - Chegada de caminhões; pesagem da carga; liberação da balança, etc.



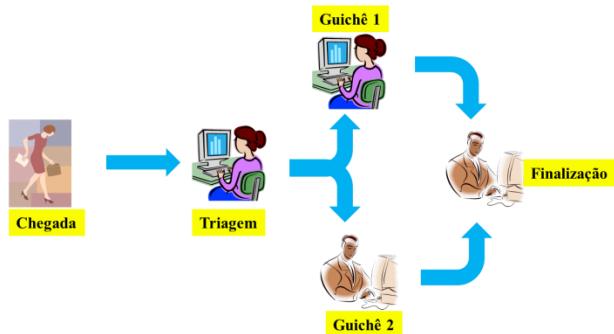
Evento:

- Chegada de cliente;
- Quebra de um computador.

01/06/2019

Atividade

- Uma ação realizada por um recurso sobre uma entidade;
- Exemplos:
 - Descarregar o caminhão.

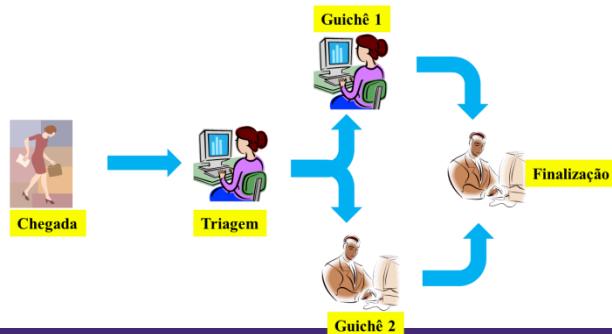


Atividade:
- Pagar a nota no Guichê 1 ou 2;

01/06/2019

Estado

- Condições do modelo ou das entidades em um dado instante de tempo;
- Constituem o conjunto de informações necessárias à compreensão do que está ocorrendo no sistema, num determinado instante no tempo, com relação aos objetos de estudo.
- Variáveis são calculadas a partir do Estado do Modelo (ex.: Número de Clientes na Fila).
- Exemplos:
 - Máquina no estado ativo ou desativo;
 - Caminhão quebrado, etc.



Estado:
- Computadores operando ou não;
- Guichês ocupados ou livres;

01/06/2019

Atributo

- Informações e Características vinculadas às entidades **entidade**;
- Os atributos da entidade podem mudar ao longo da simulação, ou permanecer constantes;
- Exemplos:
 - Tipo de Produto;
 - Tipo de Cliente;

01/06/2019

Sistema Estocástico

- Um sistema que evolui probabilisticamente ao longo do tempo.
- Exemplos de Sistemas Estocásticos:
 - Posto de Gasolina;
 - Filas de Atendimento;
 - Sistemas de Manufatura;

01/06/2019

Modelos Analíticos e Modelos de Simulação

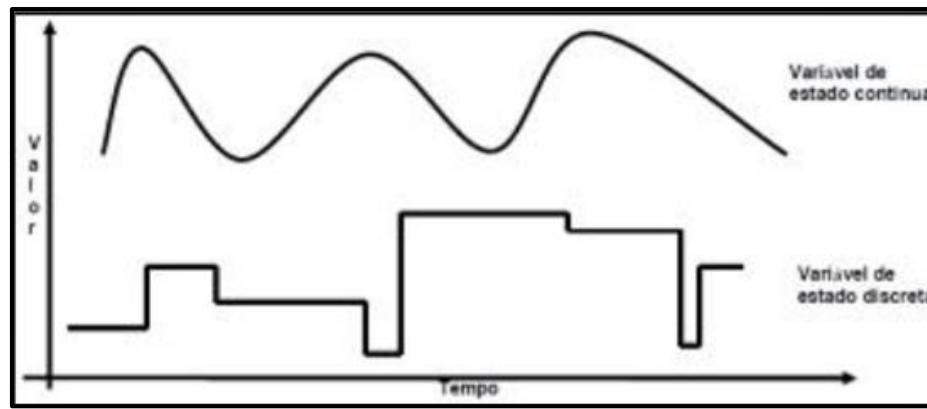
- Modelos Analíticos podem ser usados para representar o comportamento de um sistema estocástico em casos simples (ex.: Teoria de Filas);
- Quando o Sistema é suficientemente complexo, modelar analiticamente torna-se inviável, e recorremos à **simulação**.
- Por este motivo, a simulação é a técnica mais difundida para o estudo de sistemas estocásticos.

01/06/2019



Modelos Discretos e Contínuos

- Contínuo: Analisa as alterações no sistema considerando o tempo como continuo;
- Discreto: Analisa as alterações no sistema em alterações discretas.



01/06/2019

Modelos Estocásticos e Determinísticos

- Modelo Estocástico: Contém ao menos uma variável aleatória (Ex.: Tempo entre chegada de pacientes);
- Modelo Determinístico: Não contém variáveis aleatórias (Ex.: Preço de um procedimento cirúrgico específico).

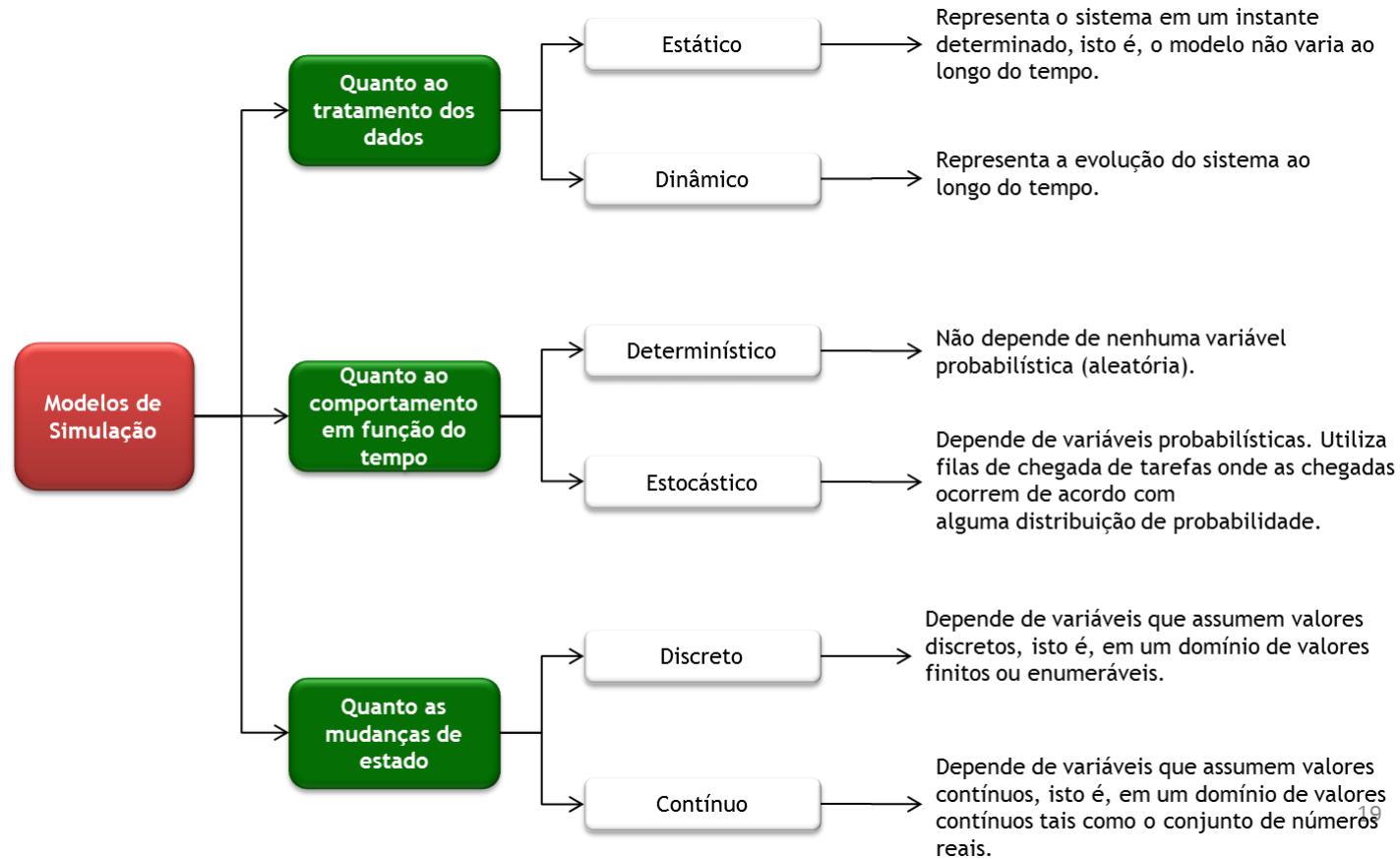
01/06/2019

Modelos Dinâmicos e Estáticos

- Modelo Dinâmico: O status das variáveis muda de acordo com o tempo;
- Modelo Estático: Status das variáveis não muda com o tempo.

01/06/2019

Classificação de Modelos de Simulação



01/06/2019



JESUÍTAS BRASIL

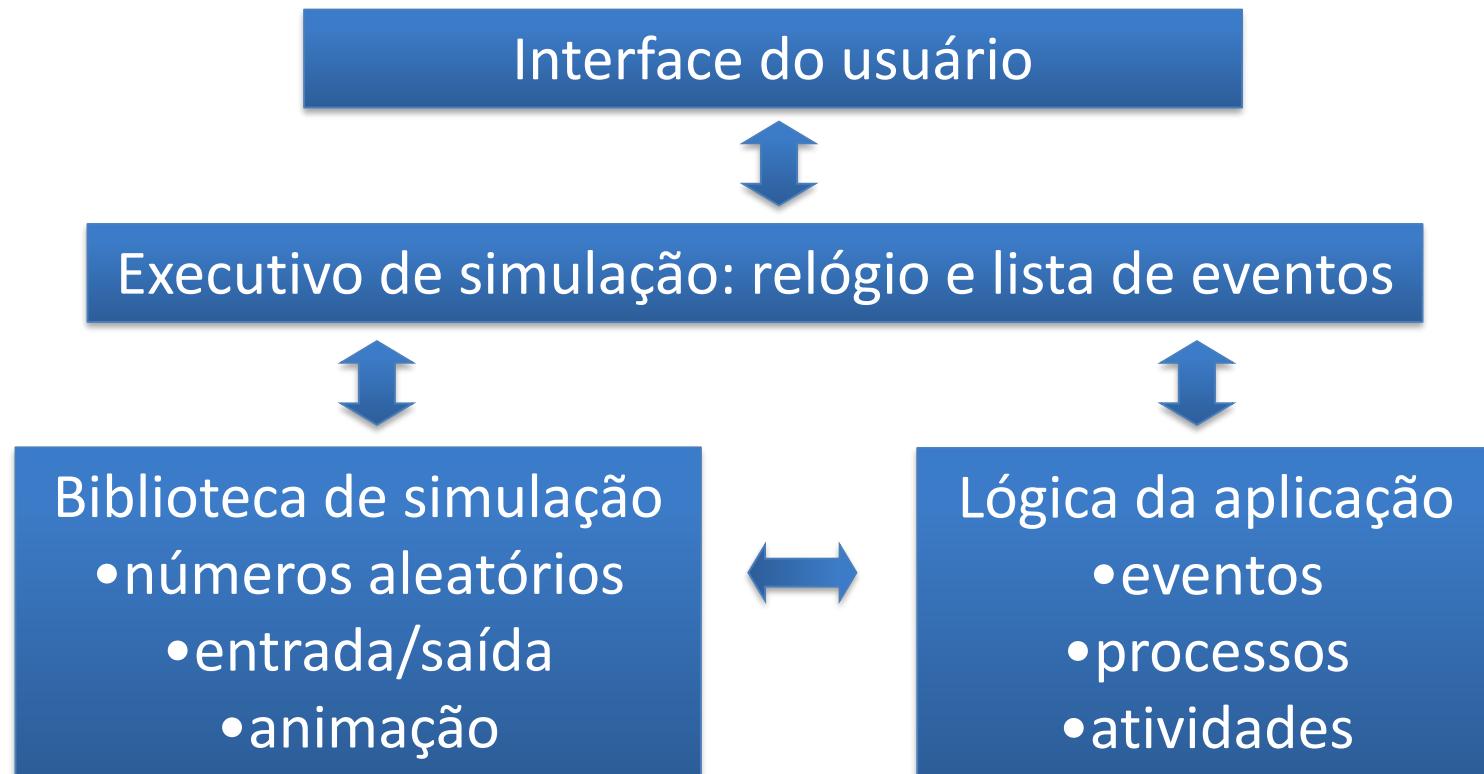


Simulando Sistemas Estocásticos

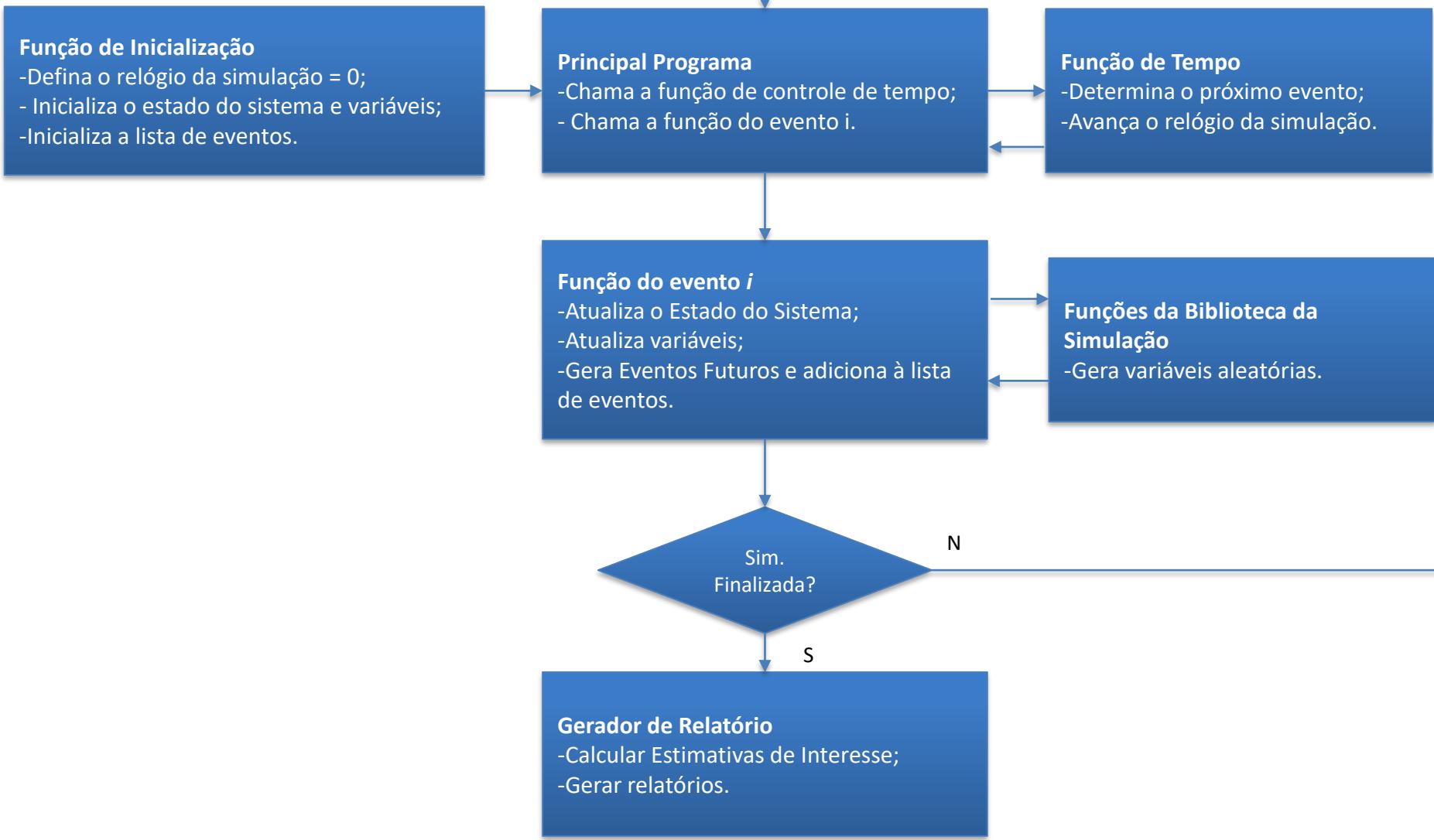
- Exemplos de Sistemas Dinâmicos e Estocásticos:
 - Linhas de Produção;
 - Filas de Atendimento;
- Questão:
 - O que é necessário para **simular** um sistema de modo dinâmico e estocástico?

01/06/2019

Componentes da Simulação por Eventos Discretos



01/06/2019



(Law e Kelton, 1991, pg 212)

Don't Play Guessing Games with Business Decisions.

Arena Simulation Software helps you get it right the first time.

[↓ Download the Trial](#)

[See the Video](#)

[Read an Overview](#)

SCROLL DOWN TO LEARN MORE



SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL

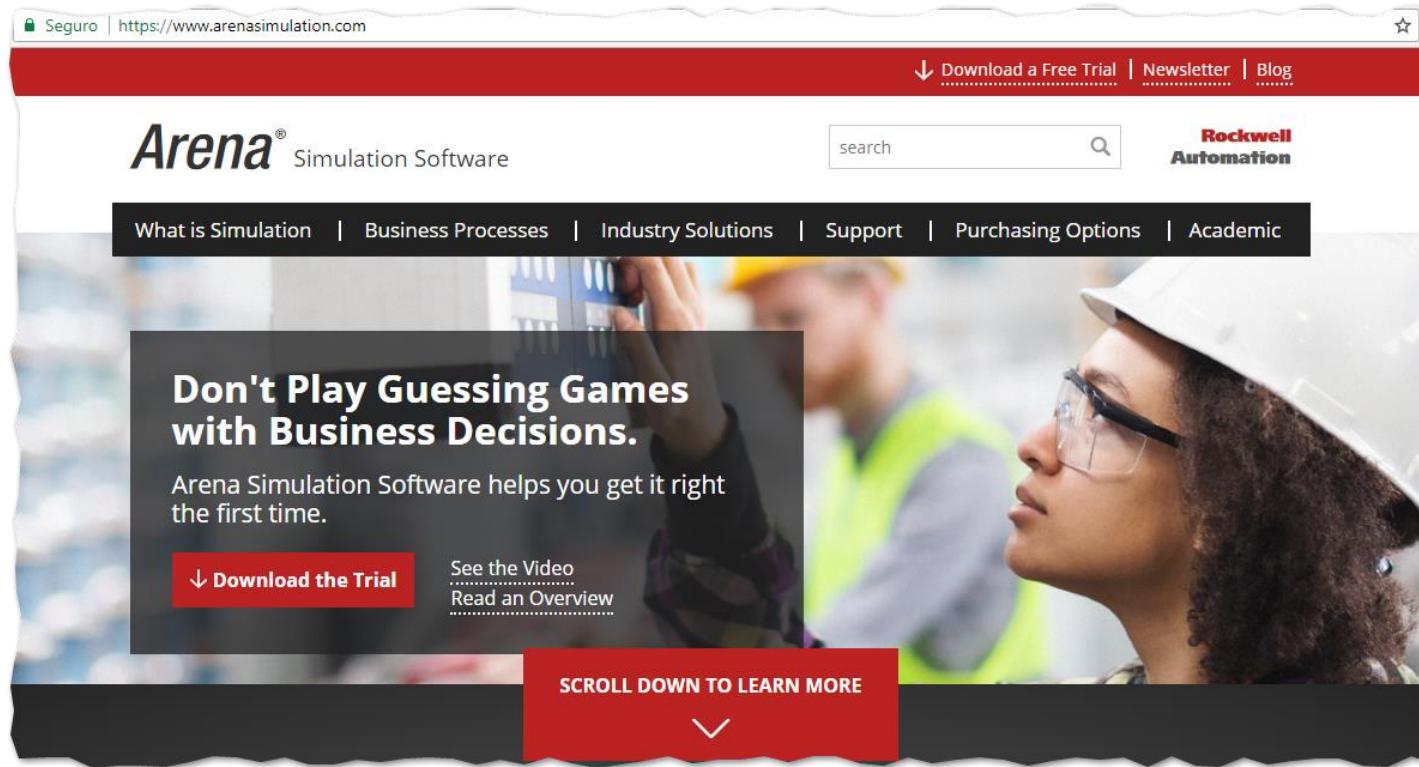
INTRODUÇÃO AO ARENA



JESUÍTAS BRASIL

UNISINOS

Arena – Software de Simulação por Eventos Discretos



<https://www.arenasimulation.com/>

01/06/2019

Conceitos utilizados pelo Arena

- Entidades tentam “tomar” (seize) um recurso (resource);
- Se o recurso não está disponível, a entidade espera em uma fila (queue);
- Quando a entidade consegue tomar o recurso, ela o utiliza por um tempo (delay);
- A entidade libera (release) o recurso após o final do processamento;
- As filas são representadas acima de cada módulo correspondente.

01/06/2019

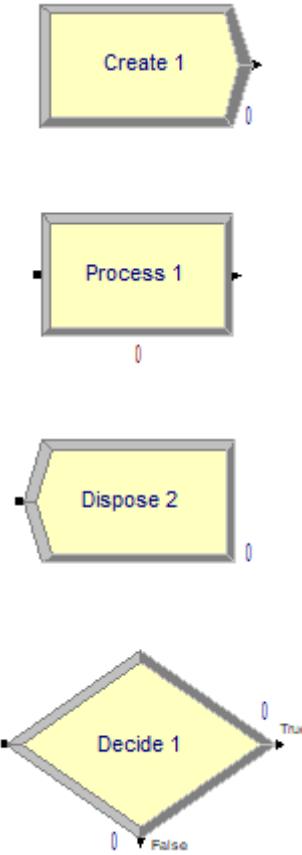
Informações sobre os Recursos

- Recursos tem um nome;
- Capacidade definida (número de entidades que podem ser processadas ao mesmo tempo);
- Calendário de trabalho;
- Podem possuir falhas;
- Podem ser criados pelos módulos de processo.

01/06/2019



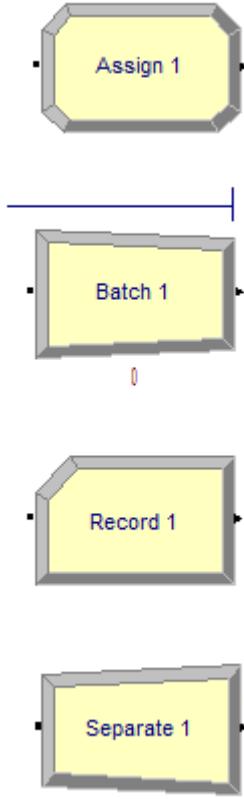
Módulos – Basic Process



- **Create:** Cria uma entidade;
- **Process:** Executa a sequência “Seize-Delay-Release” de um recurso, ou parte da sequência;
- **Dispose:** Elimina a Entidade do Modelo;
- **Decide:** Direciona o fluxo da entidade segundo algum critério.

01/06/2019

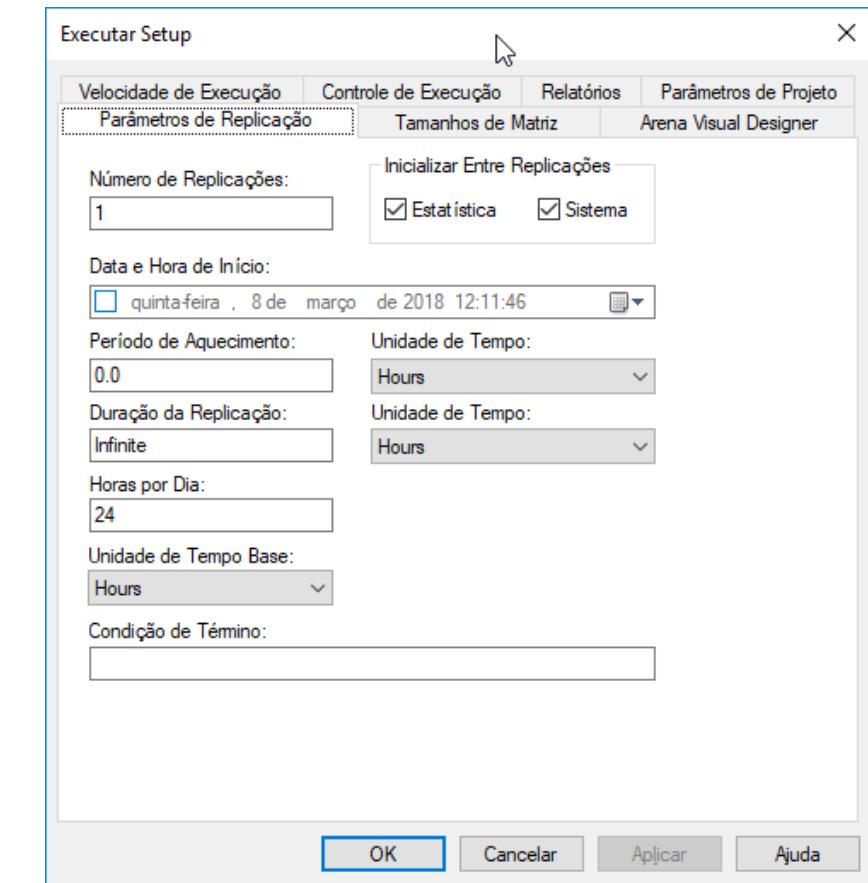
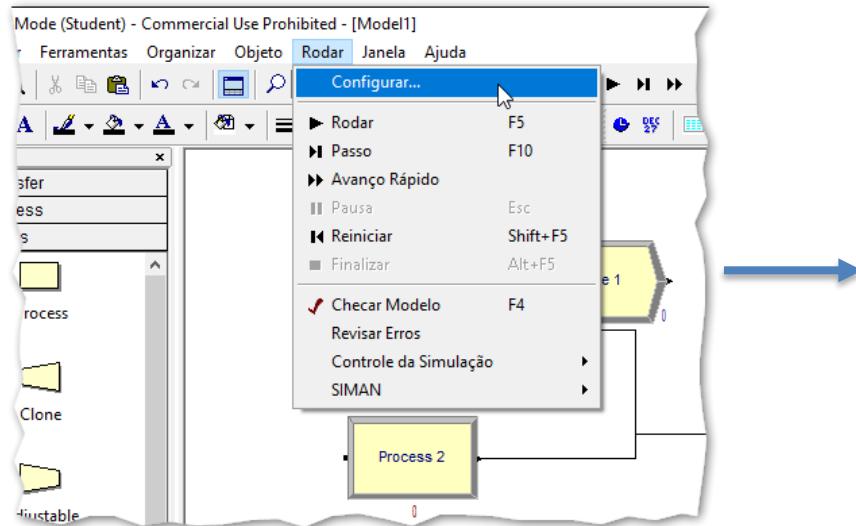
Módulos – Basic Process



- Assign: Atribui um valor à uma variável ou atributo;
- Batch: Agrupa entidades que entram no processo (ex.: uma montagem ou lote);
- Record: É utilizado para calcular estatísticas relacionadas á entidade ou estatísticas globais;
- Separate: Divide entidades combinadas ou cria cópias de uma entidade.

01/06/2019

Configurações da Simulação



01/06/2019



EXEMPLO 1: AEROPORTO

O exemplo do Aeroporto

Definição do Problema

- Um aeroporto possui uma única pista de pouso.
- Problema: Tempo de Espera alto para pouso representam gastos desnecessários em combustível;
- Objetivo: Reduzir o tempo de espera dos aviões;
- Indicador de Desempenho: Tempo de Espera médio;
- Cenários a Simular: Que alternativas existem para minimizar o problema?

01/06/2019

O exemplo do Aeroporto

- Um aeroporto possui uma única pista de pouso;
- Aviões chegam aleatoriamente (segundo uma distribuição exponencial) a uma taxa de 1 avião a cada 4 minutos;
- O tempo entre a aproximação para o pouso e a liberação da pista é de 4 minutos (seguindo também uma distribuição exponencial);

01/06/2019

O exemplo do Aeroporto (2)

- Amplie o modelo do aeroporto de modo que:
 - Os aviões também possam, após pousar, serem carregados de passageiros e decolar;
 - O processo de decolagem demora em média 5 minutos, e também segue uma distribuição exponencial;
- Aviões chegam aleatoriamente (segundo uma distribuição exponencial) a uma taxa de 1 avião a cada 4 minutos;
- O tempo entre a aproximação para o pouso e a liberação da pista é de 4 minutos (seguindo também uma distribuição exponencial);

01/06/2019

Questões de Interesse

- Qual será o número médio de aviões aguardando autorização para pousar?
- Qual é o tempo médio gasto pelos aviões no ar, aguardando autorização de pouso?
- Qual é a taxa de ocupação da pista?
- Como dimensionar:
 - A quantidade de combustível reserva que o avião deve ter?
 - A quantidade de pistas para pouso?

01/06/2019



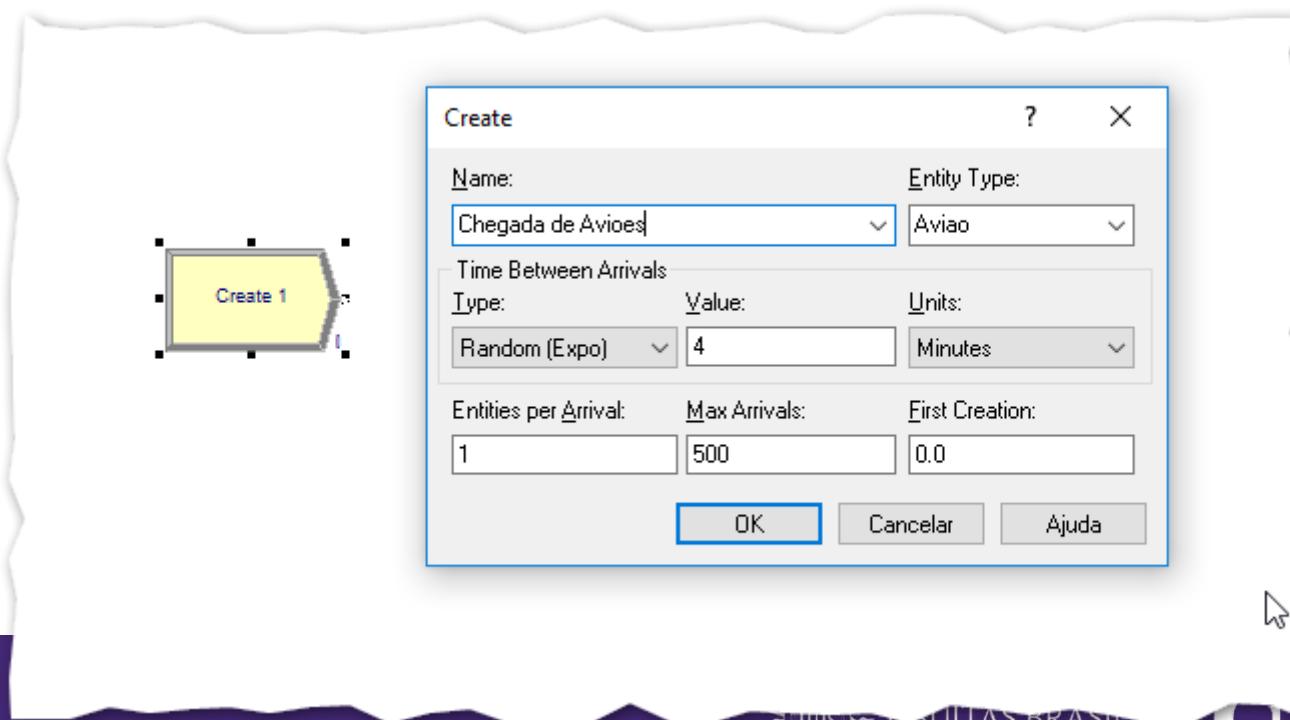
Construindo o Modelo

- Passo 1: Insira os processos de chegada, processamento e saída do sistema;
- Passo 2: Conecte os processos seguindo a sequência do processo real;
- Passo 3: Insira informações relacionadas às **atividades, entidades e atributos**.
- Passo 4: Teste o modelo, verifique se há inconsistências;
- Passo 5: Analise os resultados.

01/06/2019

Construindo o Modelo

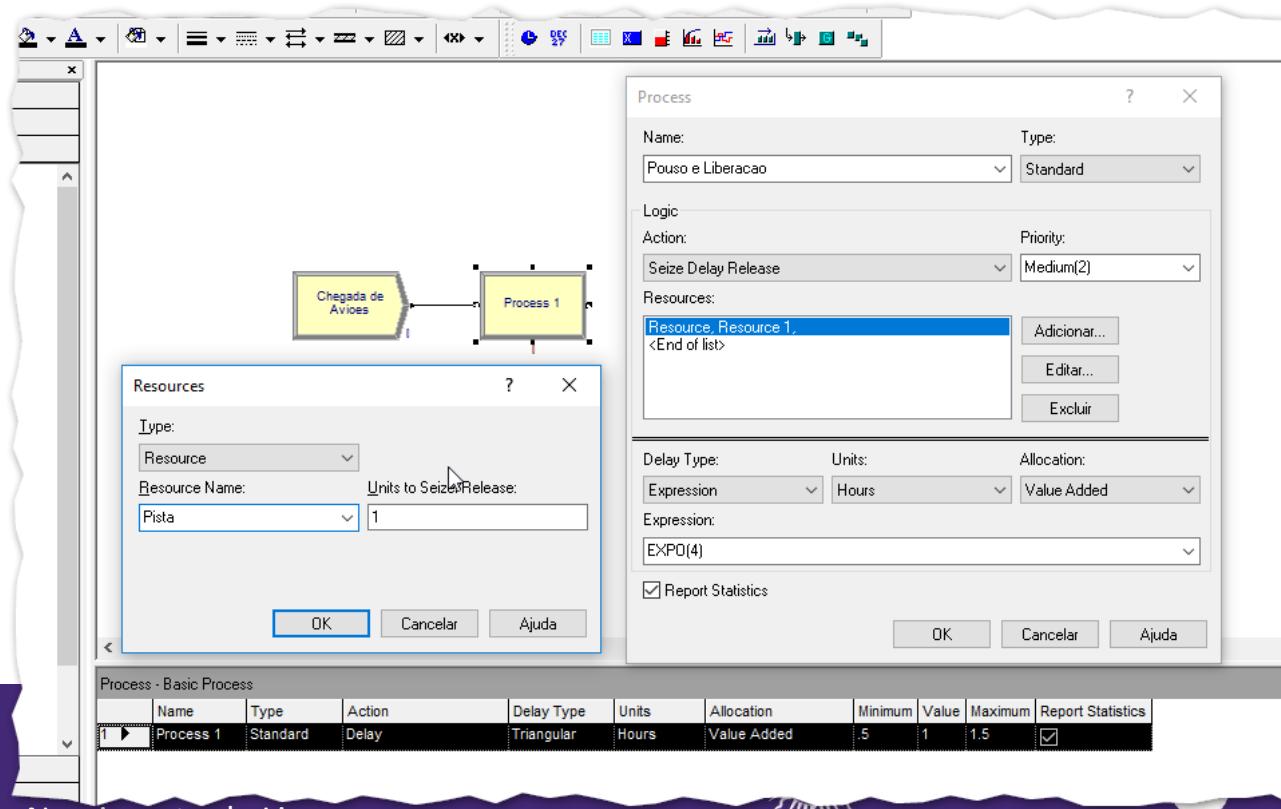
- Criar o objeto de chegada e configurar o tempo entre chegadas



01/06/2019

Construindo o Modelo

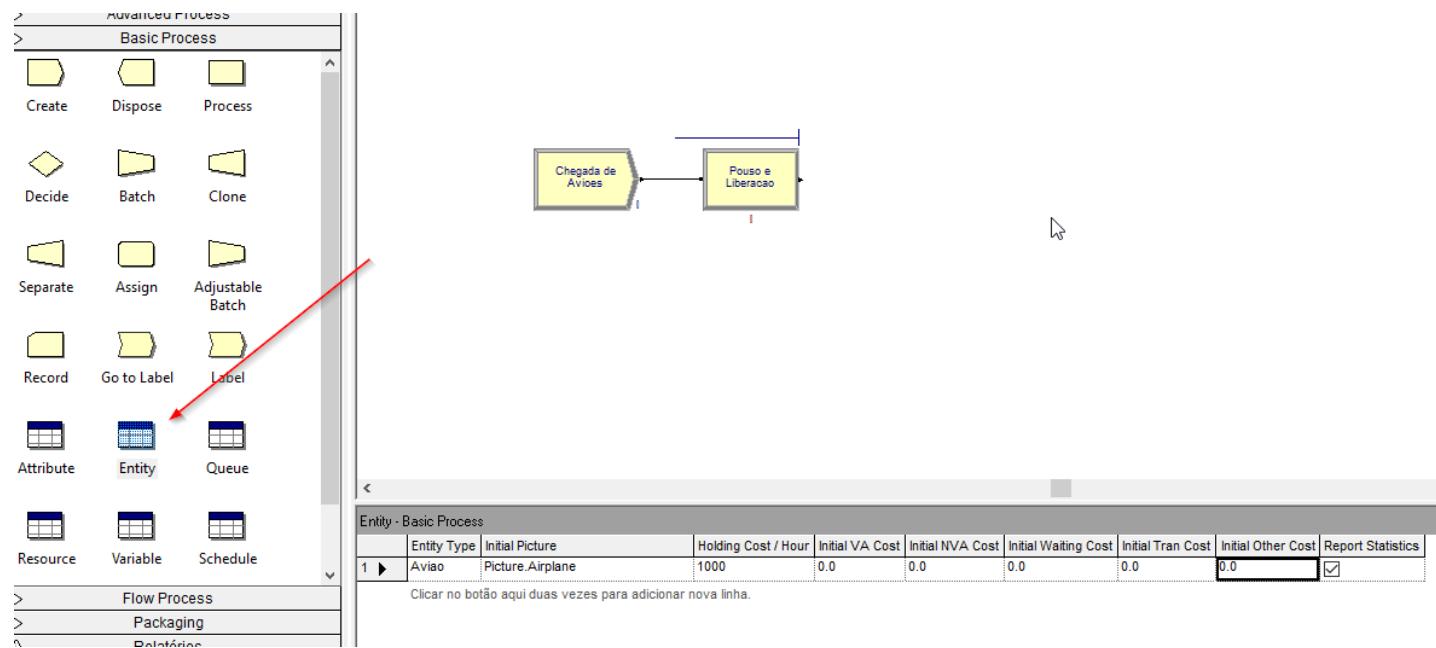
- Criar o objeto de Processamento para representar o Pouso e Liberacao;



01/06/2019

Construindo o Modelo

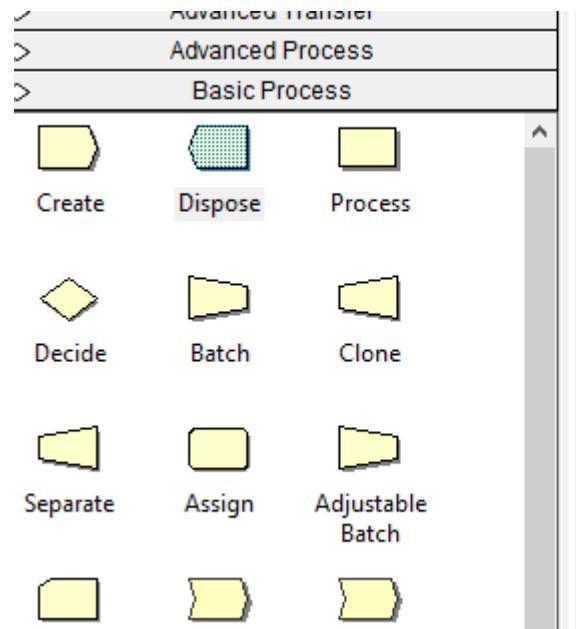
- Para configurar as Entidades, selecione a tabela de entidades:



01/06/2019

Construindo o Modelo

- Crie um objeto de encerramento das entidades:



01/06/2019

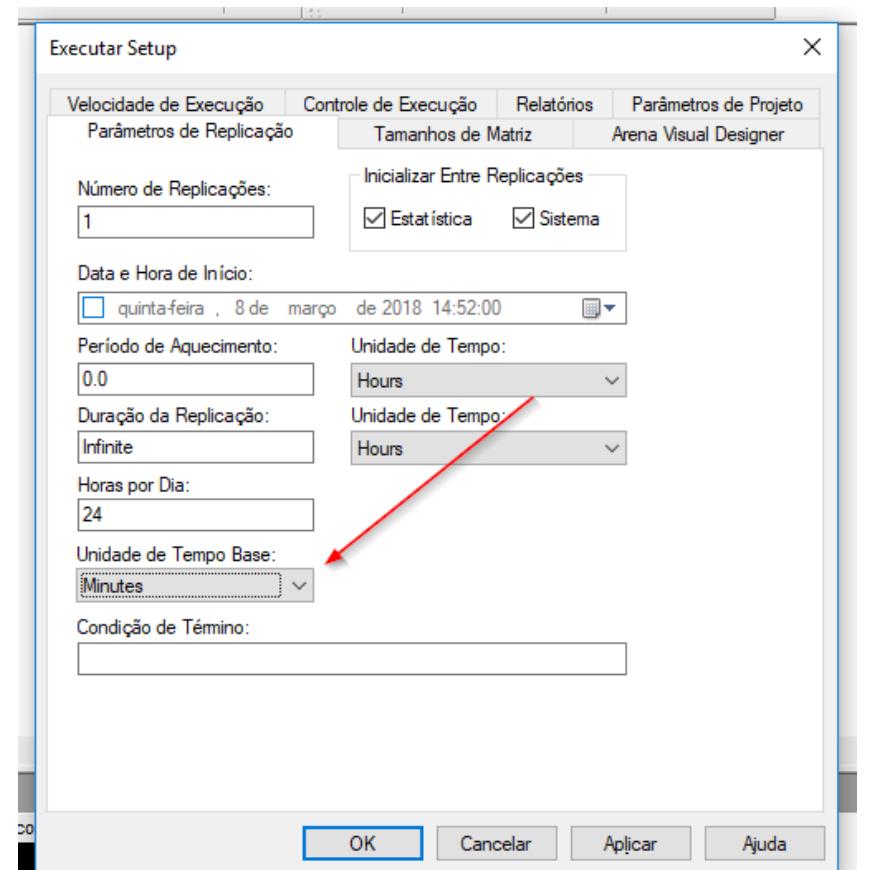


JESUÍTAS BRASIL



Construindo o Modelo

- Defina a Unidade de Tempo como Minutos.
- Mantenha apenas uma replicação.



04/05/2019

Antes de Executar o Modelo, Tente Predizer:

- Qual será o tamanho médio da fila?
- Qual será o tempo médio de espera?
- Qual será a taxa de ocupação da pista?

01/06/2019

Análise dos Relatórios

Analizando dados de 1 replicação

- Significados: VA: Valor Agregado; NVA: Tempo de Valor não Agregado; Wait Time: Tempo de Espera na Fila; WIP: Entidades no Sistema.

The screenshot shows the SAP Crystal Reports interface. On the left, the 'Barra de Projeto' (Project Bar) contains icons for Advanced Transfer, Advanced Process, Basic Process, Flow Process, Packaging, and Relatórios. Below this is a navigation tree with categories like Activity Areas, Category Overview, Category by Replication (which has a red arrow pointing to it), Entities, Frequencies, Processes, Queues, Resources, Transfers, User Specified, and Tanks. The main area is titled 'Relatório Principal' and shows a report titled 'Category by Replication' from 'março 8, 2018'. The report details data for 'Unnamed Project' across 'Replications: 1'. It includes sections for 'Entity' and 'Time'. Under 'Time', there are three main categories: 'VA Time', 'NVA Time', and 'Wait Time', each with sub-sections for 'Average', 'Half Width', 'Minimum', and 'Maximum'. Data rows are provided for 'Aviao' under each category. A red arrow also points to the 'Wait Time' section in the report table.

Time Category	Sub-Category	Entity	Average	Half Width	Minimum	Maximum
VA Time	Average	Aviao	3.7896	0,249990392	0.01240405	24.7013
		Aviao	0	0,000000000	0	0
NVA Time	Average	Aviao	0	0,000000000	0	0
		Transfer Time	Average	Half Width	Minimum	Maximum
Wait Time	Average	Aviao	15.2398	(Correlated)	0	43.7437
		Transfer Time	Average	Half Width	Minimum	Maximum

Análise dos Relatórios

Analizando dados de 1 replicação

- Significados: VA: Valor Agregado; NVA: Tempo de Valor não Agregado; Wait Time: Tempo de Espera na Fila; WIP: Entidades no Sistema.

Replication 1		Start Time:	0,00	Stop Time:	2.178,17	Time Units:	Minutes
Queue Detail Summary							
Time							
Pouso e Liberacao.Queue				<u>Waiting Time</u>	15.24		
Other							
Pouso e Liberacao.Queue				<u>Number Waiting</u>	3.50		

01/06/2019

Análise dos Relatórios

Analizando dados de 1 replicação

- Significados: VA: Valor Agregado; NVA: Tempo de Valor não Agregado; Wait Time: Tempo de Espera na Fila; WIP: Entidades no Sistema.

15:20:29	Resources	março 8, 2018			
Unnamed Project		Replications: 1			
Replication 1		Start Time: 0,00 Stop Time: 2.178,17 Time Units: Minutes			
Resource Detail Summary					
Usage					
Pista	<u>Inst Util</u> 0,87	<u>Num Busy</u> 0,87	<u>Num Sched</u> 1,00	<u>Num Seized</u> 500,00	<u>Sched Util</u> 0,87

1/06/2019

Cenários a Simular

- Qual é o impacto gerado pela instalação de uma nova pista sobre as medidas de desempenho (tempo de espera)?
- Qual é o impacto da redução do tempo de embarque?

01/06/2019

SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL

ETAPAS DE UM PROJETO DE SIMULAÇÃO

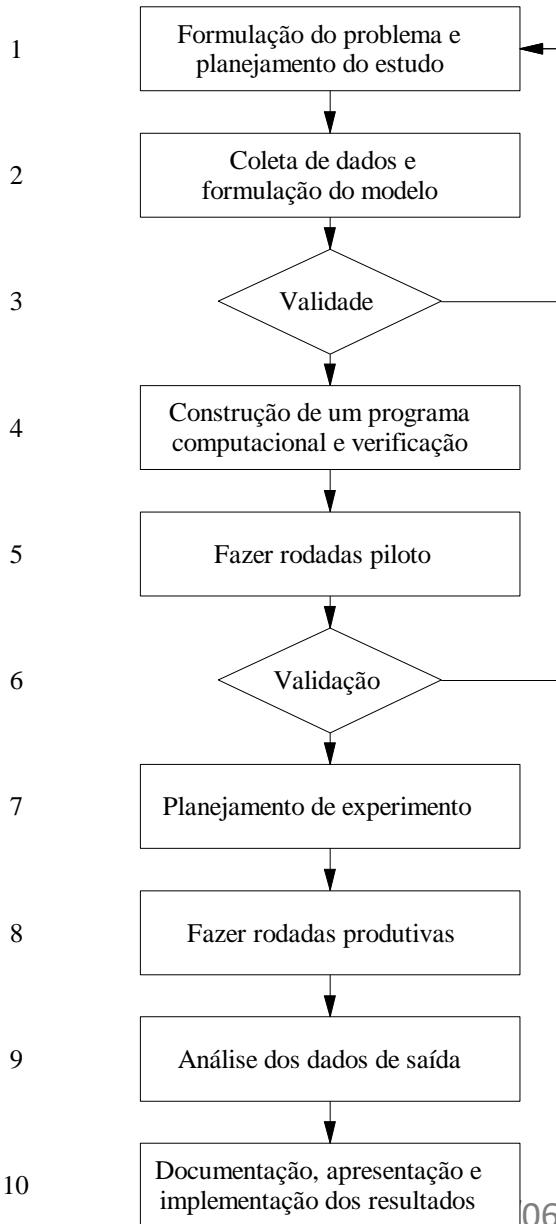
Processo de projeto de simulação computacional

- Modelo proposto por Law e Kelton (1991)
- Modelo proposto por Gogg e Mott (1992)
- Modelo proposto por Pritsker (1990)

01/06/2019

Etapas de um Projeto de Simulação

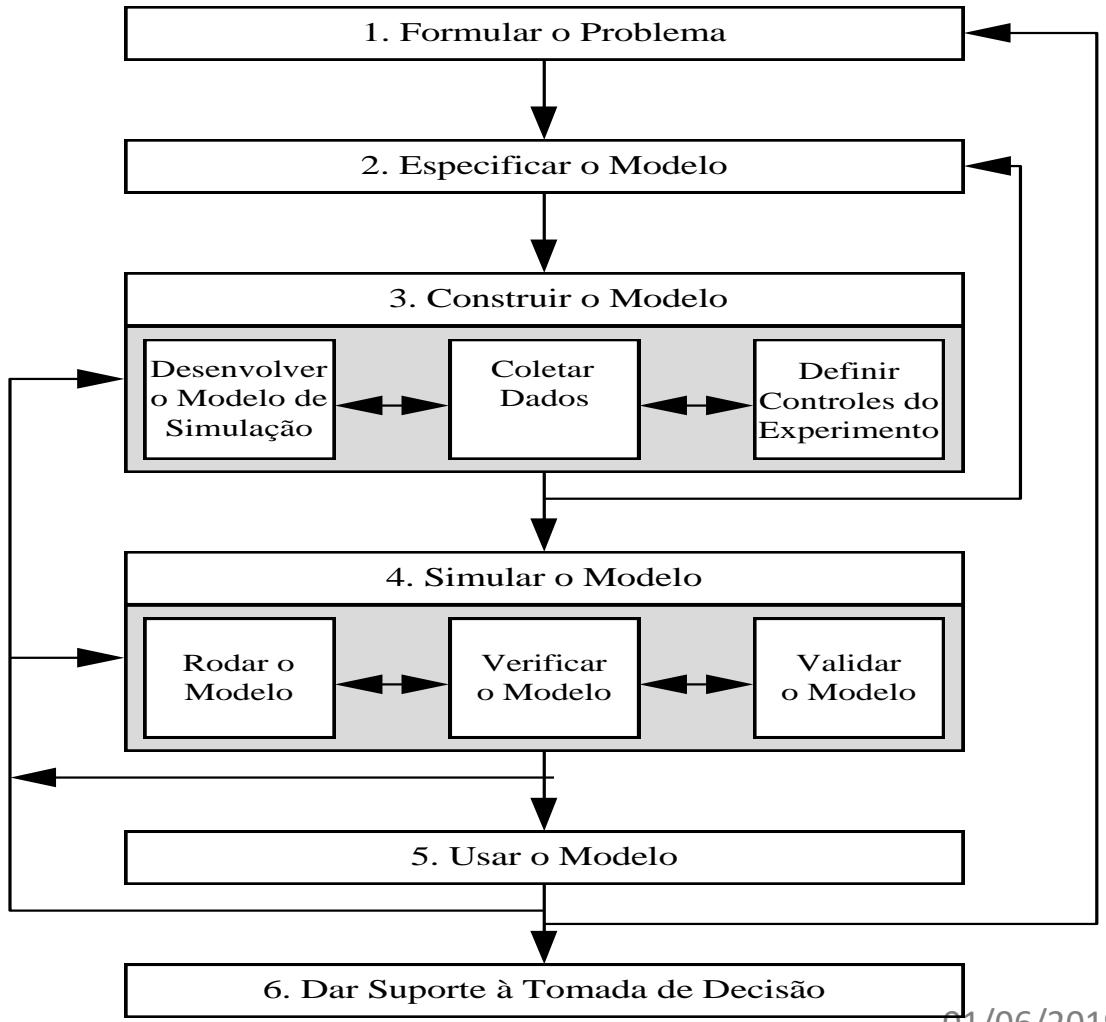
- Modelo Proposto por Law e Kelton (1991):
- Outros Modelos: Gogg e Mott (1992) e Pritsker (1990).



06/2019

Etapas de um Projeto de Simulação

- Processo de Pritsker (1990)



01/06/2019

Passos da Formulação de Modelos de Simulação (Hillier e Lieberman)

- Formular o Problema e Planejar o Estudo;
- Coletar os Dados;
- Verificar os Pressupostos do Modelo;
- Construir o Modelo Computacional;
- Testar a Validade do Modelo Computacional;
- Planejar as Simulações;
- Executar a Simulação e Analisar Resultados;
- Realizar Recomendações.

01/06/2019



SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL

MODELAGEM CONCEITUAL

Modelagem Conceitual

- Objetivo: formular o problema para suportar a construção do modelo computacional de modo alinhado aos objetivos do projeto.
- Um modelo é uma **simplificação da realidade**. Quais serão os elementos que serão representados e quais **não serão representados**?
- Como:
 - Representar os elementos necessários para a formulação do problema, e definir uma **especificação do modelo**.

01/06/2019

Tópicos a considerar em um Modelo Conceitual

- **Definição do Problema:** Definir o problema (situação e custo) que a empresa procura endereçar com a simulação.
 - Ex.. “O tempo de espera dos pedidos da empresa tem crescido nos últimos meses. A empresa possui um plano de expansão, porém não se sabe se o mesmo será capaz de levar o tempo de espera à um patamar aceitável (< 5 dias úteis).”
- **Objetivos:** Sintetizar os objetivos do projeto de simulação computacional.
 - Ex.: “Avaliar a o projeto de expansão da planta E02, verificando se o novo projeto atende aos cenários de demanda projetados até 2025.”
- **Medidas de Desempenho:** Definir quais são os principais indicadores de desempenho a serem avaliados pela simulação.
 - Ex.: “Tempo de Atravessamento, Tempo médio de espera”.

01/06/2019

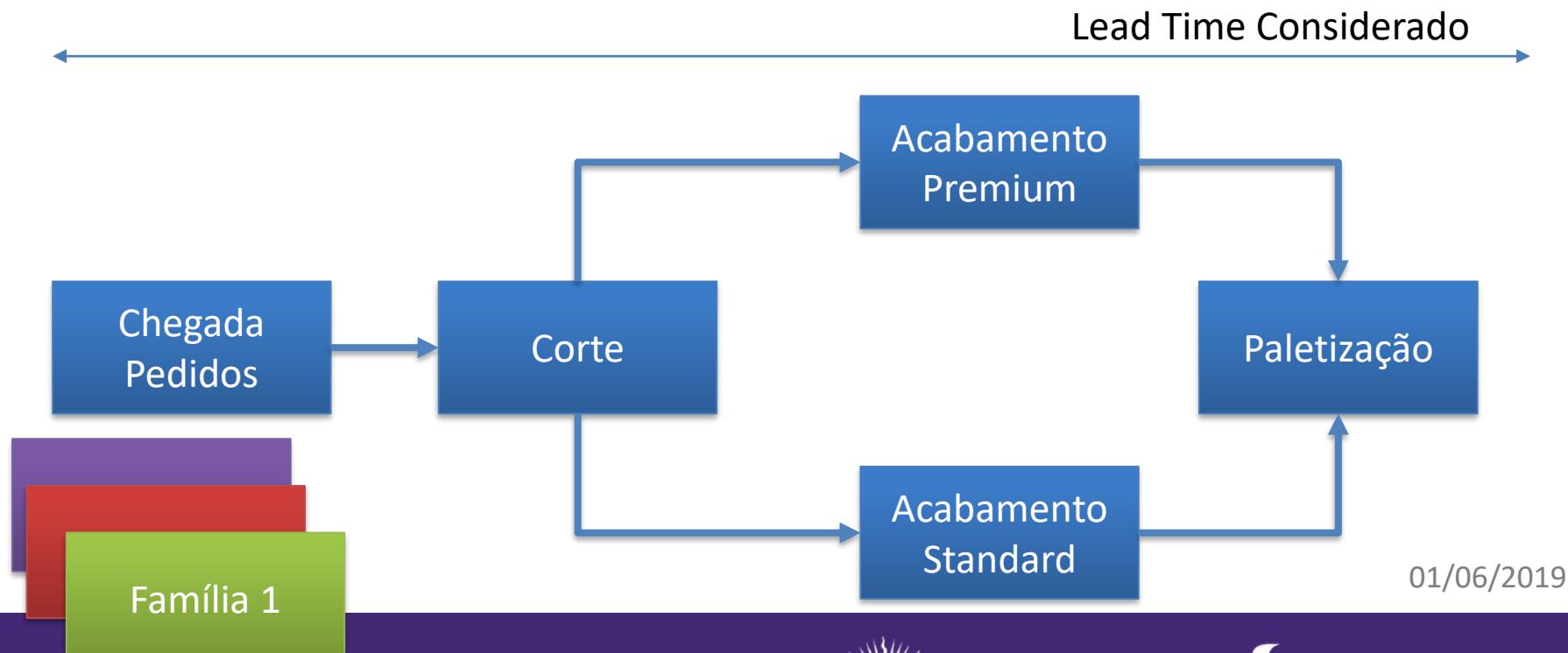
Tópicos a considerar em um Modelo Conceitual

- **Escopo do Modelo:** Definir os processos que o modelo representará.
 - Ex.: “O projeto de simulação considerará as etapas de corte e acabamento do projeto. O estudo da logística de saída não faz parte do escopo do projeto.”
- **Nível de Detalhamento:** Especificar o nível de detalhamento a ser considerado para as entidades (ex.: o modelo simulará cada produto ou famílias de produtos?) e atividades (as atividades serão quebradas em que nível de detalhe?).
 - Ex.: “O modelo agregará os produtos fabricados em 5 famílias, e não os tratará individualmente. As atividades de Corte e acabamento serão tratadas no nível da máquina, de modo que o tempo dos processos será considerado como o tempo entre o início de processamento e o final do processamento (incluindo alimentação e descarga da máquina”).

01/06/2019

Tópicos a considerar em um Modelo Conceitual

- **Figura do Processo:** Elaborar uma figura do processo representando o **nível de detalhamento** desejado para o modelo.
- **Entidades, Recursos e Atividades:** Definir quais serão as entidades, recursos e atividades considerados no modelo.



Tópicos a considerar em um Modelo Conceitual

- **Cenários a Simular:** Definir quais serão os cenários a serem simulados.
 - Ex.: “AS-IS: Demanda do ano anterior, para validação; 2025 – Otimista: Projeção do Cenário Otimista; 2025 – Pessimista: Projeção do Cenário Pessimista em 2025”.
- **Período a ser Simulado:** Definir qual será o período a ser simulado no projeto.
 - Ex.: “Será simulado o período de maior demanda, correspondendo do dia 25 até o último dia do mês”.
- **Descrição dos Processos:** Especificar em um maior nível de detalhe cada um dos processos a serem simulados.

01/06/2019

Tópicos a considerar em um Modelo Conceitual

- **Pressupostos do Modelo:** Especificar as regras consideradas pelo modelo e suas simplificações.
 - Ex.: “O modelo desprezará o impacto dos setups sobre os recursos, visto que seu tempo é desprezível face aos tempos de ciclo”;
 - Ex 2: “Os tempos de movimentação interna não serão considerados na simulação”.
- **Dados de Entrada do Modelo:** Quais parâmetros serão necessários para a simulação do modelo.
 - Ex.: “O tempo de processamento da operação 1 será representado por uma distribuição normal com média 2 e desvio padrão 0,25.”
- **Dados de Saída do Modelo:** Definir quais serão as variáveis calculadas pelo modelo para análise posterior, bem como quais serão as medidas de desempenho utilizadas:
 - Ex.: “Tempo médio, mínimo e máximo de espera dos produtos em cada um dos processos. Número médio de produtos em espera, por processo.”.

01/06/2019



Exemplo

- O administrador do posto GASOIL está contratando sua empresa para que você realize uma análise dos processos do posto. Ele quer saber como melhorar os indicadores de desempenho (tempo de espera dos clientes, tamanho das filas etc.) e espera que você apresente uma proposta concreta.
- Para iniciar o trabalho, você fez um amplo mapeamento do processo principal do posto. Você constatou que o cliente chega até a bomba de abastecimento, realiza o abastecimento e se dirige a loja de conveniência para realizar o pagamento. Após entrar na loja, o cliente vai decidir se deseja comprar algum artigo ou produto. Caso não queira ele irá direto ao caixa, aguardará na fila, se necessário, e realizará o pagamento. Caso o cliente opte por escolher algum produto, fará isso (caminhará pela loja e escolherá o produto) e, após esta etapa, irá se dirigir ao caixa e, da mesma forma, aguardará na fila, se necessário, e realizará o pagamento. Após o pagamento, o cliente retorna ao veículo e vai embora do posto.

01/06/2019

Especifique os seguintes elementos do modelo conceitual:

1. Definição do Problema;
2. Objetivos;
3. Medidas de Desempenho;
4. Escopo do Modelo;
5. Nível de Detalhamento;
6. Figura do Processo;
7. Entidades, Recursos e Atividades;
8. Cenários a Simular;
9. Período a ser Simulado;
10. Pressupostos do Modelo;
11. Dados de Entrada do Modelo;
12. Dados de Saída do Modelo.

01/06/2019

SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL

MODELAGEM DOS DADOS DE ENTRADA

Grande Problema



Como representar algo que é “aleatório” dentro de uma simulação?

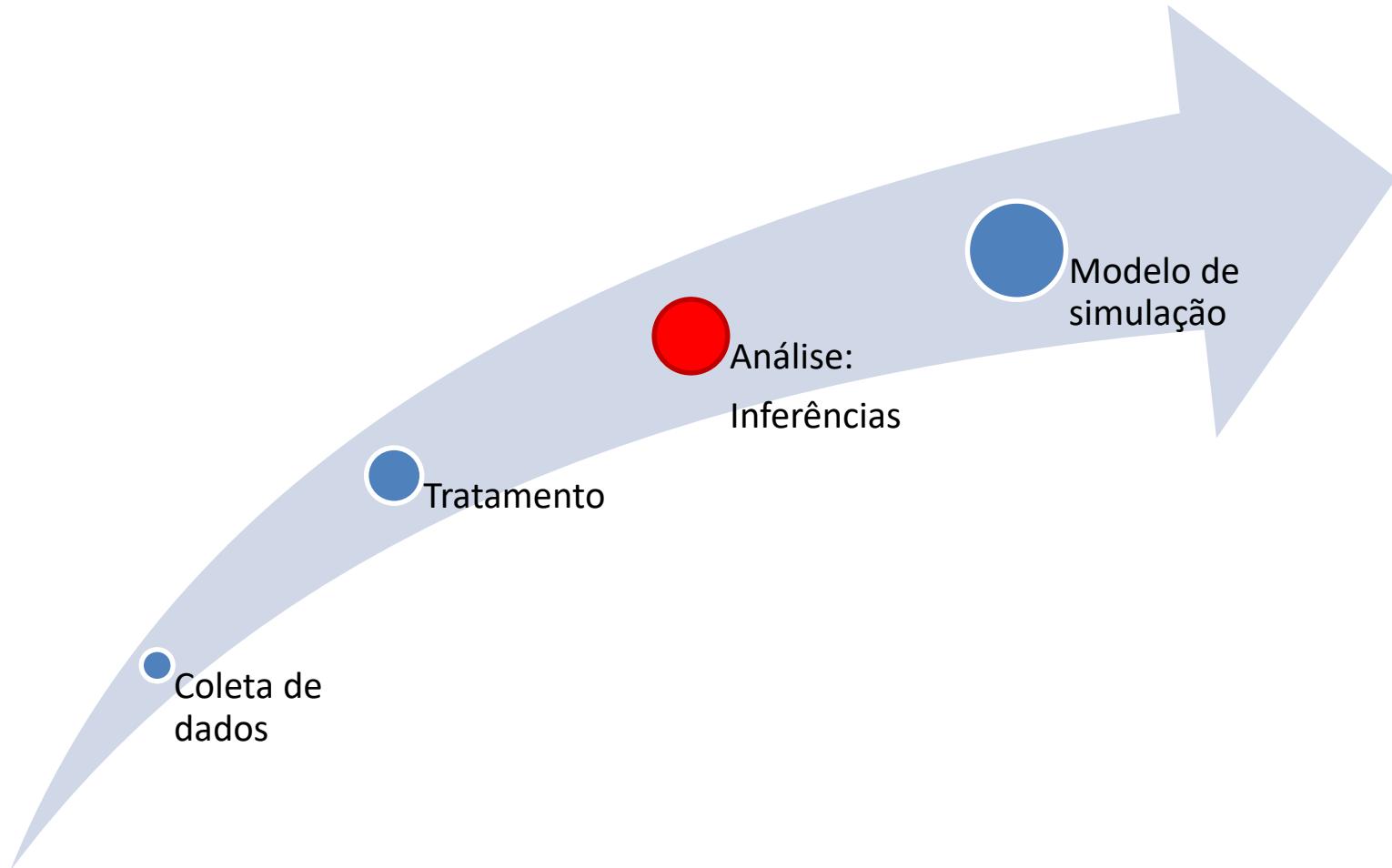
01/06/2019

Etapas da Modelagem de Dados de Entrada

- Objetivo: Obter informações que permitam **replicar** o comportamento do **sistema real** em um modelo computacional.
- Quando Há Dados Disponíveis:
 - Coleta dos Dados;
 - Tratamento dos Dados;
 - Inferência;
- Quando Não Há Dados Disponíveis:
 - Uso de distribuição triangular ou uniforme;
 - Uso de outras fontes de dados de referência.

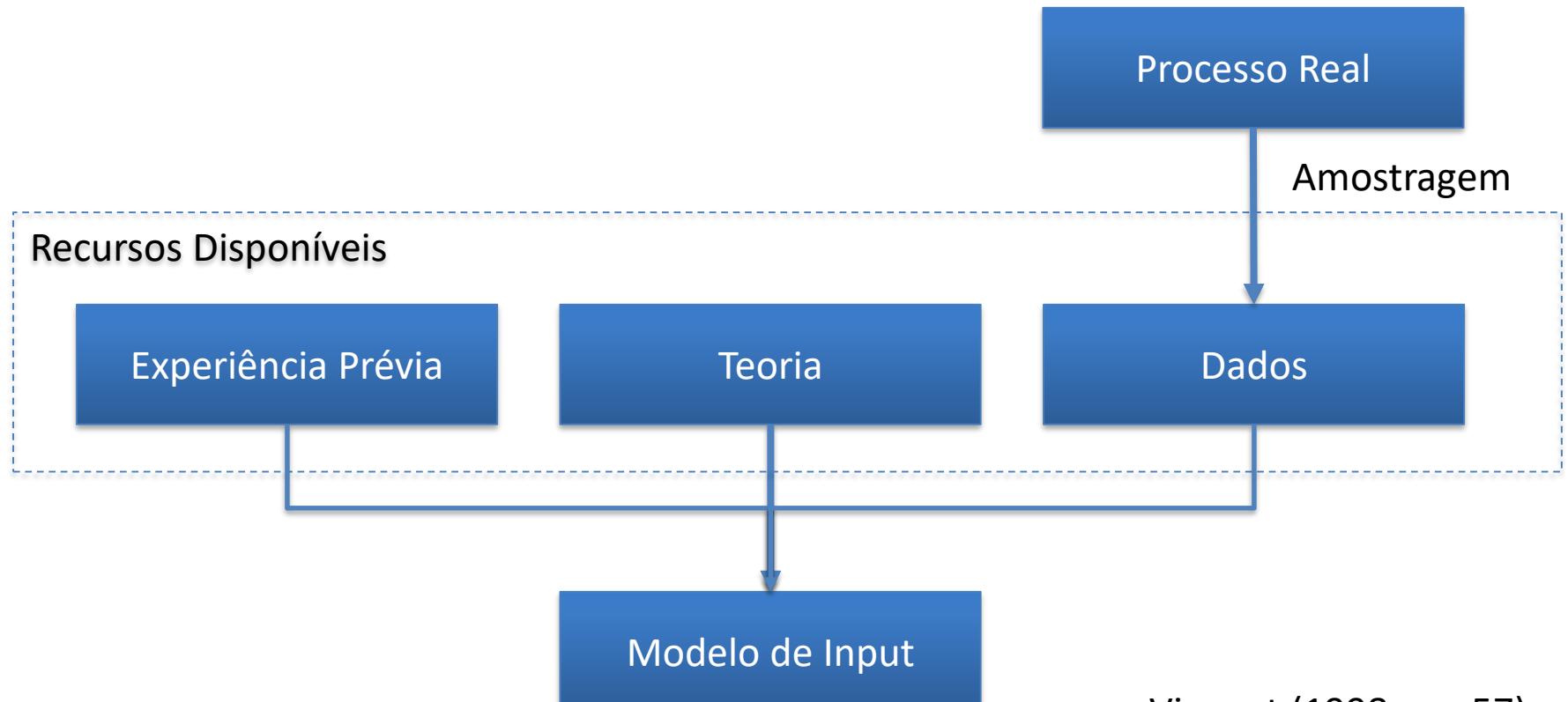
01/06/2019

Processo de Modelagem



01/06/2019

Inputs da Modelagem de Dados de Entrada



Vincent (1998, pg. 57)
01/06/2019

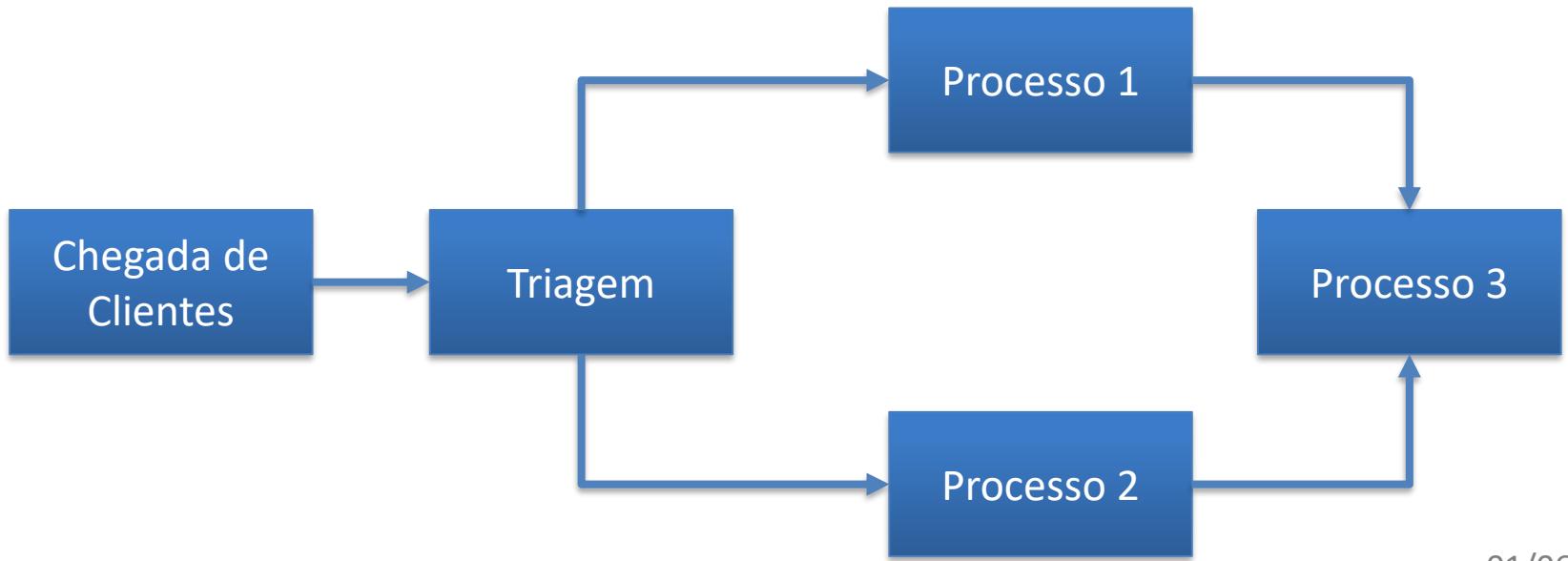
Fundamentos do Tratamento de Dados

- Uma variável aleatória de um modelo de simulação pode ser vista como um **processo estocástico**.
- Utiliza-se um processo estocástico específico, o IID, processo independente e identicamente distribuído.
- Pressupostos:
 - Todas as variáveis aleatórias são probabilisticamente independentes umas das outras;
 - Todas as variáveis seguem a mesma distribuição de probabilidade e são identicamente distribuídas, ou seja, $F_k(\cdot)$ tem uma forma comum $F(\cdot)$ para todos os “ k s”.

Vincent (1998, pg. 57)
01/06/2019

Exemplificando

- Que Dados devem ser coletados para a **execução da simulação?**



01/06/2019

Passos para o Tratamento de Dados

1. Obter uma Amostra dos Dados:
 1. Coletar dados;
 2. Avaliar a existência de outliers;
2. Identificar uma distribuição de probabilidades que represente o fenômeno:
 1. Observar histograma dos dados;
 2. Definir uma distribuição candidata para os dados;
 3. Estimar parâmetros desta distribuição;
 4. Realizar testes de aderência (teste do Qui-quadrado, Teste de Kolmogorov-Smirnov, Teste Anderson Darling.)
3. Se nenhuma distribuição for satisfatória, é possível utilizar uma distribuição empírica.

01/06/2019

Coleta de Dados

- Recomenda-se coletar entre 100 e 200 observações para cada uma das variáveis (Vincent 1998 – Handbook of Simulation);
- Coletar observações na mesma ordem que o fenômeno ocorre;
- Se os dados mudam em função do horário, coletar dados em outros horários e dias.

01/06/2019

Cuidados com Outliers

- A remoção de outliers pode ser justificada quando sabe-se que houve erro de medição (ou seja, o dado **não representa** o fenômeno sendo estudado).
- Cuidados: Existem distribuições de probabilidades que podem aparentar possuir outliers, porém o dado apenas faz parte da distribuição que representa o fenômeno.
 - Ex.: A Distribuição Exponencial gera valores altos em relação à média, e isto é notado pela cauda “longa” da distribuição.

01/06/2019

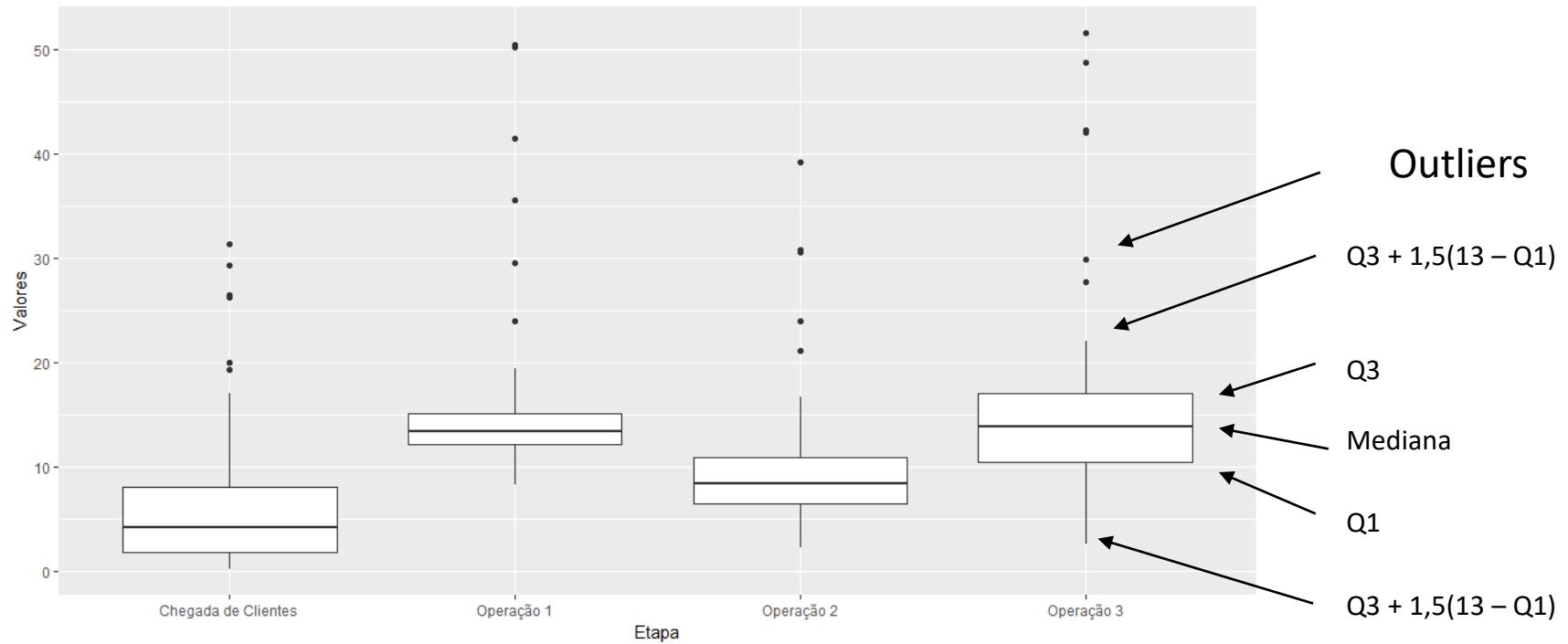
Tipos de Outliers

- **Erro na coleta de dados.** Este tipo de outlier é o mais comum, principalmente quando o levantamento de dados é feito por meio manual.
- **Eventos Raros:** Nada impede que situações totalmente atípicas ocorram na nossa coleta de dados. Alguns exemplos:
 - Um dia de temperatura negativa no verão da cidade do Rio de Janeiro;
 - Um tempo de execução de um operador ser muito curto em relação aos melhores desempenhos obtidos naquela tarefa;
 - Um tempo de viagem de um caminhão de entregas na cidade de São Paulo, durante o horário de rush, ser muito menor do que fora deste horário.

01/06/2019

Outliers ou Valores Discrepantes

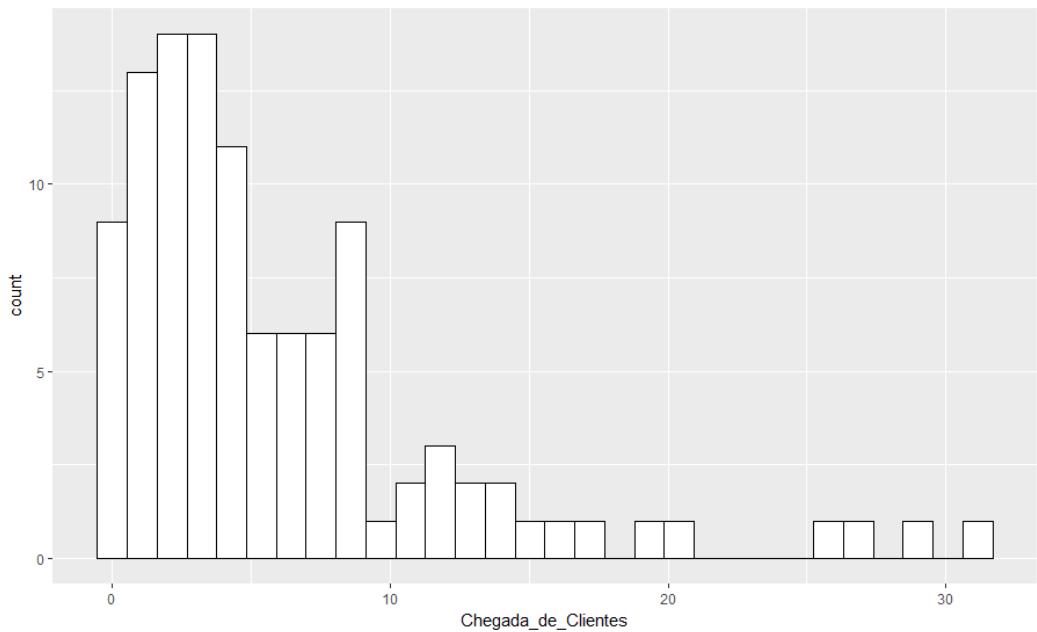
- Identificação de Outliers: Box-plot



01/06/2019

Histograma

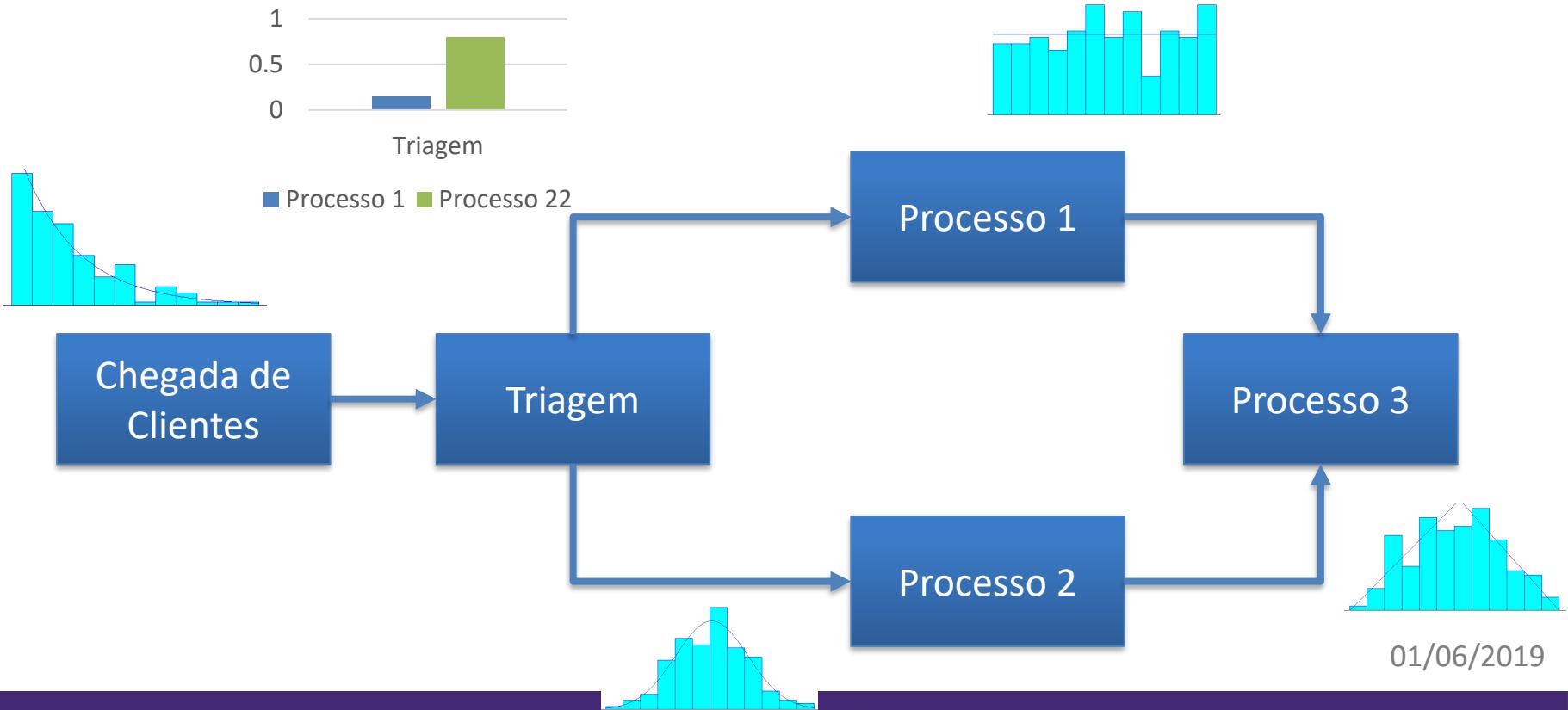
- Objetivo:
Identificar uma distribuição de probabilidade que represente o fenômeno observado.



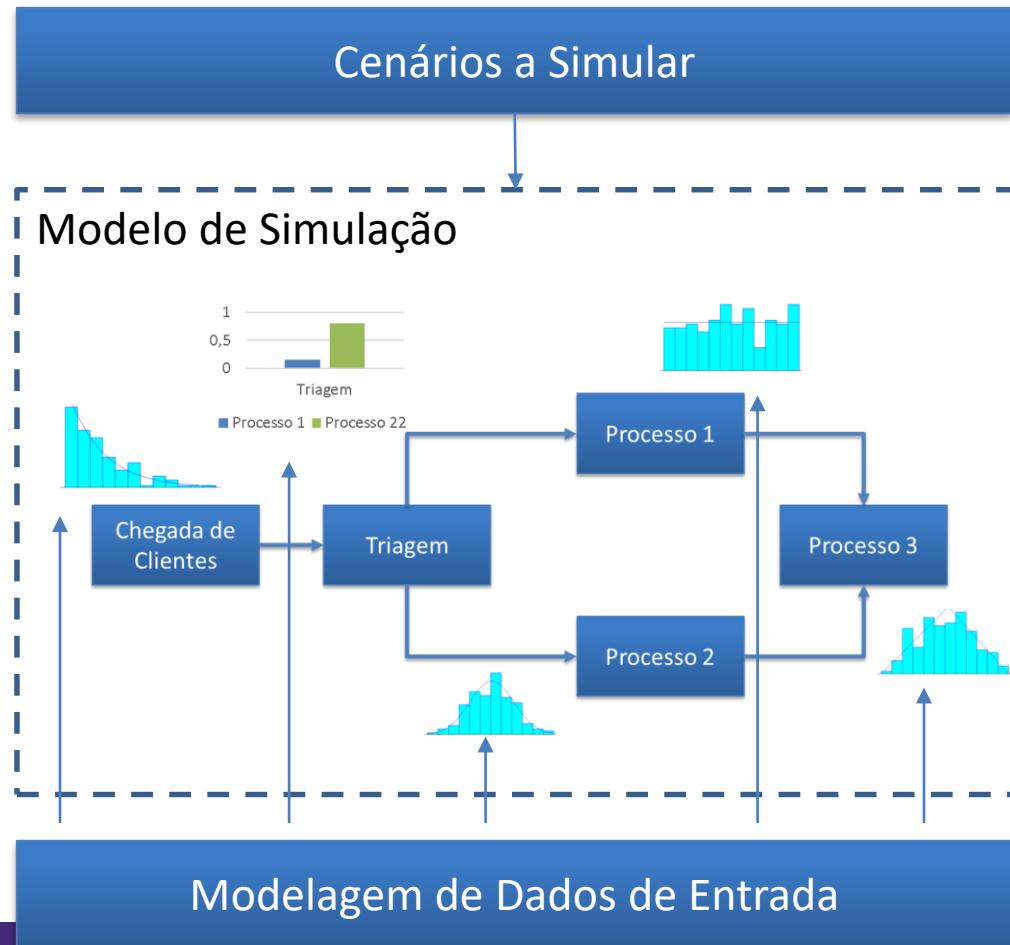
01/06/2019

Exemplificando

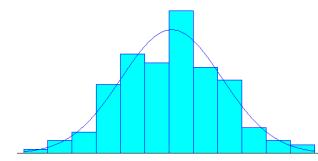
- Que Distribuição estes processos seguem?



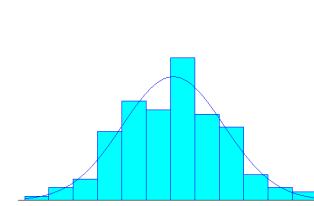
Para quê fazer isso?



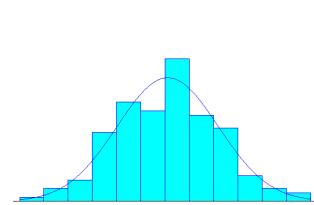
Medidas de Desempenho



Tempo de Espera



Lead Time



Nível de Serviço 01/06/2019



JESUÍTAS BRASIL

UNISINOS

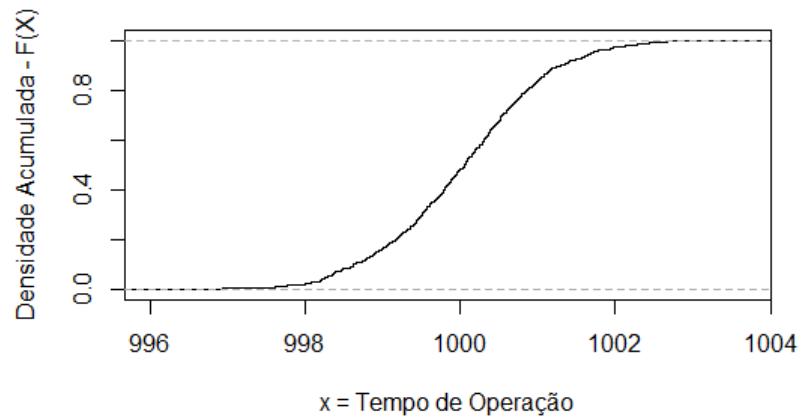
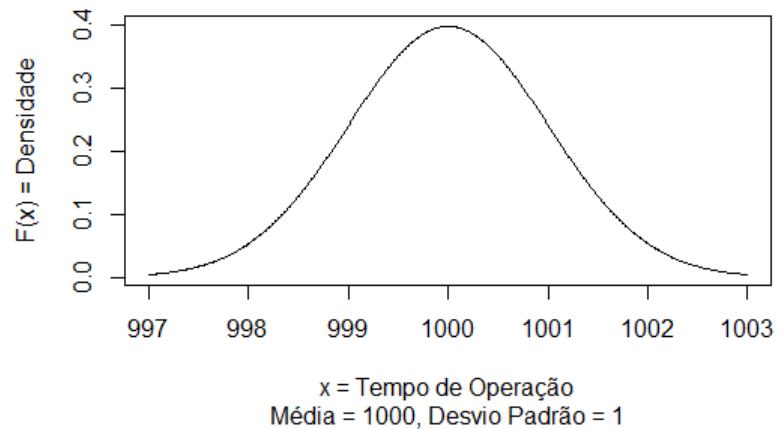
Distribuições de Probabilidade

- Distribuições Discretas:
 - Podem produzir apenas um número finito ou contável de valores (e.x.: 0, 1, 2, ...);
- Distribuições Contínuas:
 - Podem gerar um número infinito de valores (ex.: todos os números reais entre 0 e 1).
 - Ainda podem ser classificadas em:
 - Distribuições não-negativas (valores acima de 0);
 - Distribuições delimitadas (valores entre “a” e “b”);
 - Distribuições não-delimitadas.

01/06/2019

Distribuições e Parâmetros

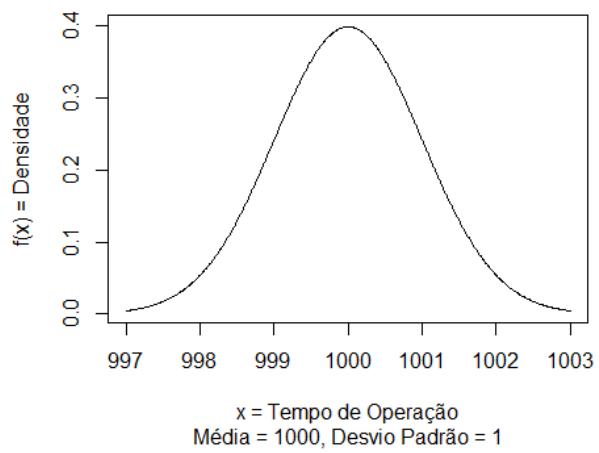
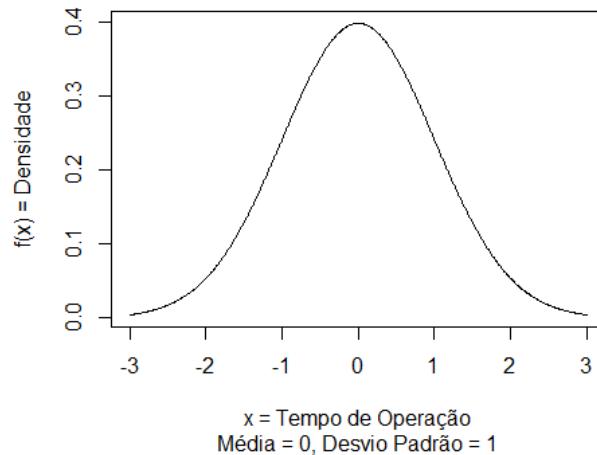
- **Função distribuição de probabilidade (FDP):**
 - Mostra o valor de probabilidade de cada valor de X
- **Função de distribuição acumulada (FDA):**
 - Mostra a probabilidade acumulada de do menor para o maior valor de X, tendendo a 1
 - Em outros termos, a distribuição acumulada é obtida analiticamente obtendo-se a integral da função de densidade.



2019

Distribuições e Parâmetros

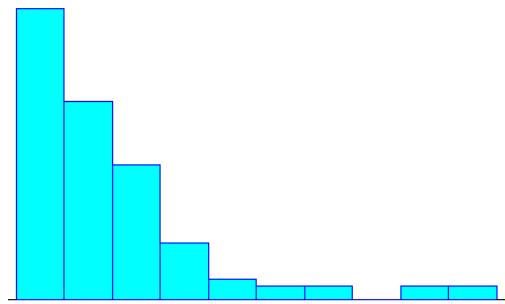
- Cada uma das distribuições de probabilidade é definida por sua função de distribuição, ou seja, sua função de **densidade** (distribuição continua) ou função de **massa** (distribuição discreta).
- Cada uma das distribuições é parametrizada de modo que seu uso seja flexível.
- Ex.: Distribuição Normal:
- Média – Parâmetro de **Localização** (normalmente γ)
- Desvio Padrão – Parâmetro de **Escala** (normalmente β).



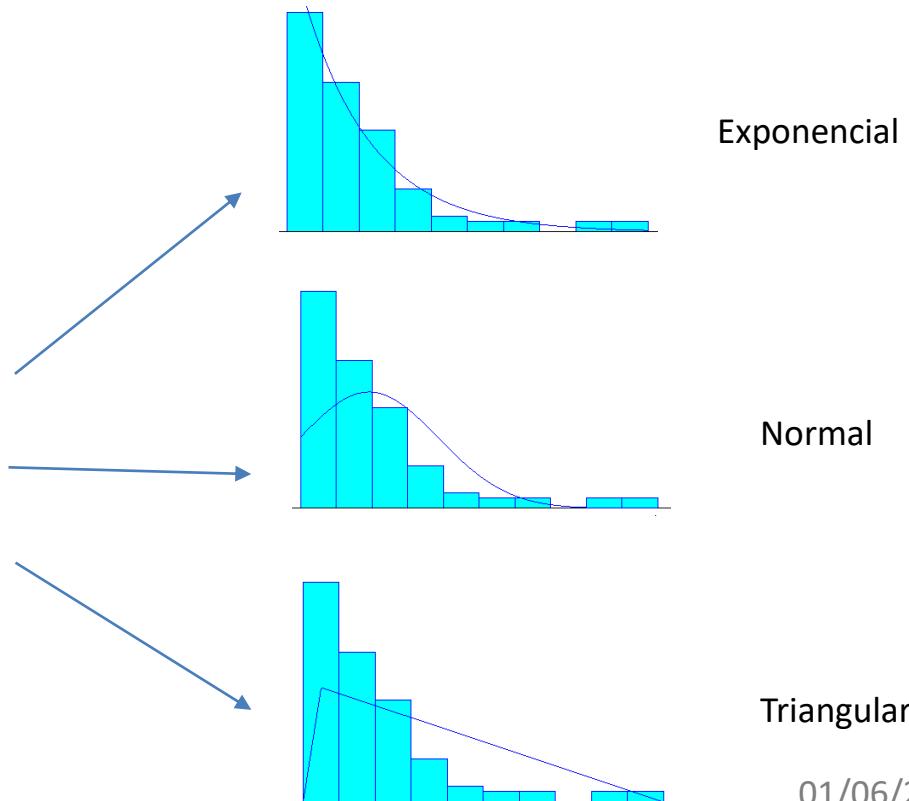
2019

Inferência

- Que distribuição teórica pode ser utilizada para representar o processo em questão?
 - Utilizar conhecimento sobre o processo de geração dos dados;
 - Avaliar o ajuste das distribuições utilizando testes estatísticos.



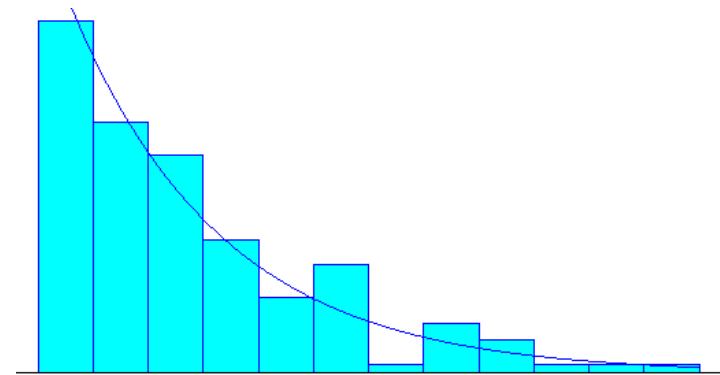
Dados Coletados



01/06/2019

Distribuição Exponencial

- Parâmetros: Média
- Características:
 - Alta Variância.
 - Cauda para a direita;
- Aplicações:
 - Frequentemente é utilizada para representar o tempo entre chegadas sucessivas de pedidos / clientes ou o tempo entre falhas;



01/06/2019

Distribuição Exponencial

- Função de Densidade:

$$f(x) = \begin{cases} \frac{1}{\beta} e^{-x/\beta} & x, \quad x \geq 0 \\ 0, & x < 0 \end{cases}$$

- Densidade Acumulada:

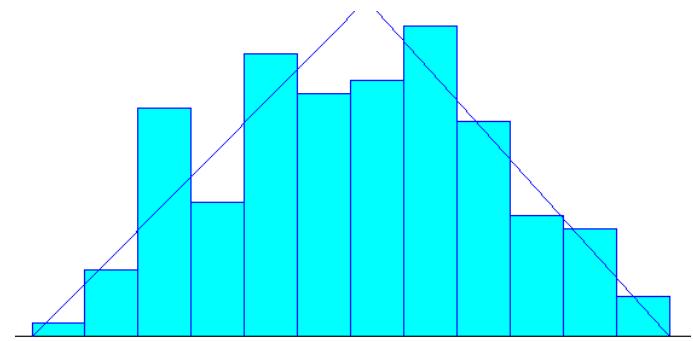
$$F(x) = \begin{cases} 1 - e^{-x/\beta}, & x \geq 0 \\ 0, & x < 0 \end{cases}$$

- Parâmetro β : Média (tempo entre eventos).
- Abreviação: EXPO(β).

01/06/2019

Distribuição Triangular

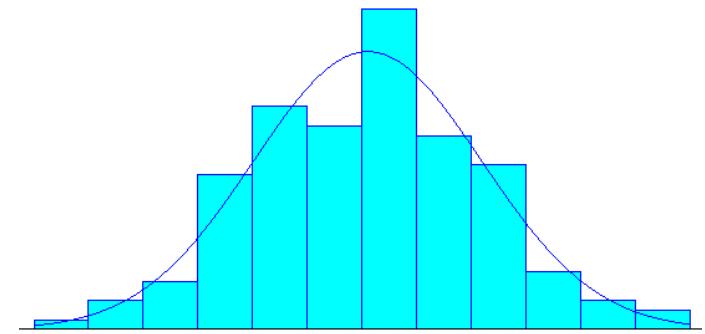
- Parâmetros: Menor Valor, Moda e Maior Valor.
- Características:
 - Pode ser simétrica ou não;
- Aplicações:
 - É empregada quando se tem uma estimativa sobre a moda (valor mais frequente), o menor valor e o maior valor que pode ocorrer.



01/06/2019

Distribuição Normal

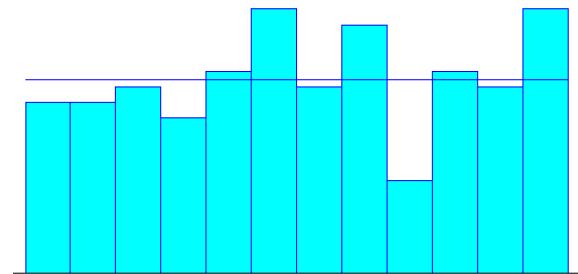
- Parâmetros: Média e Desvio Padrão.
- Características:
 - Simétrica, em forma de sino;
 - Variabilidade é controlada pelo desvio-padrão.
- Aplicações:
 - É empregada quando a probabilidade de valores acima da média é igual à probabilidade de valores abaixo da média;
 - Quando o tempo de um processo é considerado como a soma de diversos subprocessos, usualmente é possível ajustar os dados à uma distribuição normal;
 - Processos manuais tendem a ter um tempo normalmente distribuído.



01/06/2019

Distribuição Uniforme

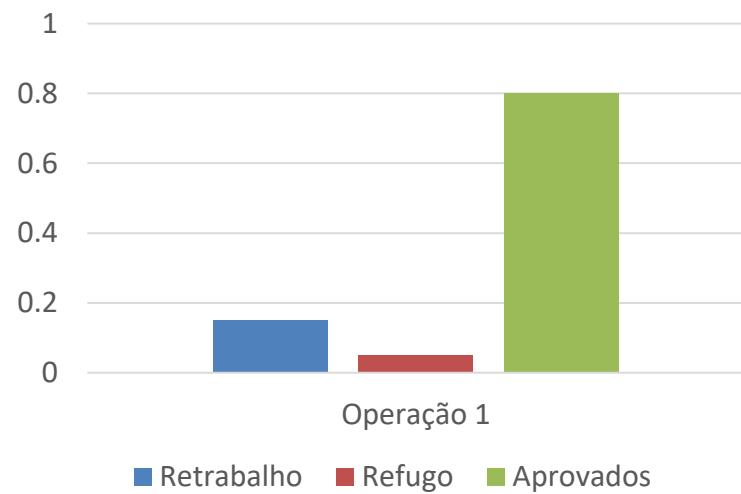
- Parâmetros: Mínimo e Máximo.
- Características:
 - Todos os valores no intervalo são igualmente plausíveis;
- Aplicações:
 - Não há nenhuma informação sobre o processo, e apenas se conhece os valores limite;
 - Pode ser utilizada para simular o caso de “maior ignorância”.



01/06/2019

Distribuição Discreta

- Parâmetros: Valores e Probabilidades de Ocorrência associados.
- Características:
 - Assume os valores definidos pelo analista.
- Aplicações:
 - Utiliza-se para definir parâmetros para a definição da rota de entidades (ex.: 11 % - refugo; 89 % atende os requisitos).



01/06/2019

Como identificar a distribuição?

- Quando a distribuição de probabilidade dos dados é desconhecida; desejamos testar hipótese de uma determinada distribuição se ajustar aos dados.
- Duas famílias de testes podem ser usadas:
 - Gráficos – papéis de probabilidade;
 - Analíticos
 - Teste do Qui-Quadrado
 - Teste Kolmogorov-Smirnov.

01/06/2019



Testes de Aderência

- Verificam se os dados se ajustam à distribuição de probabilidade escolhida.
- Hipóteses:
 - H_0 : O modelo **escolhido é adequado** para representar a distribuição da população;
 - H_1 : O modelo **escolhido não é adequado** para representar a distribuição da população.
- Testes Empregados:
 - Teste do Qui-Quadrado;
 - Teste de Kolmogorov-Smirnov.

01/06/2019

Testes de Aderência

- Interpretando o Valor p:
 - Valor p: Menor nível de significância que pode ser assumido para se rejeitar a hipótese nula (no nosso caso, hipótese de aderência).

Valor P	Conclusão
$p < 0,01$	Forte evidência contra a hipótese de aderência.
$0,01 < p < 0,05$	Evidência moderada contra a hipótese de aderência.
$0,05 < p < 0,10$	Evidência potencial contra a hipótese de aderência.
$0,1 < p$	Evidência fraca ou inexistente contra a hipótese de aderência.

Não se deve utilizar a distribuição testada



Pode-se utilizar a distribuição testada
20/06/2019

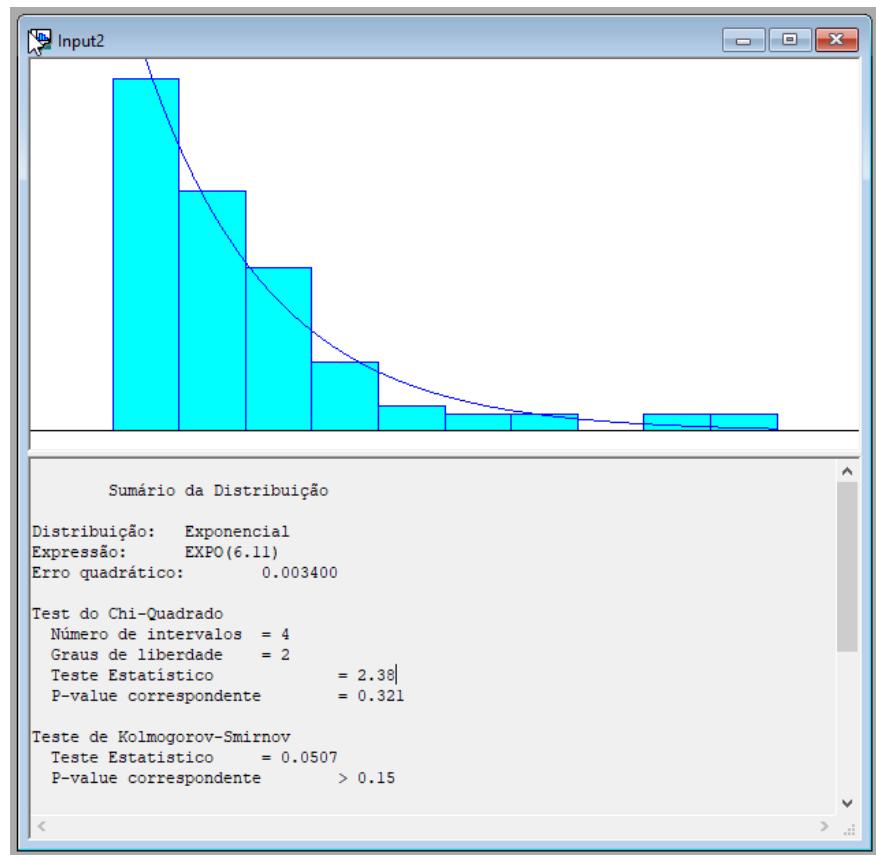


JESUÍTAS BRASIL



Utilizando o Input Analyzer

1. Baixar planilha de dados de teste;
2. Salvar os Dados no notepad, substituir vírgulas por pontos;
3. Abrir um novo arquivo no Input Analyzer;
4. Clicar em File > Data File > Use Existing;
5. Escolher uma distribuição e analisar o valor p.



01/06/2019

Utilizando o Input Analyzer

Resultados:

Sumário da Distribuição

Distribuição: Exponencial
Expressão: EXPO(6.11)
Erro quadrático: 0.003400

Distribuição e Parâmetros

Teste do Chi-Quadrado
Número de intervalos = 4
Graus de liberdade = 2
Teste Estatístico = 2.38
P-value correspondente = 0.321

Resultados do Teste Chi-Quadrado

Teste de Kolmogorov-Smirnov
Teste Estatístico = 0.0507
P-value correspondente > 0.15

Resultados do Teste KS

01/06/2019

Problema do Posto de Gasolina

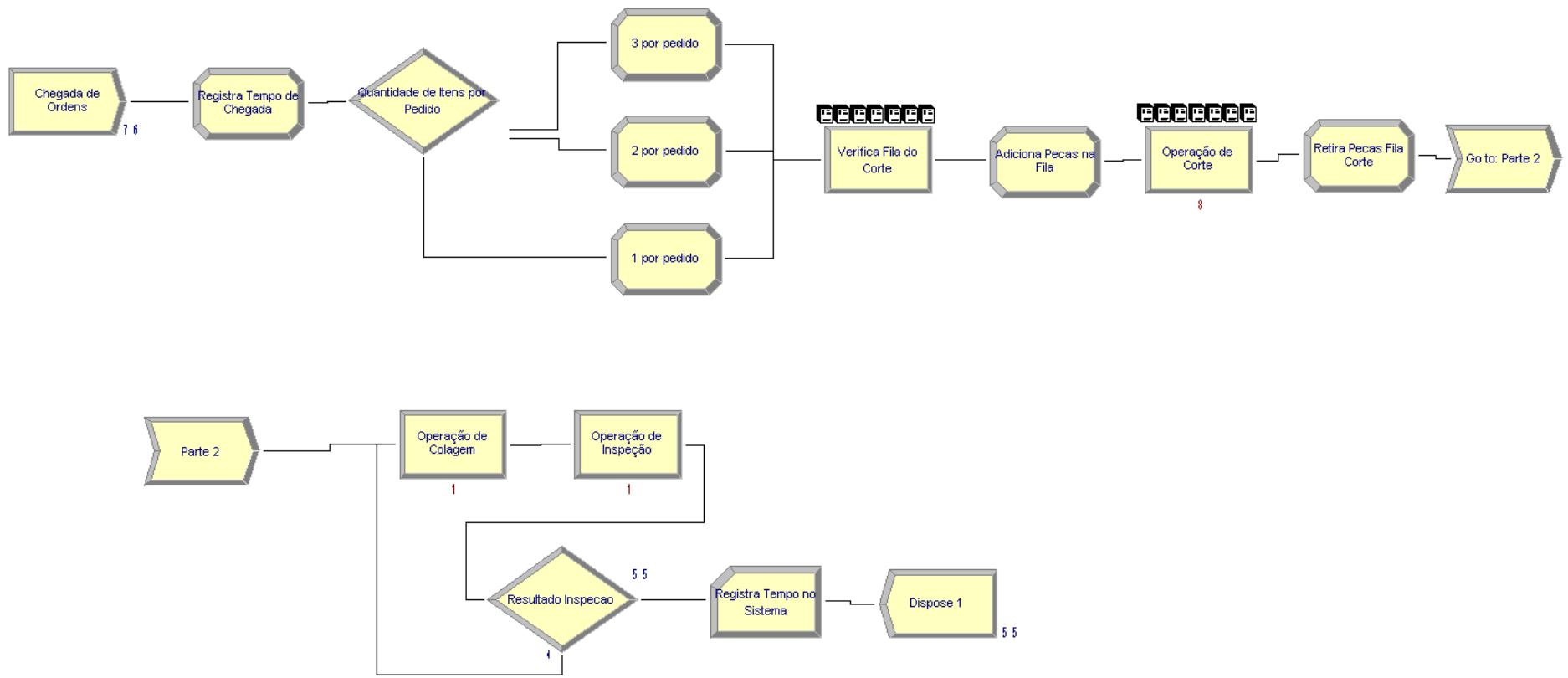


01/06/2019

Exemplo

1. Baixar o arquivo de dados fornecido (tempos estão em segundos).
2. Realizar o tratamento dos dados e definir o ajuste às distribuições de probabilidade;
3. Construir o modelo de simulação computacional, inserir os dados no modelo e avaliar os resultados.

01/06/2019



SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL

IMPLEMENTAÇÃO DO MODELO COMPUTACIONAL - EXEMPLOS

Exemplo 3 - Fábrica de Móveis

- Objetivos deste Exemplo:
 - Modelar fluxos de processos com retrabalho;
 - Realizar tratamento de dados e construção do modelo com distribuições discretas e contínuas;
 - Ampliar modelo considerando definição de atributos de modo **aleatório**;
 - Ampliar modelo considerando controle de processos por variáveis globais;
 - Manipular valores de variáveis globais utilizando atributos de entidades;
 - Ampliar modelo considerando formação de lotes de transferência;
 - Ampliar modelo considerando falhas;

01/06/2019

Exemplo 3 - Fábrica de Móveis

- Uma fábrica de móveis produz móveis personalizados sob encomenda;
- O gestor da fábrica tem sido pressionado pelo diretor de vendas a reduzir os tempos de entrega, visto que os clientes tem se tornado cada vez mais exigentes. Como as peças são produzidas sob encomenda, a empresa adota como política não formar estoques de produto acabado (regime MTO – Make To Order);
- Recentemente os tempos de espera tem crescido de modo significativo, visto que a demanda tem crescido;
- Você é responsável por construir um modelo de simulação computacional para suportar as decisões que a empresa deve tomar para encaminhar o problema.

01/06/2019

Modelagem Conceitual

Defina os seguintes itens do Modelo Conceitual:

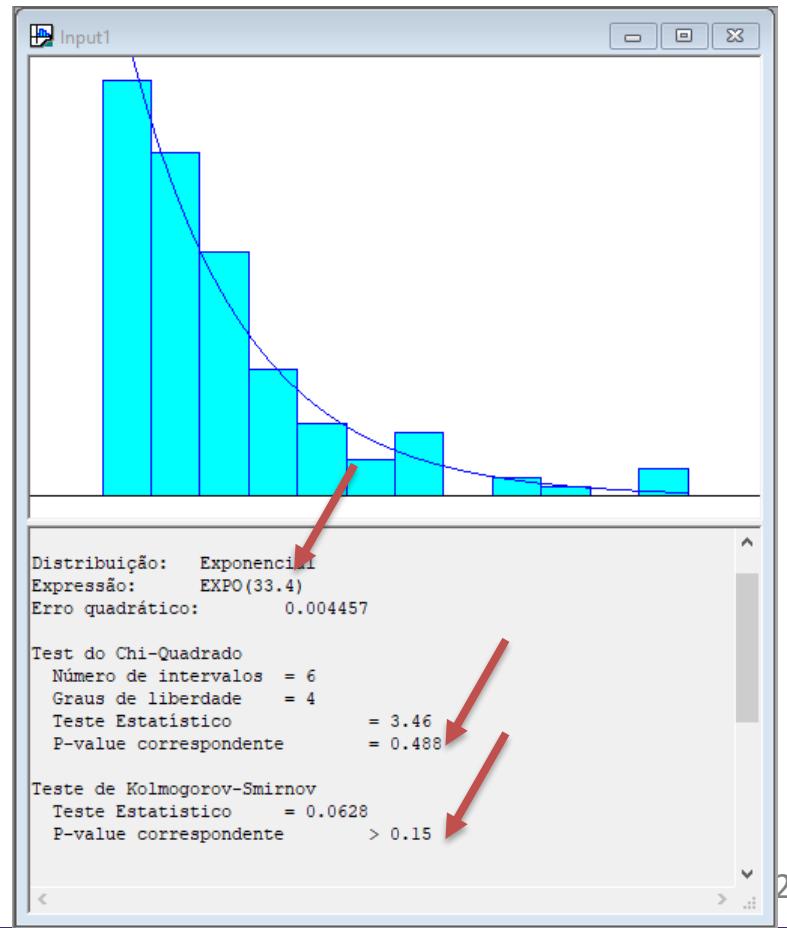
1. Definição do Problema;
2. Objetivos;
3. Medidas de Desempenho;
4. Escopo do Modelo;
5. Figura do Processo;
6. Entidades, Recursos e Atividades;
7. Cenários a Simular.

01/06/2019

Modelagem dos Dados de Entrada

Executar os Seguintes Passos:

1. Copiar cada um dos tempos para o bloco de notas;
2. Substituir vírgulas por ponto;
3. Abrir o Input Analyzer;
4. Criar um novo Arquivo de tratamento de dados;
5. Selecionar a File -> Data File -> Use Existing;
6. Abrir o arquivo e identificar uma distribuição para cada um dos processos estocásticos;
7. Interpretar o valor p e decidir sobre a distribuição a utilizar.



2019

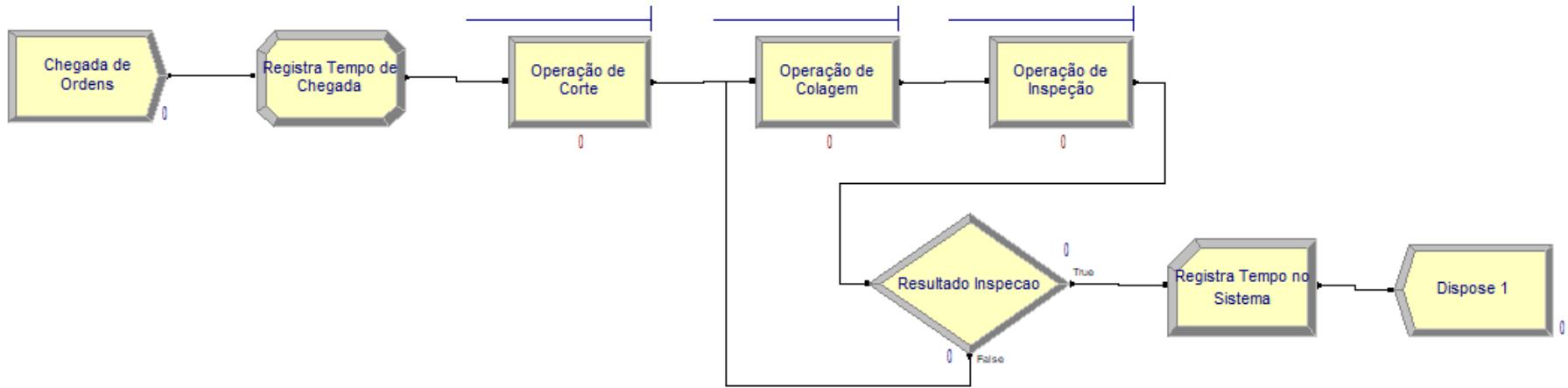
Modelagem dos Dados de Entrada

Sintetizar os resultados do tratamento de dados:

Etapa	Distribuição	p-valor	
		Teste Qui Quadrado	Teste K-S
Chegadas	EXPO(12)	> 0.75	> 0.15
Corte	NORM(12.7, 1.92)	0.209	> 0.15
Colagem	NORM(12.1, 2.99)	0.464	> 0.15
Inspeção	NORM(7.53, 0.884)	0.337	> 0.15

01/06/2019

Exemplo - Processo Produtivo Atual



01/06/2019

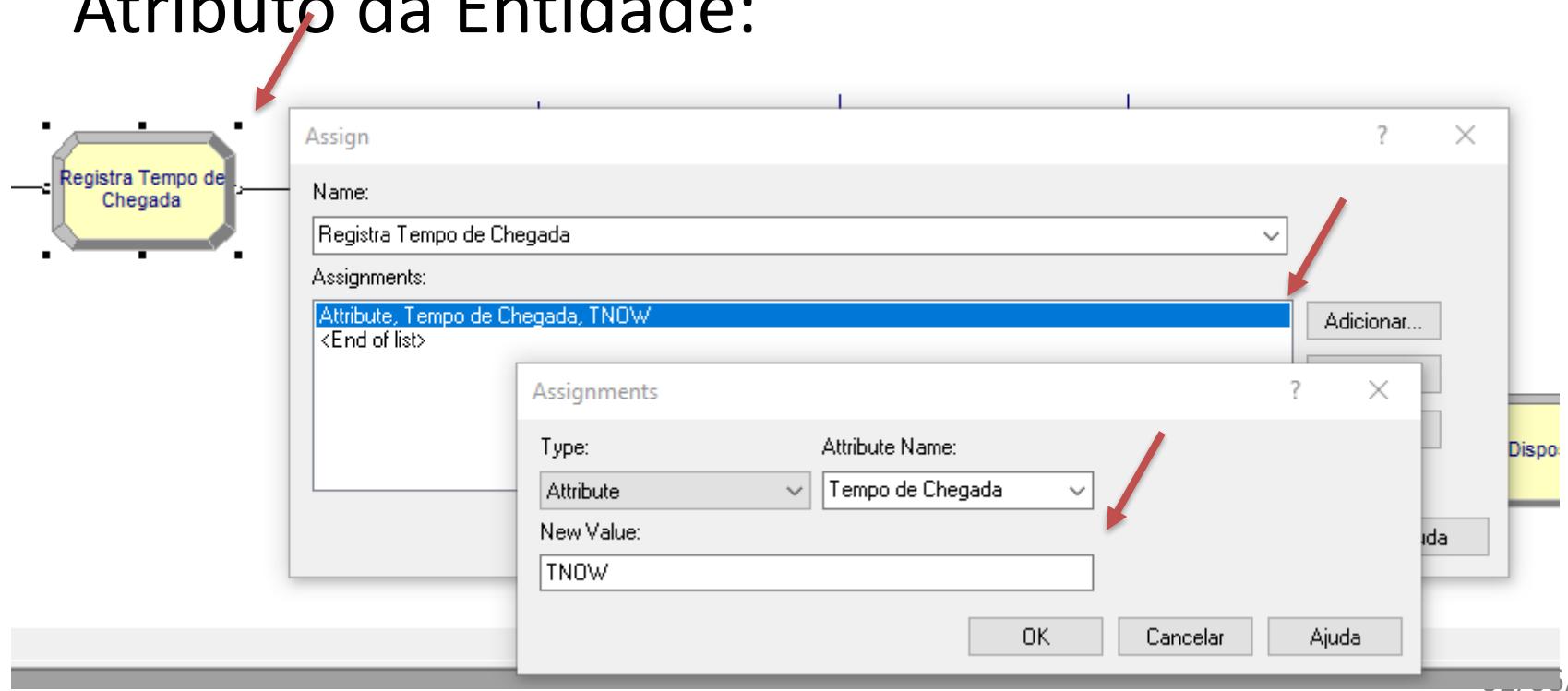
Passos para a Execução do Modelo

- Realize o Tratamento dos Dados de Entradas (arquivo excel fornecido), definindo as distribuições de probabilidade a utilizar;
- Modele o problema no Arena;
- Verifique o Tempo médio de Atravessamento;
- Os slides seguintes apresentam o uso de módulos não apresentados anteriormente.

01/06/2019

Definindo um Atributo no Sistema

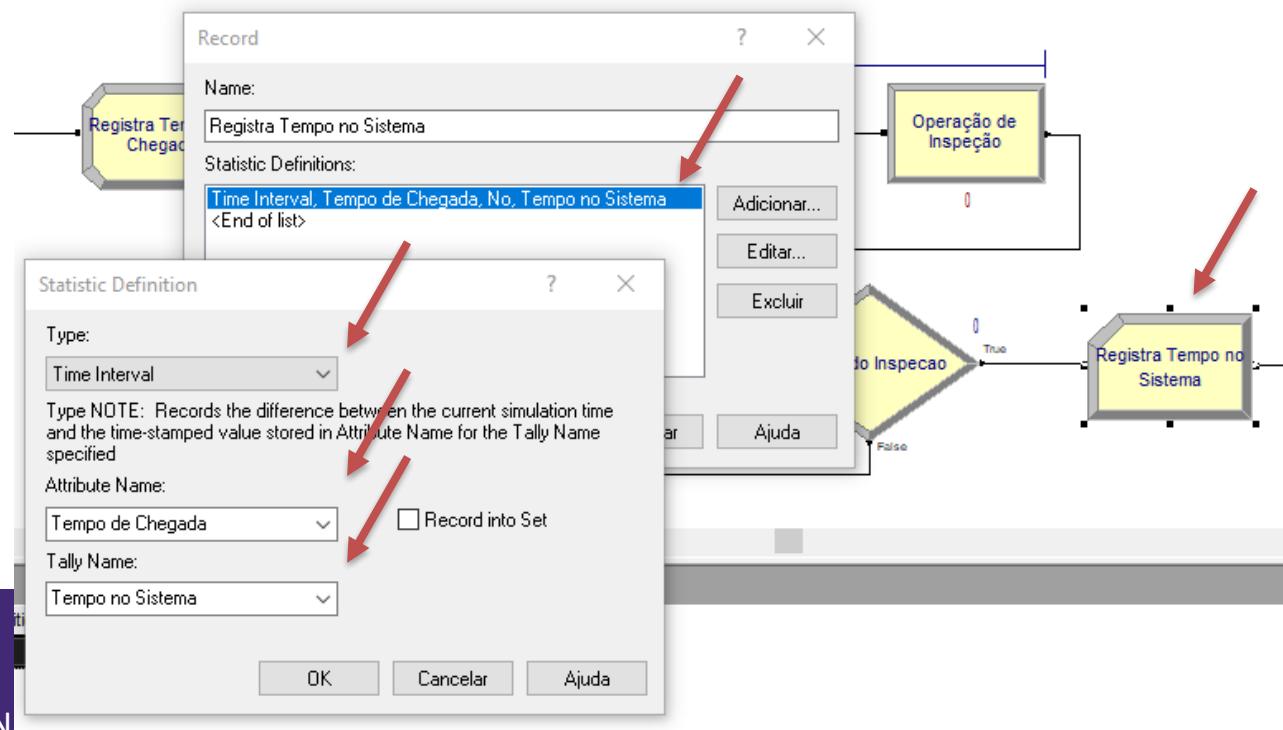
- Armazenando os Tempos de Chegada em um Atributo da Entidade:



30/03/2019

Registrando o Tempo no Sistema

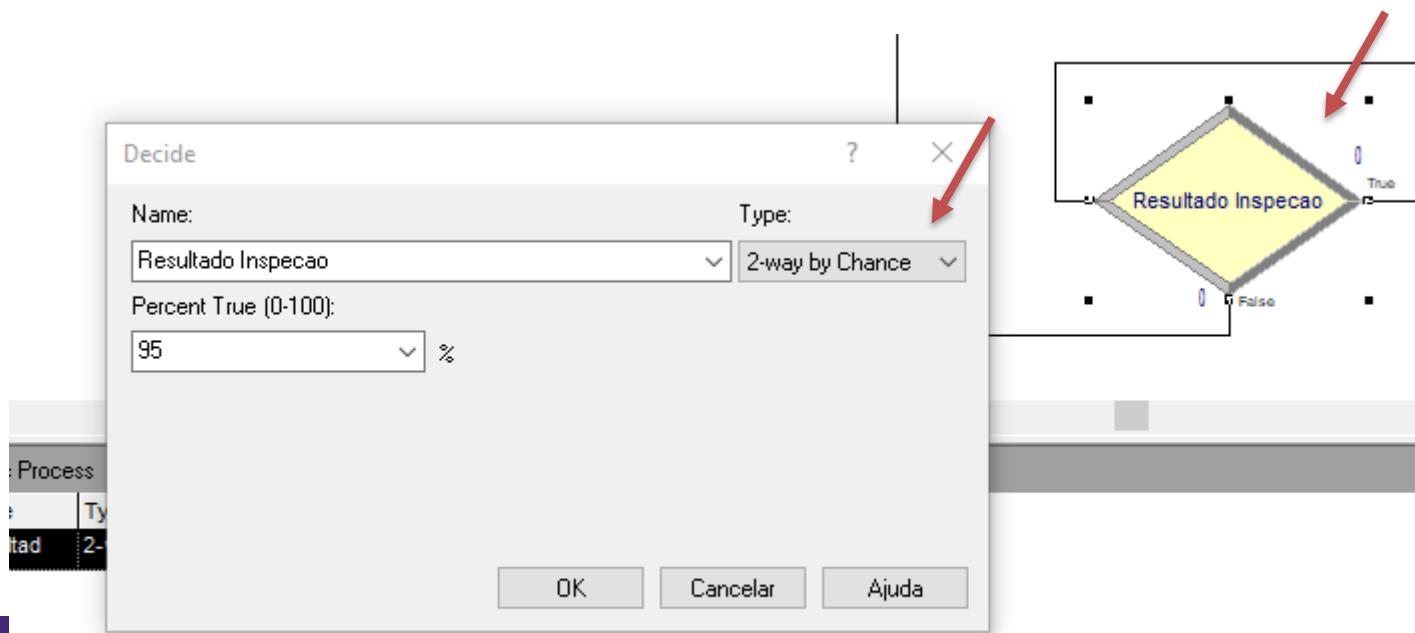
- Utilize o Módulo Record para calcular a diferença entre o tempo de chegada e o Tempo Atual:



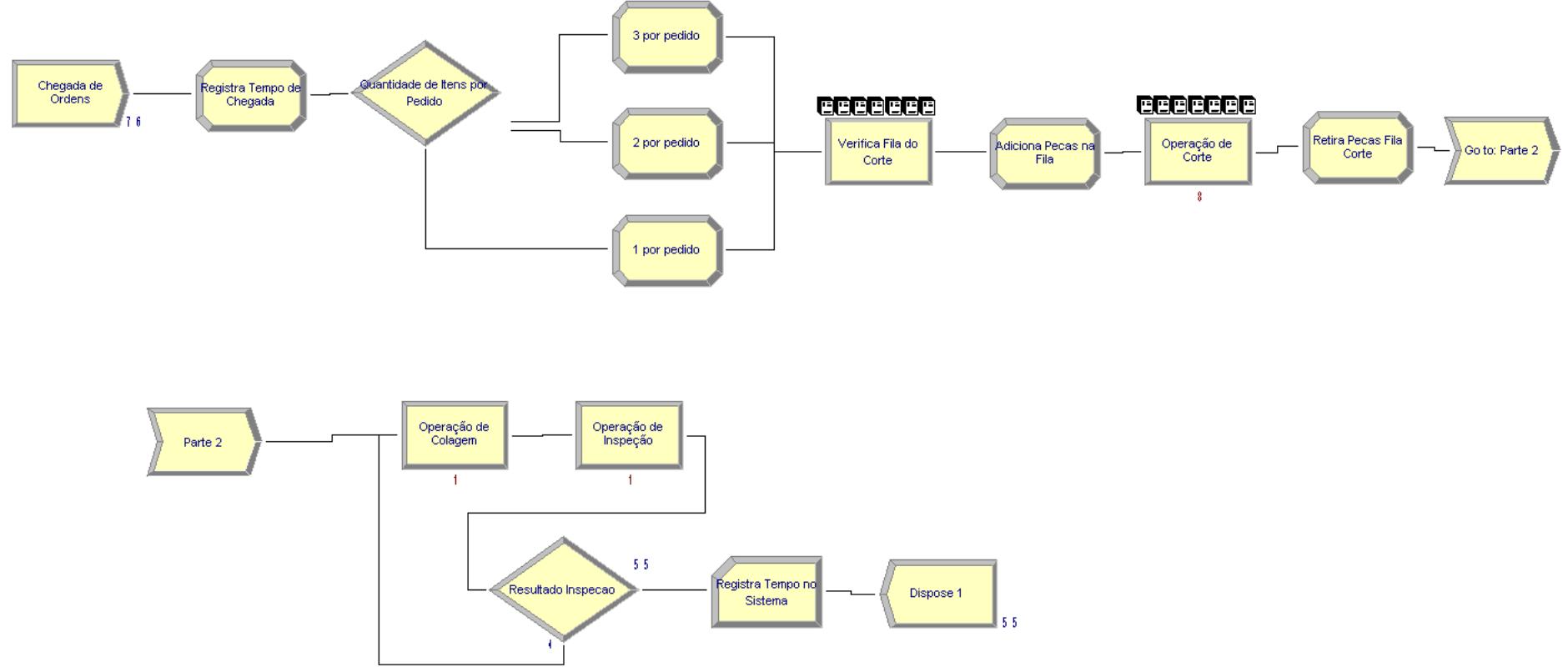
01/06/2019

Registrando o Tempo no Sistema

- Utilize o Módulo “decide” para controlar o fluxo de entidades no sistema.



01/06/2019



SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL

EXEMPLO 3 (AMPLIAÇÃO 1)

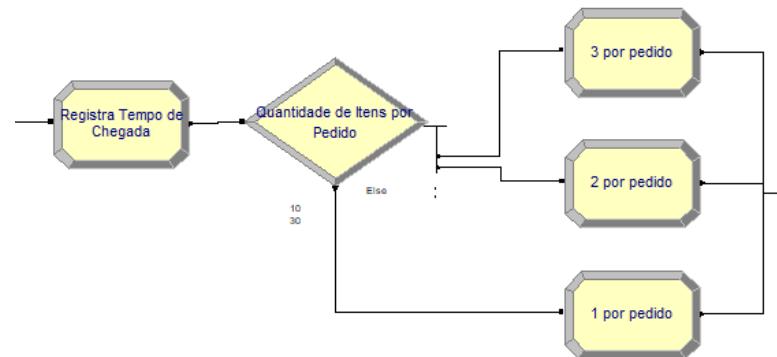
Ampliando o Modelo Anterior

- Deseja-se detalhar o modelo para que o mesmo considere algumas regras relevantes para a empresa em questão:
 - Cada um dos pedidos pode possuir mais de um item a produzir:
 - 10% dos pedidos contém 3 itens;
 - 30 % dos pedidos contém 2 itens;
 - O restante dos pedidos contém 1 item.
 - Existem limitações na fila de corte (a fábrica não possui espaço para mais de 10 itens simultâneos).
 - A operação de corte é realizada item a item, porém a operação de colagem e inspeção não é.

01/06/2019

Itens a Adicionar ao Modelo

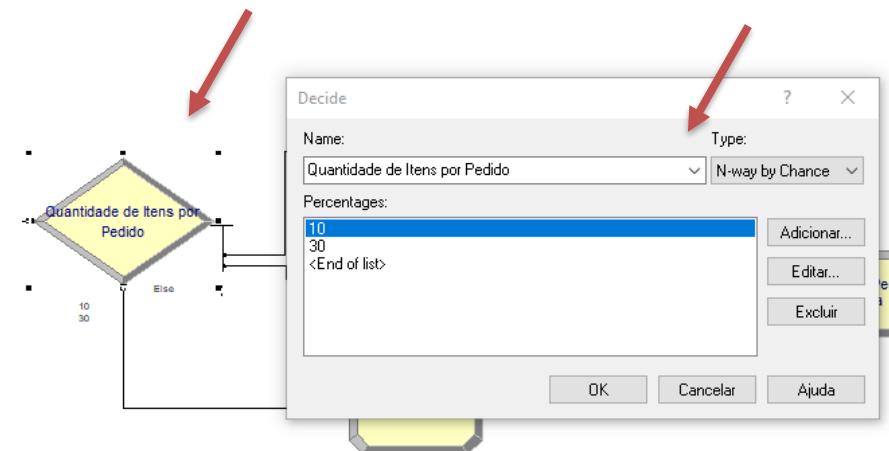
- Criar um atributo vinculado às Entidades “Pedidos” chamado “Nitens” (ou seja, o número de itens em cada pedido);
- Vincular o Atributo aos pedidos após a chegada no sistema;



01/06/2019

Definindo a Quantidade de Itens por Pedido

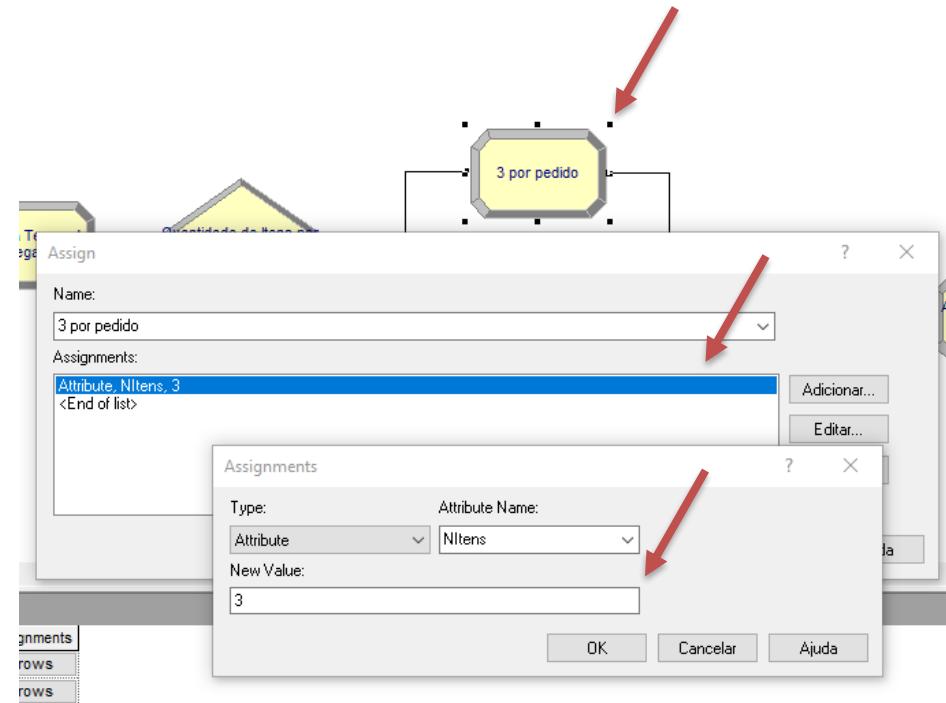
- A quantidade de itens por pedido é definida pelo módulo “Decide”, utilizando a função “N-way by chance”;
- Use este módulo quando for necessário definir atributos das entidades ou direcionar as entidades de acordo com condições pré-estabelecidas.



01/06/2019

Definindo a Quantidade de Itens por Pedido

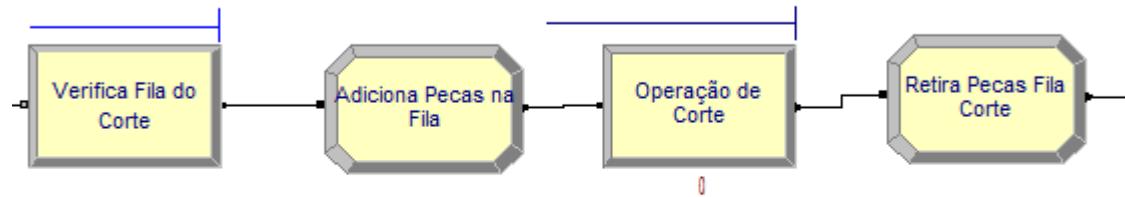
- Utilize o módulo “Assign” para definir o atributo “Nitens” em cada uma das entidades;
- Neste exemplo, continuaremos a ter uma entidade (pedido) com um atributo vinculado (número de itens).



01/06/2019

Controlando o Estoque da Operação de Corte

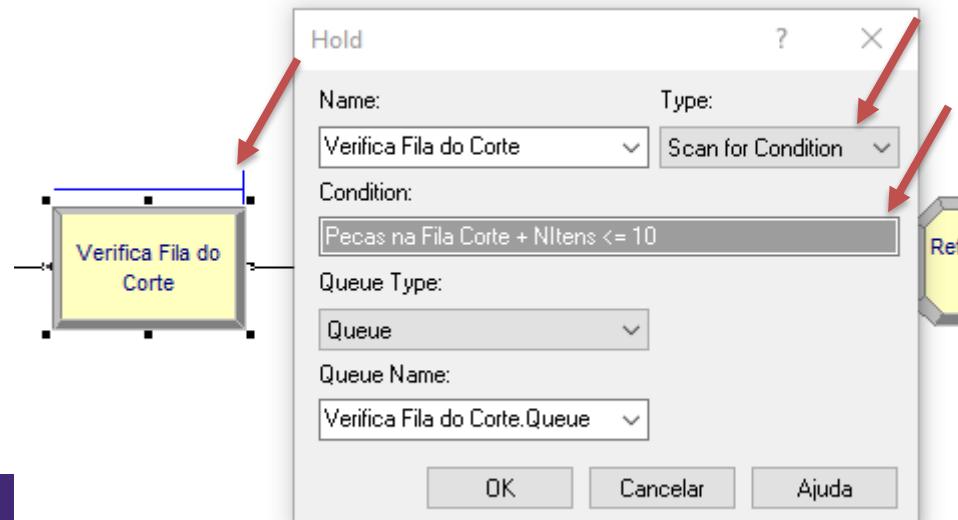
- O controle da fila de corte é realizado com um bloco “Hold” (localizado na guia advanced process).
- Este bloco “segura” as entidades dada uma condição pré-determinada. Utilizaremos os módulos assign para manipular a variável “Número de Peças na Fila do Corte”.



01/06/2019

Controlando o Estoque da Operação de Corte

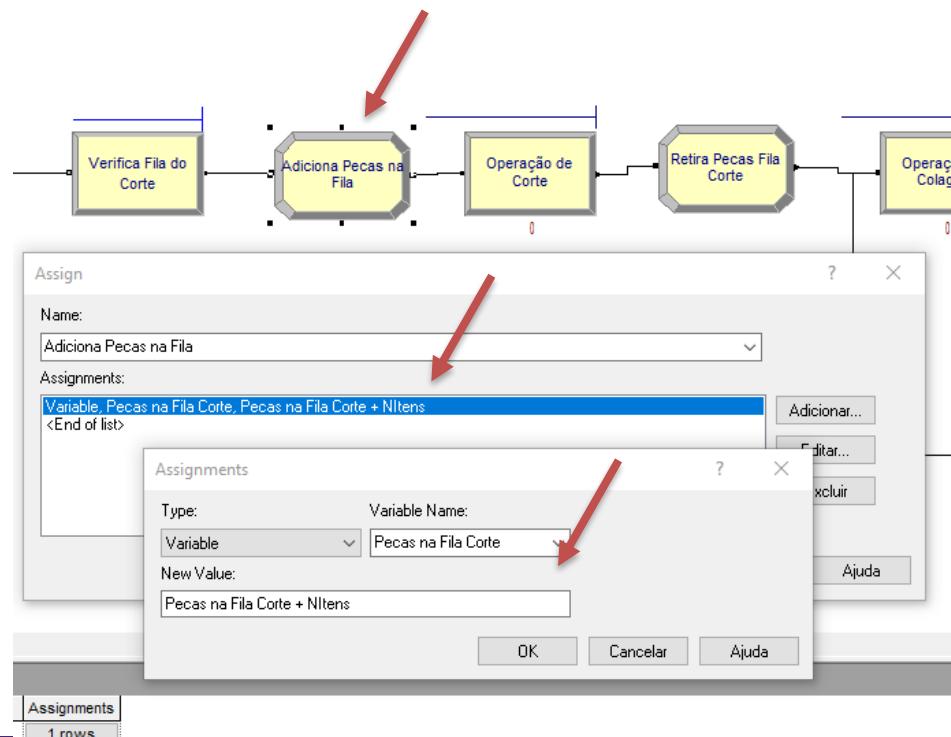
- Utilize o Módulo “Hold” para segurar as entidades.
- As entidades apenas serão liberadas caso a condição abaixo seja satisfeita (ou seja, caso haja espaço para liberar o pedido para a fila do corte).



01/06/2019

Controlando o Estoque da Operação de Corte

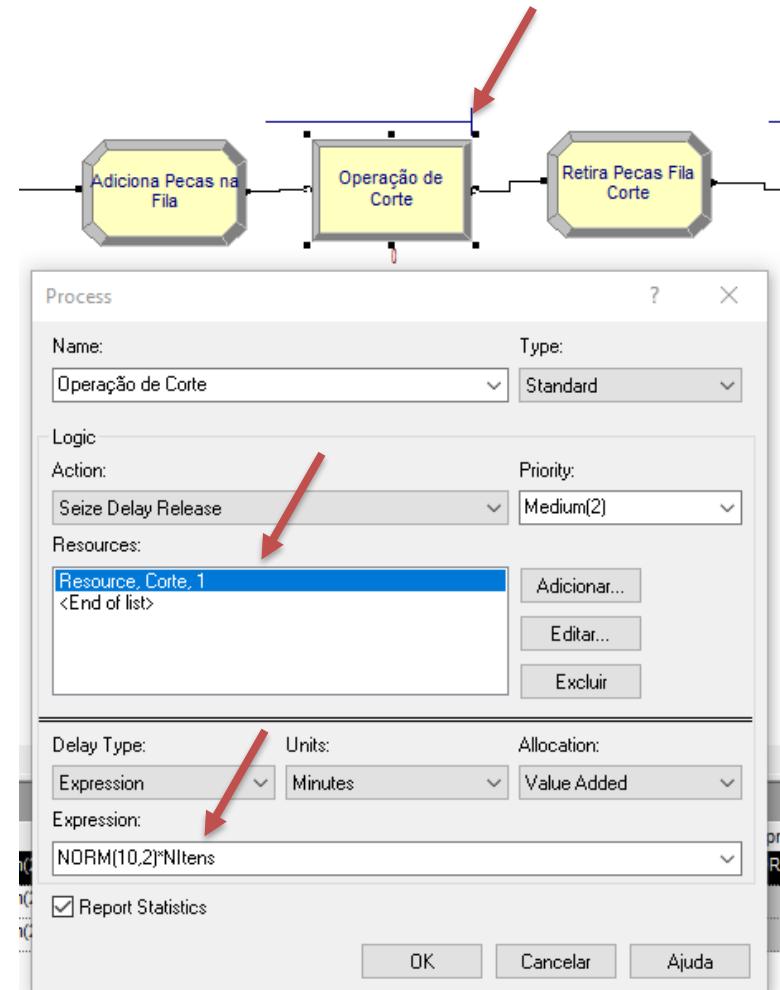
- Utilize o Módulo “Assign” para manipular a Variável “Pecas na Fila Corte”;
- O valor desta variável deve considerar o número de itens dos pedidos.



01/06/2019

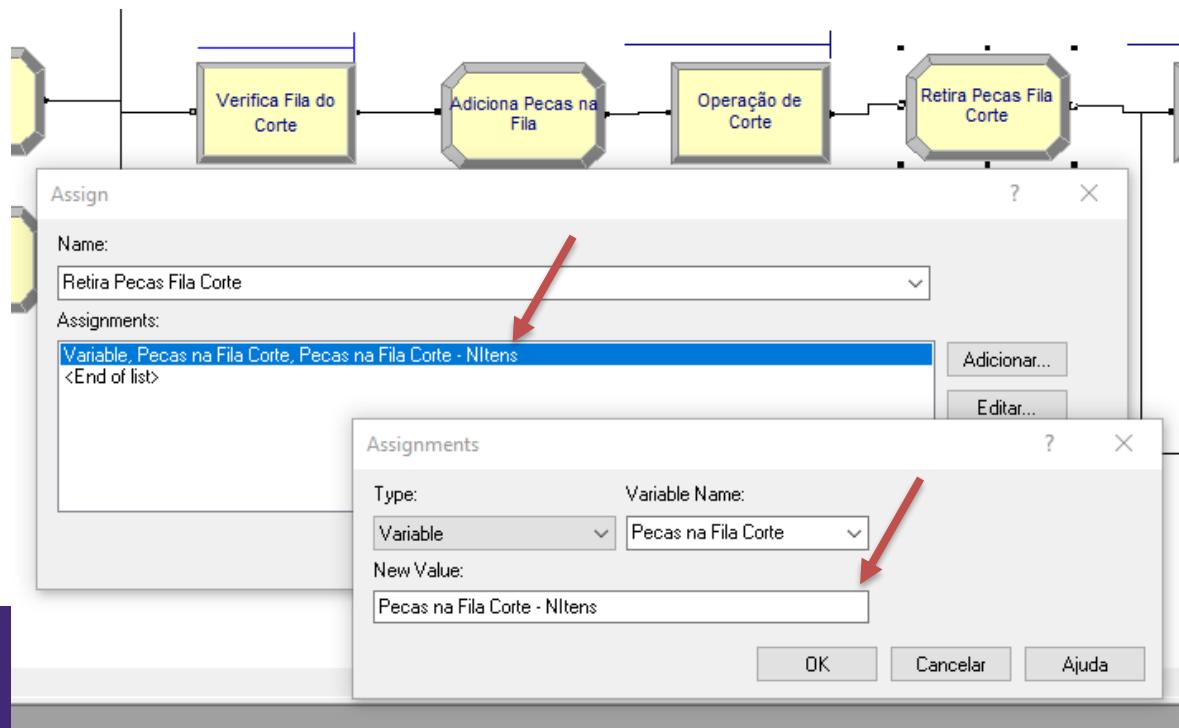
Ajustando o Tempo de Operação de Corte

- O tempo da operação de corte deve ser influenciado pelo número de itens do pedido. Por simplificação, iremos indicar que o tempo de corte será proporcional ao número de itens;
- É possível utilizar atributos das entidades nas expressões (como realizamos neste item).



Controlando o Estoque da Operação de Corte

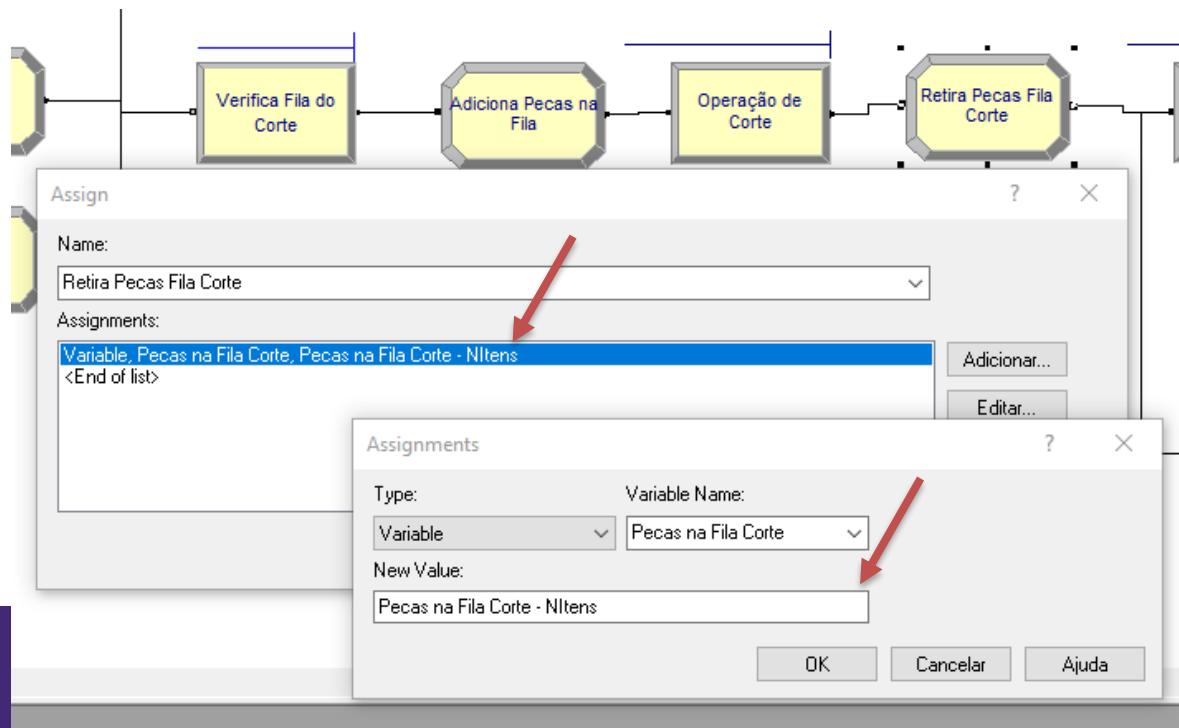
- Após a saída da peça do corte, altere a variável corretamente, retirando o número de itens da entidade da fila:



01/06/2019

Controlando o Estoque da Operação de Corte

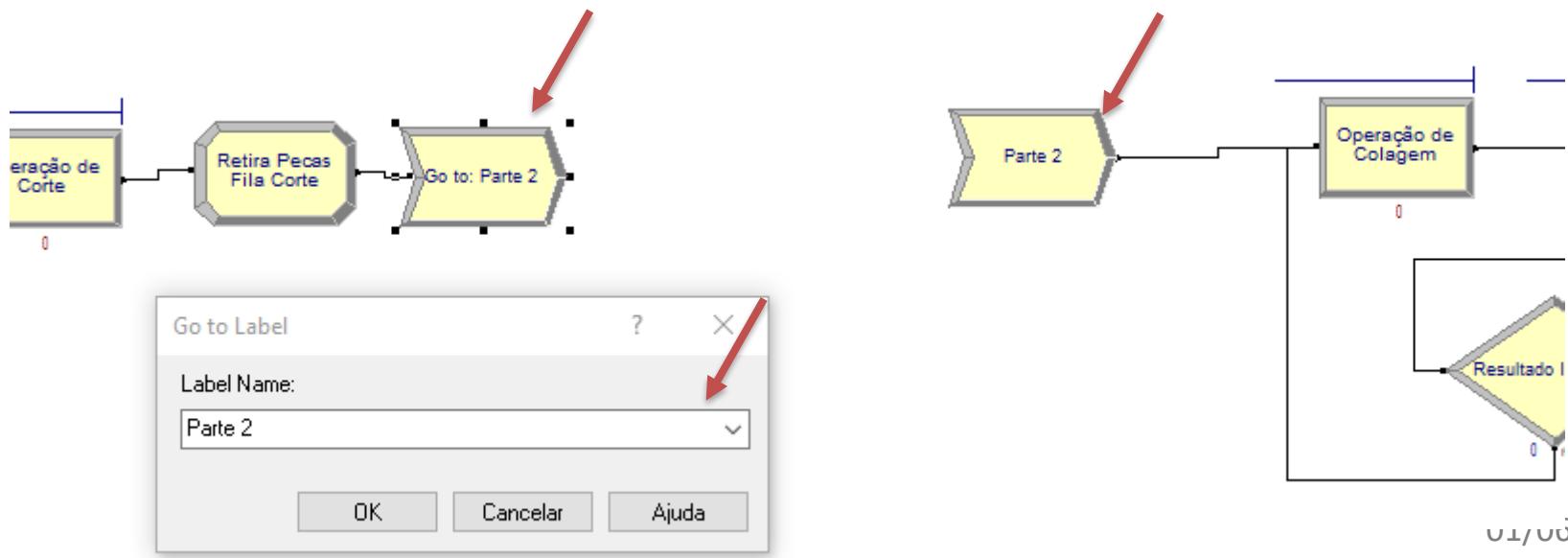
- Após a saída da peça do corte, altere a variável corretamente, retirando o número de itens da entidade da fila:



01/06/2019

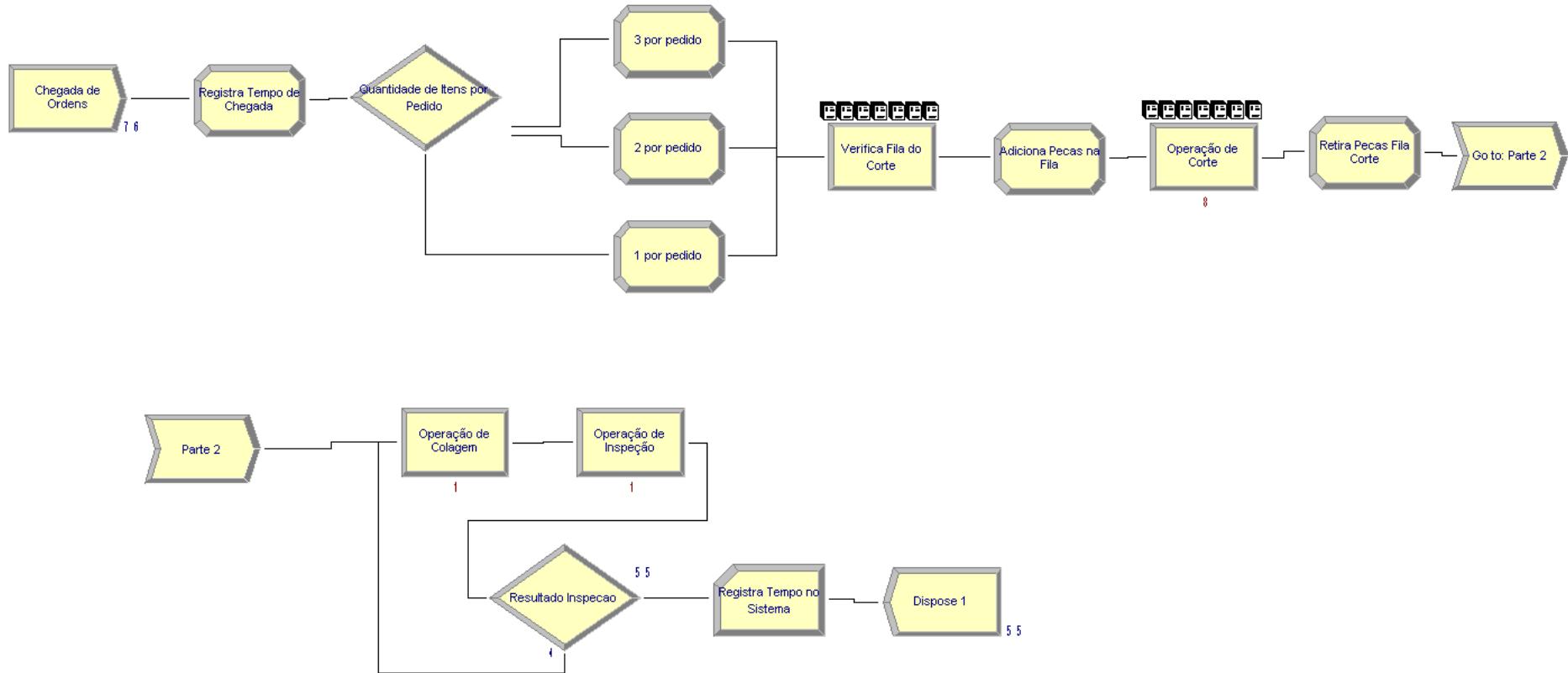
Utilizando o Módulo Label

- Os módulos “Label” e “Go to Label” permitem que a entidade seja direcionada a outro ponto do sistema (facilitando a exibição do modelo).

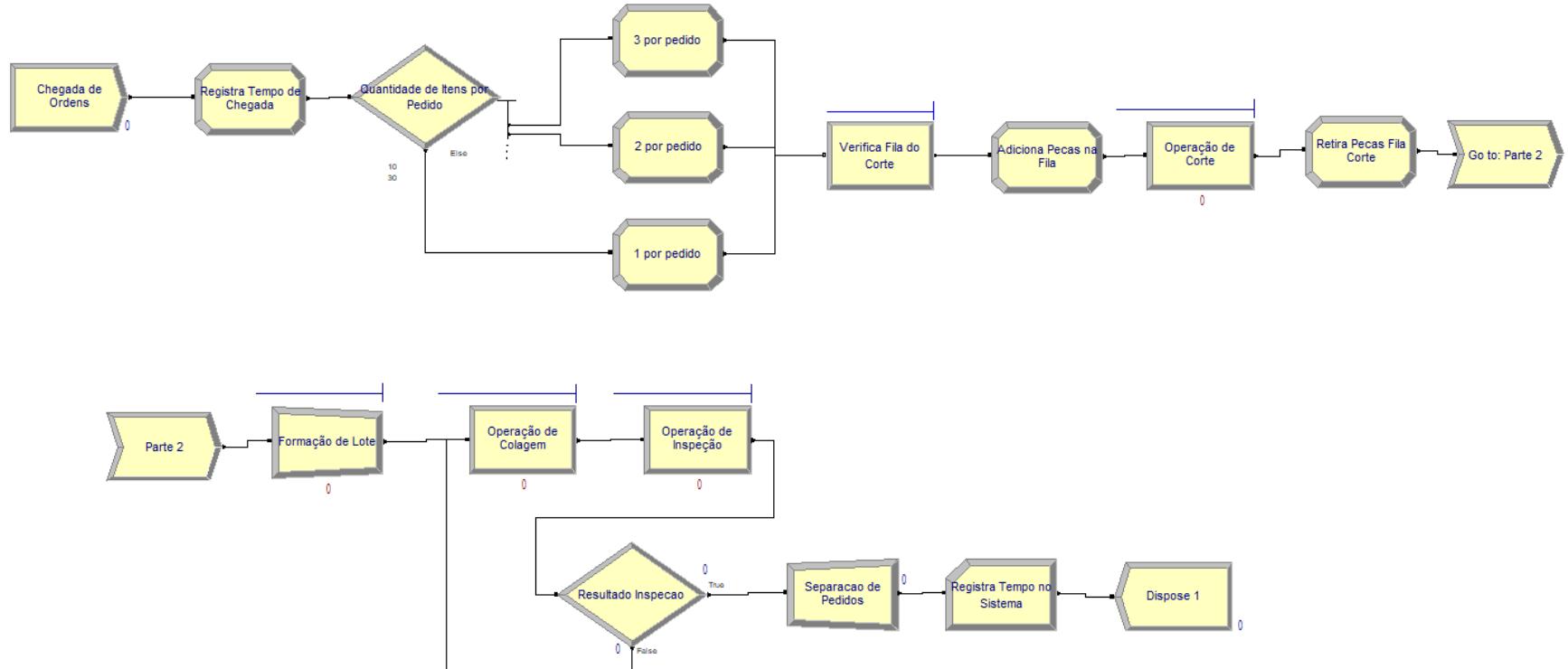


01/09/2019

Modelo Ampliado



01/06/2019



SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL

EXEMPLO 3 (AMPLIÇÃO 2)

Ampliações Necessárias

- O modelo produzido ainda não é capaz de reproduzir o tempo de travessamento observado na empresa, visto que há um lote de transferência entre a operação de corte e a operação de colagem de 20 pedidos (o processo da empresa é realizado em outro galpão), independentemente do número de itens no pedido;
- Esta decisão foi tomada na empresa visando reduzir o deslocamento entre as operações de corte e colagem.
- Qual será o impacto da formação de lotes sobre o tempo de travessamento total?
- Amplie o Modelo para considerar a formação de lotes.

04/06/2019

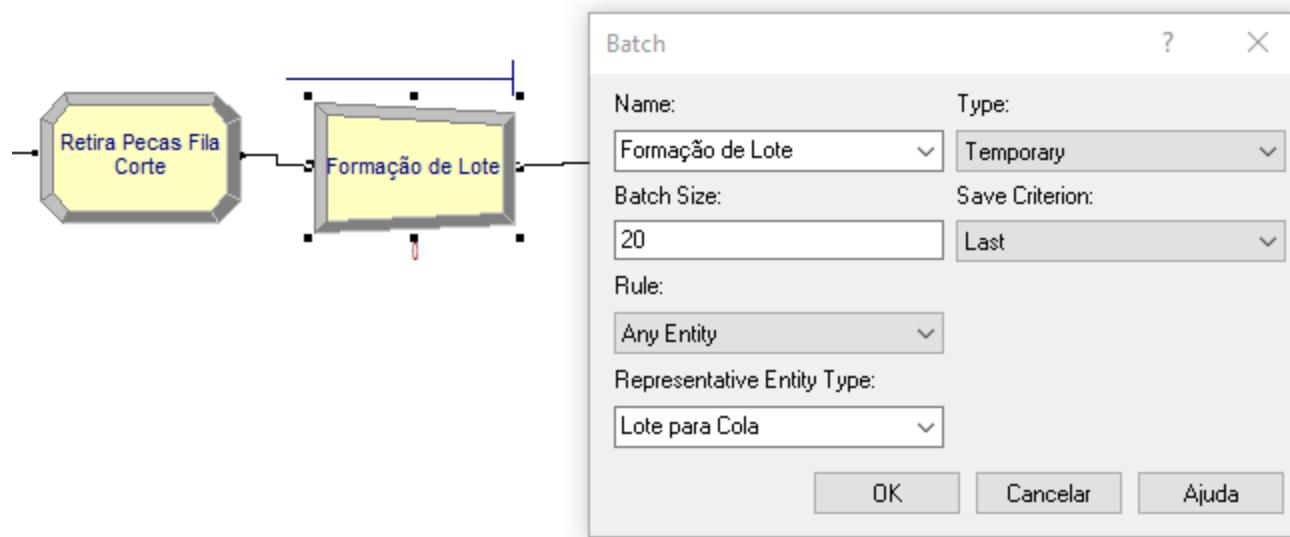
Formando Lotes de Produção Temporários

- Os pedidos devem ser agrupados em lotes de 10 pedidos.
- O tempo de transporte entre as operações de corte e colagem é desprezível e não será representado;
- A inspeção é realizada pedido a pedido. Caso o pedido seja reprovado, o mesmo não retorna à um lote, porém retorna diretamente ao processo de colagem;
- Ao fim do processo, o lote é desfeito para envio aos clientes finais.

01/06/2019

Formando Lotes de Produção Temporários

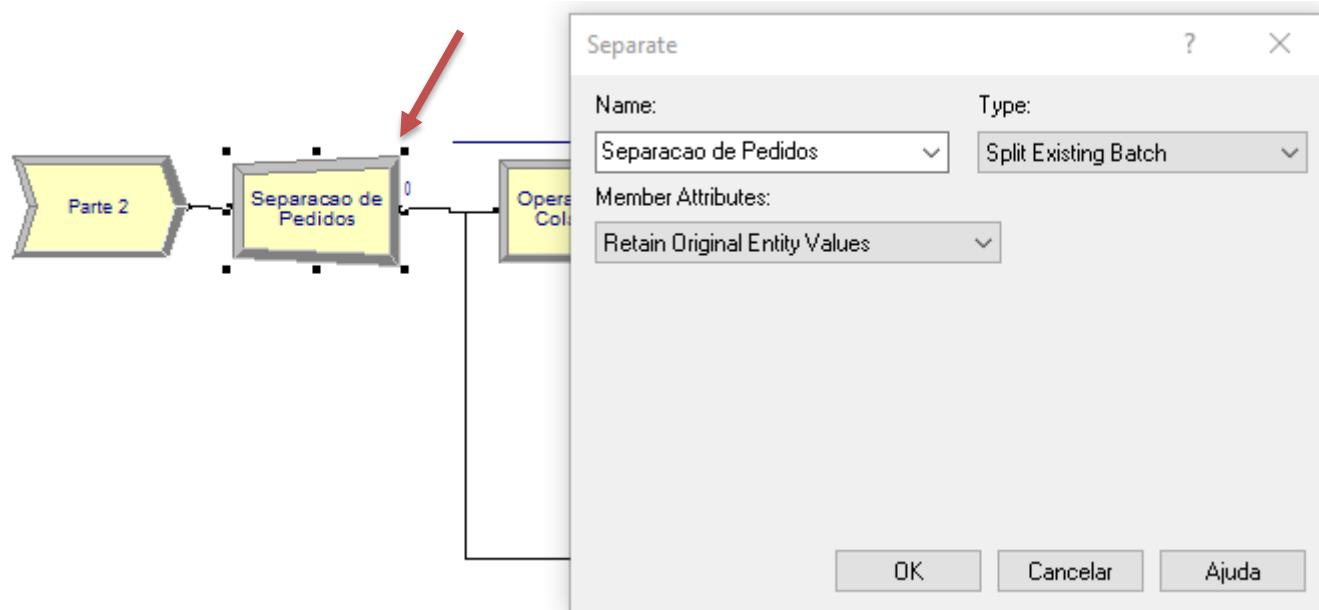
- Formando o Lote para transporte após a operação de corte (módulo batch):



01/06/2019

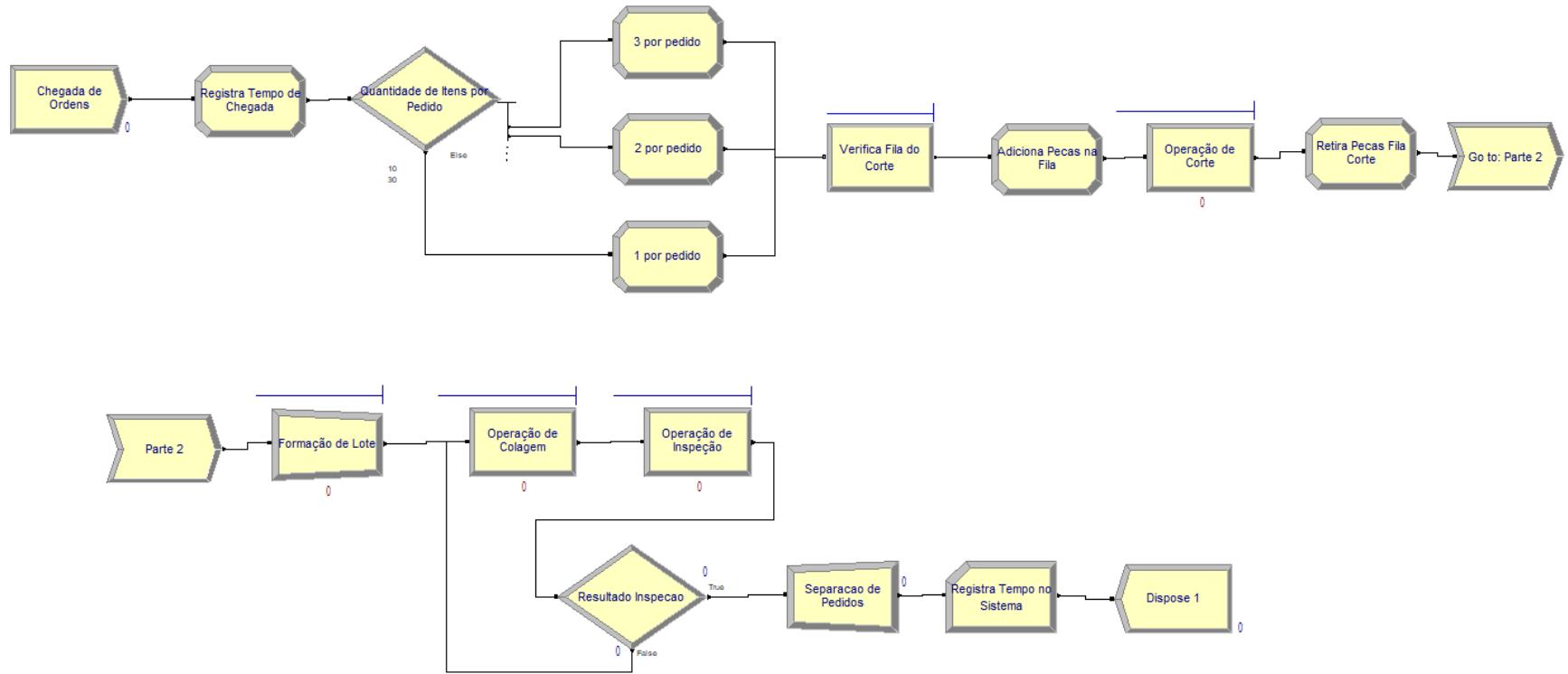
Formando Lotes de Produção Temporários

- Adicionar um módulo “Separate” para desfazer o lote antes da operação de colagem.

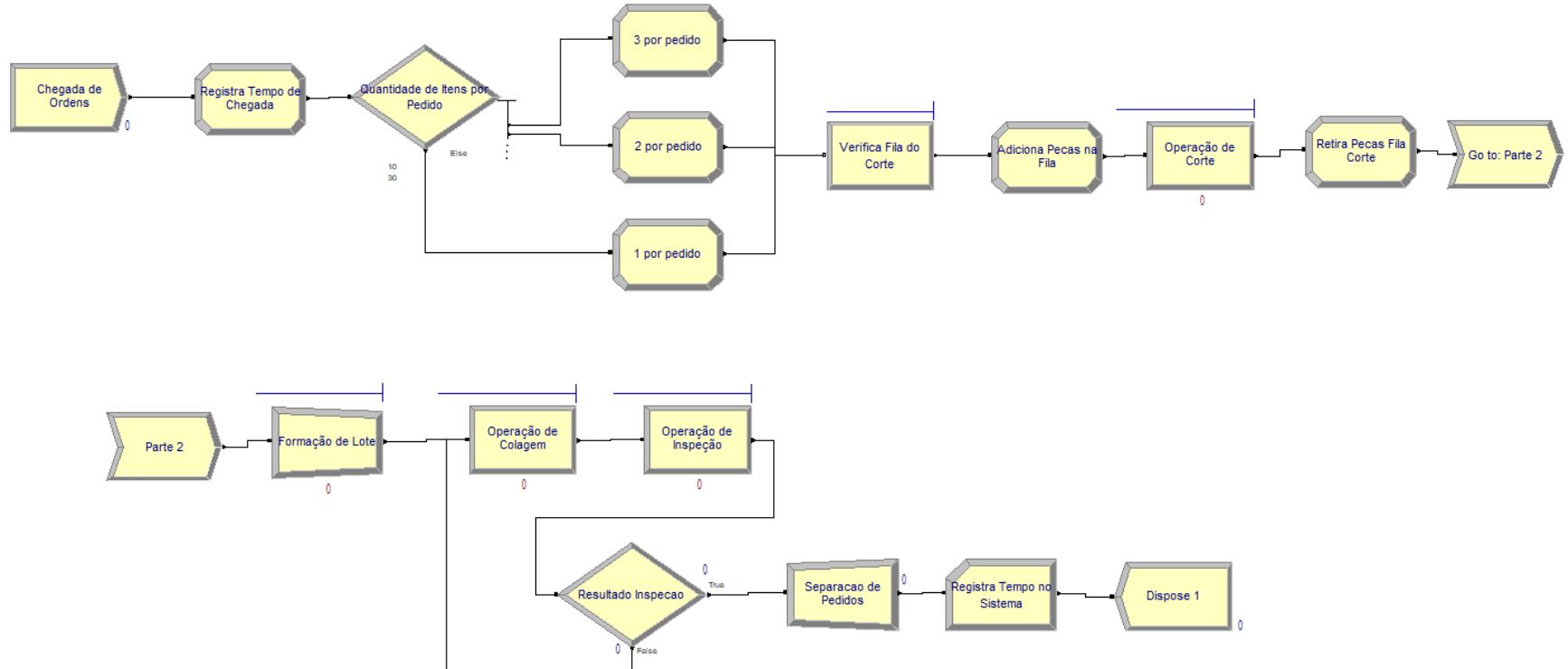


01/06/2019

Estágio Atual do Modelo



01/06/2019



SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL

EXEMPLO 3 (AMPLIÇÃO 3)

Ampliações Necessárias

- Após simular os resultados, percebe-se que a utilização dos recursos do sistema não é aderente à utilização real, visto que nem todos os recursos trabalham 24 horas por dia!
- As máquinas da empresa trabalham 24 horas por dia, porém o setor de inspeção trabalha apenas das 08h – 24h.
- É necessário ajustar a escala de trabalho destes recursos considerando sua escala real.
- Além disso, percebe-se que a empresa tende a priorizar suas filas de acordo com o tamanho do pedido (a empresa passa pedidos com maior número de itens na frente de pedidos com menores itens).

01/06/2019

Configurando os Recursos

The screenshot shows a simulation software interface with a toolbar at the top, a project bar on the left, and a main workspace. In the workspace, a process flow is shown starting with 'Chegada de Ordens' (Arrival of Orders), followed by 'Registra Tempo de Chegada' (Registers Arrival Time), then a decision diamond 'Quantidade de Itens por Pedido' (Number of Items per Order) with values 10 and 30. A resource '3 por pedido' (3 per order) is assigned to this step. The flow continues with 'Parte 2' (Part 2), 'Separacao de Pedidos' (Order Separation), 'Operação de Colagem' (Gluing Operation), and 'Operação de Inspeção' (Inspection Operation). A blue callout box points to the resource assignment in the decision diamond, containing the text: 'Certifique-se que há exatamente três recursos, cada qual vinculado à sua operação.' (Ensure there are exactly three resources, each linked to its operation.) Red arrows point from the 'Resource' icon in the project bar to the resource assignments in the process flow. At the bottom, a table titled 'Resource - Basic Process' lists three resources: 'Corte', 'Operador de Inspeção', and 'Máquina de Colagem'. The table includes columns for Name, Type, Capacity, Busy / Hour, Idle / Hour, Per Use, StateSet Name, Failures, and Report Statistics. The 'Capacity' column for 'Máquina de Colagem' is highlighted.

	Name	Type	Capacity	Busy / Hour	Idle / Hour	Per Use	StateSet Name	Failures	Report Statistics
1	Corte	Fixed Capacity	1	0.0	0.0	0.0		0 rows	<input checked="" type="checkbox"/>
2	Operador de Inspeção	Fixed Capacity	1	0.0	0.0	0.0		0 rows	<input checked="" type="checkbox"/>
3	Máquina de Colagem	Fixed Capacity	1	0.0	0.0	0.0		0 rows	<input checked="" type="checkbox"/>

01/06/2019

Definindo a Escala do Recurso

- Defina a Capacidade do Recurso de acordo com uma Escala:

The screenshot shows a simulation software interface with a toolbar on the left containing icons for Attribute, Entity, Queue, Resource, Variable, Schedule, Set, and Picture. Below the toolbar is a list of categories: Advanced Process, Statistics, Advanced Transfer, Flow Process, Packaging, and Relatórios. A red arrow points to the 'Type' column in a table titled 'Resource - Basic Process'. The table has columns for Name, Type, Capacity, Schedule Name, Schedule Rule, and Busy %. The rows define resources for 'Corte', 'Operador de Inspeção', and 'Máquina de Colagem'.

	Name	Type	Capacity	Schedule Name	Schedule Rule	Busy %
1	Corte	Fixed Capacity	1	1	Wait	0.0
2	Operador de Inspeção	Based on Schedule	Escala	Escala Operadores	Wait	0.0
3	Máquina de Colagem	Fixed Capacity	1	1	Wait	0.0

Clicar no botão aqui duas vezes para adicionar nova linha.

10 30 Else

2 por pedido

1 por pedido

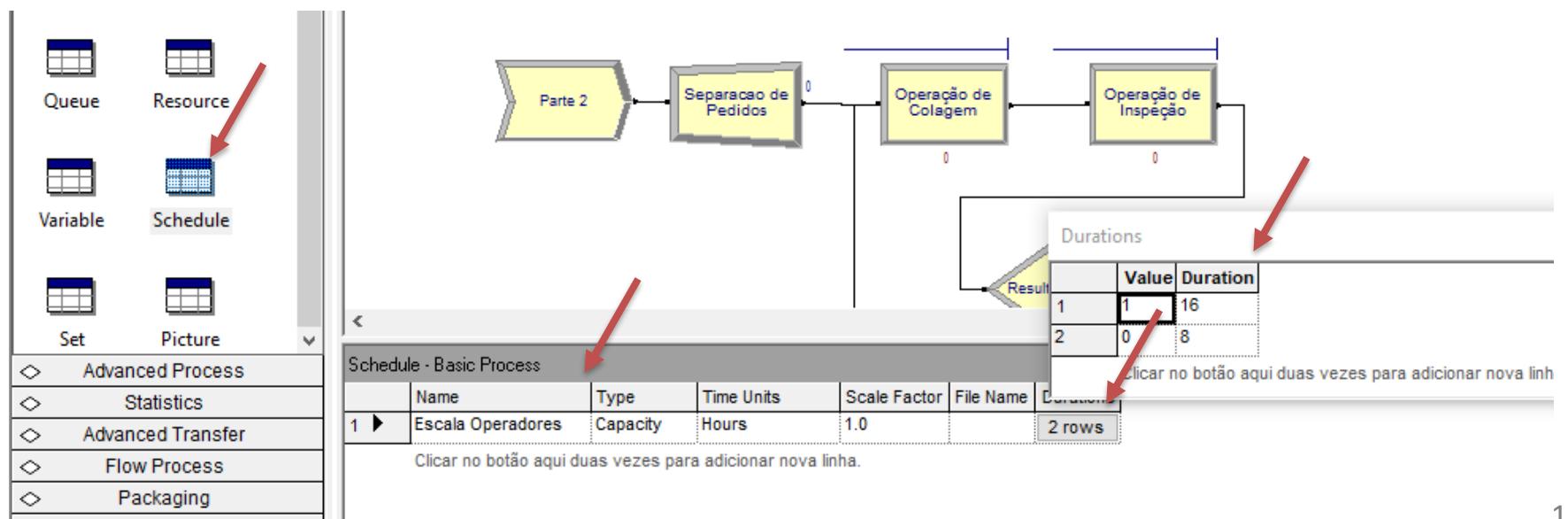
Parte 2 → Separacao de Pedidos → Operação de Colagem → Operação de Inspeção

0

06/2019

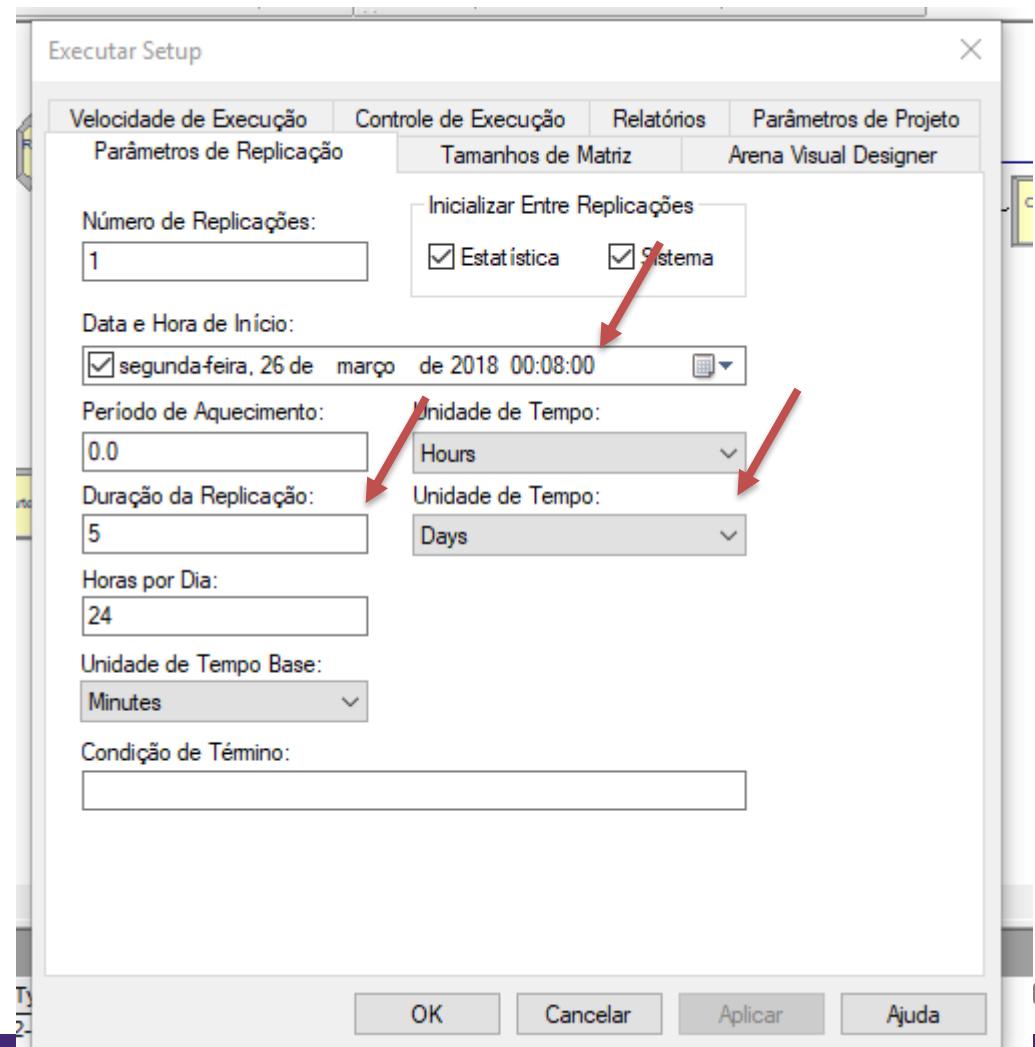
Definindo a Escala do Recurso

- Configure a escala para durar 16 horas com um recurso e 8 horas com nenhum recurso.



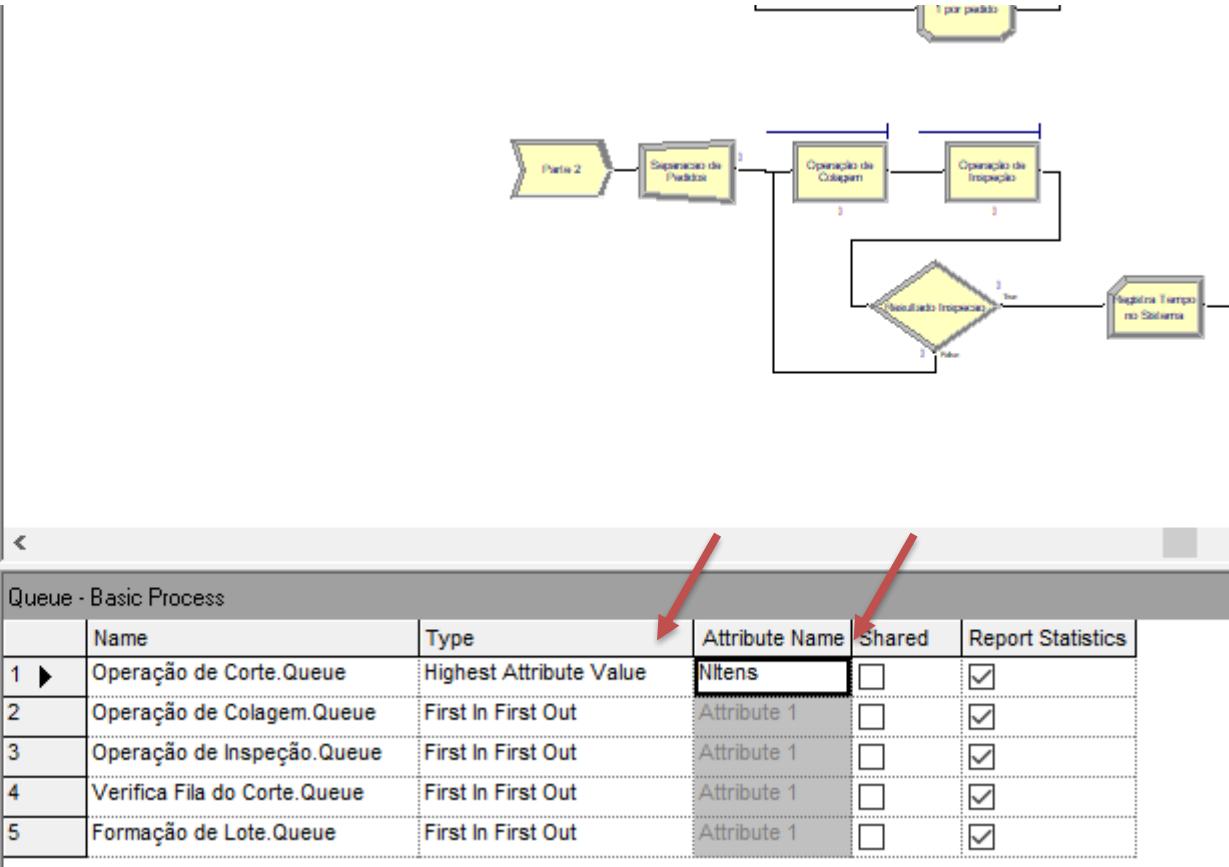
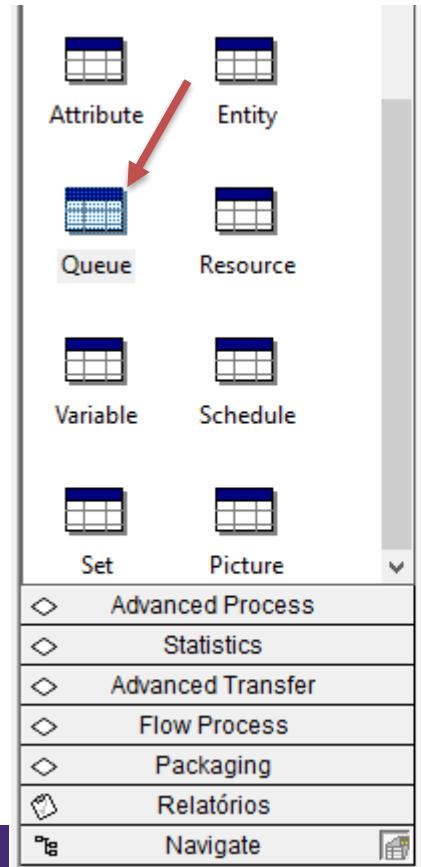
Definindo a Escala do Recurso

- Configure a Simulação para Rodar durante um período coerente com a escala dos recursos:

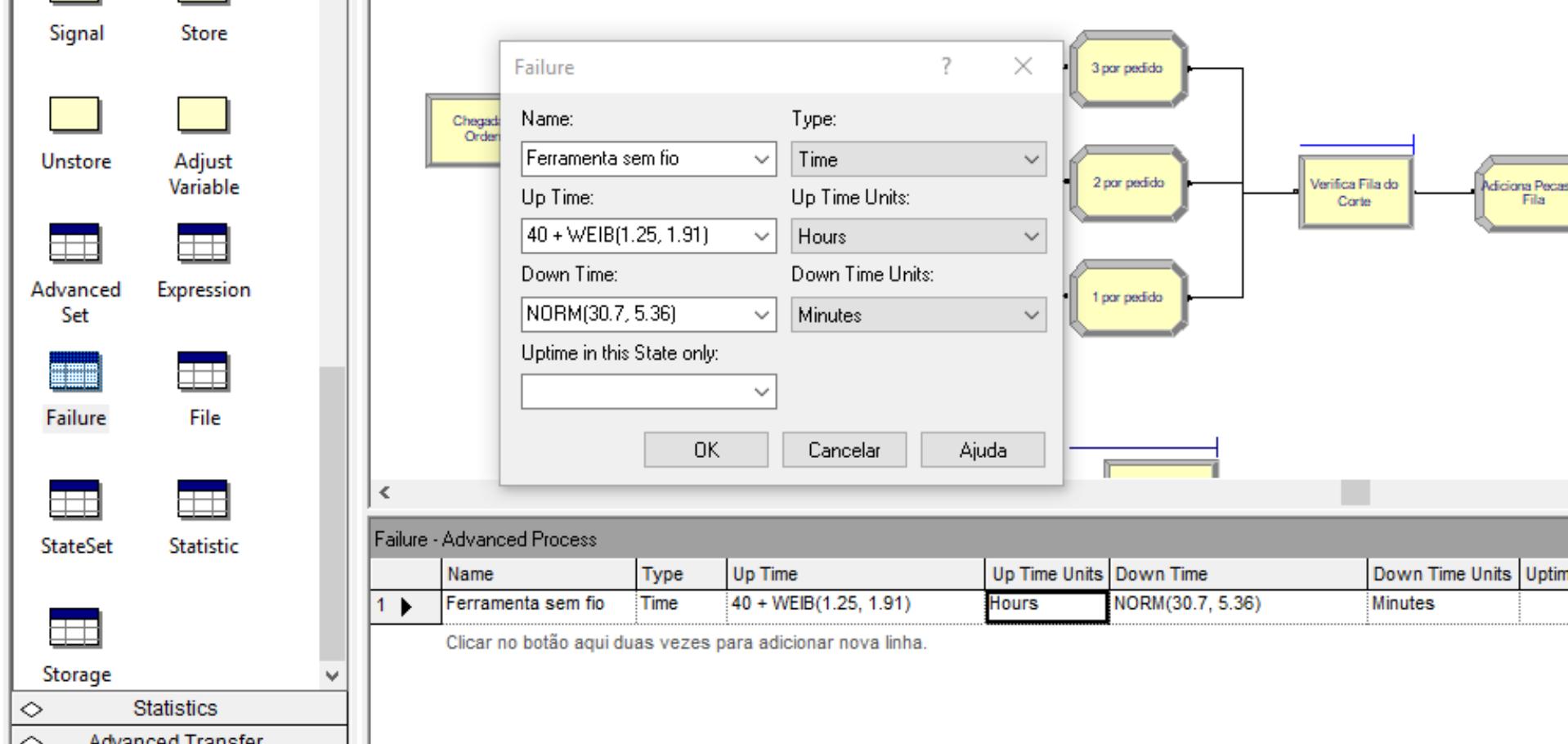


Customizando a Ordem das Filas

- Customize a ordem da fila para priorizar os itens com maior número de itens.



6/2019



SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL

EXEMPLO 3 (AMPLIÇÃO 4)

Modelando Falhas

- Após utilizar o modelo de simulação, você percebe que um fato não considerado pelo modelo são as frequentes afiações necessárias da máquina de corte;
- Para que seja possível levar falhas em consideração na simulação é necessário coletar duas informações sobre este tipo específico de falha:
 - Qual é a vida útil da ferramenta sob análise (tempo entre falhas);
 - Uma vez ocorrida a falha, quanto tempo leva para executar a troca da ferramenta).

01/06/2019

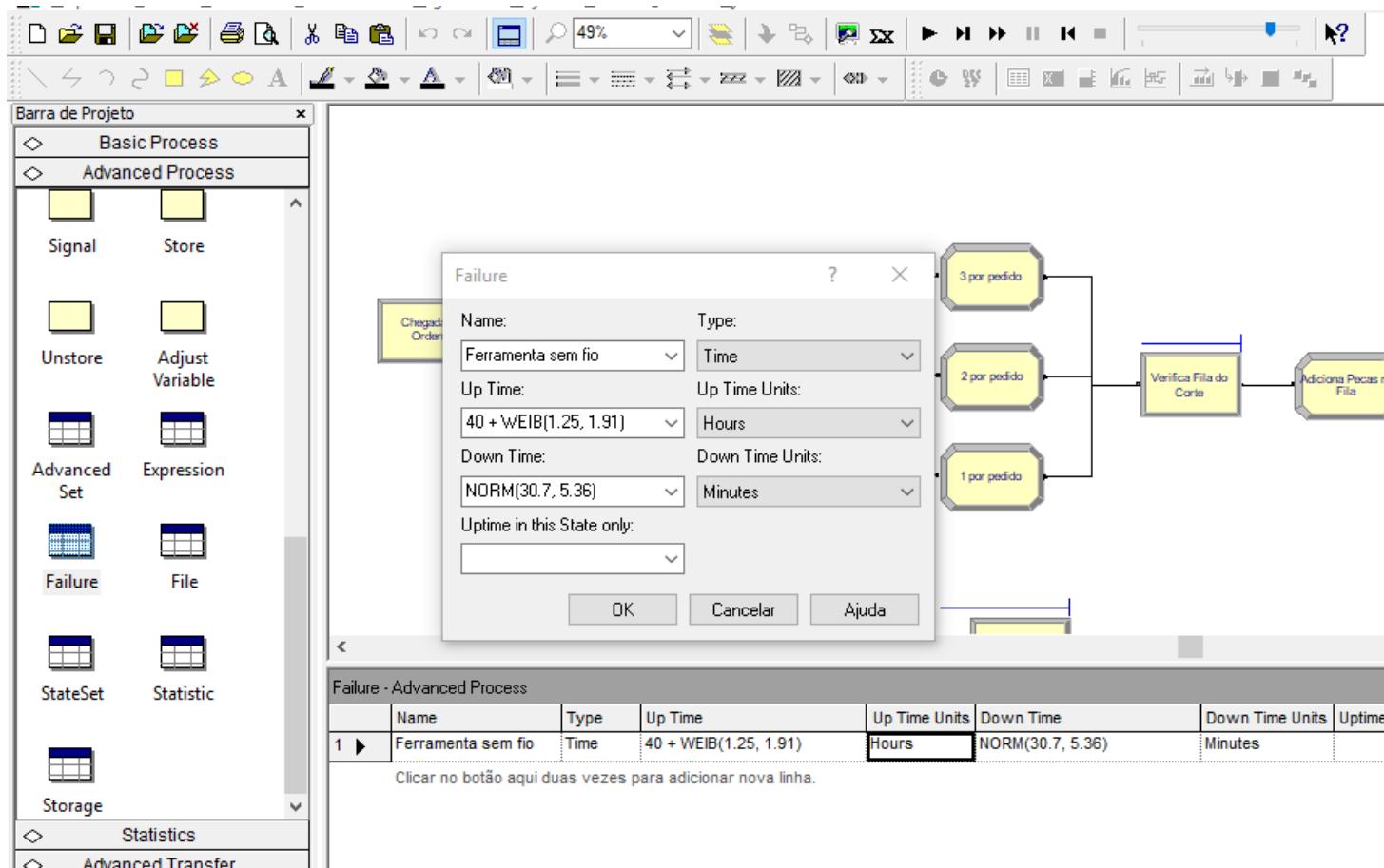
Coleta de Dados

- Considerando que deseja-se considerar a variabilidade existente no processo de falhas, opta-se por coletar os dados de tempo entre falhas (up time) e tempo para reparo (down time) **deste tipo específico de falha**;
- Realize o tratamento de dados e vincule a falha ao recurso de corte.

	A	B
1	Tempo Entre Falhas	Tempo para Reparo
2	40,2562	26,5576
3	40,6553	27,9572
4	42,0989	30,4438
5	42,2635	26,1411
6	40,6682	30,3965
7	41,2018	24,76
8	42,0814	27,0371
9	40,3613	31,3962
10	40,5257	31,2578
11	41,696	30,4916
12	41,2014	30,3208
13	41,3538	34,0911
14	40,454	29,0772
15	40,8789	37,2036
16	41,0905	29,0325
17	41,2202	26,0024

01/06/2019

Informando Falhas para o Equipamento



01/06/2019



JESUÍTAS BRASIL



SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL

EXEMPLO 4

UTILIZANDO SEQUÊNCIAS



Situações Comuns a Modelar

- Uma empresa possui “n” famílias de produtos;
- A empresa possui um conjunto de setores de produção;
- Cada uma das famílias de produtos possui características de tempos de operação distintas;
- Cada uma das famílias de produtos possuem roteiros de operação distintos;

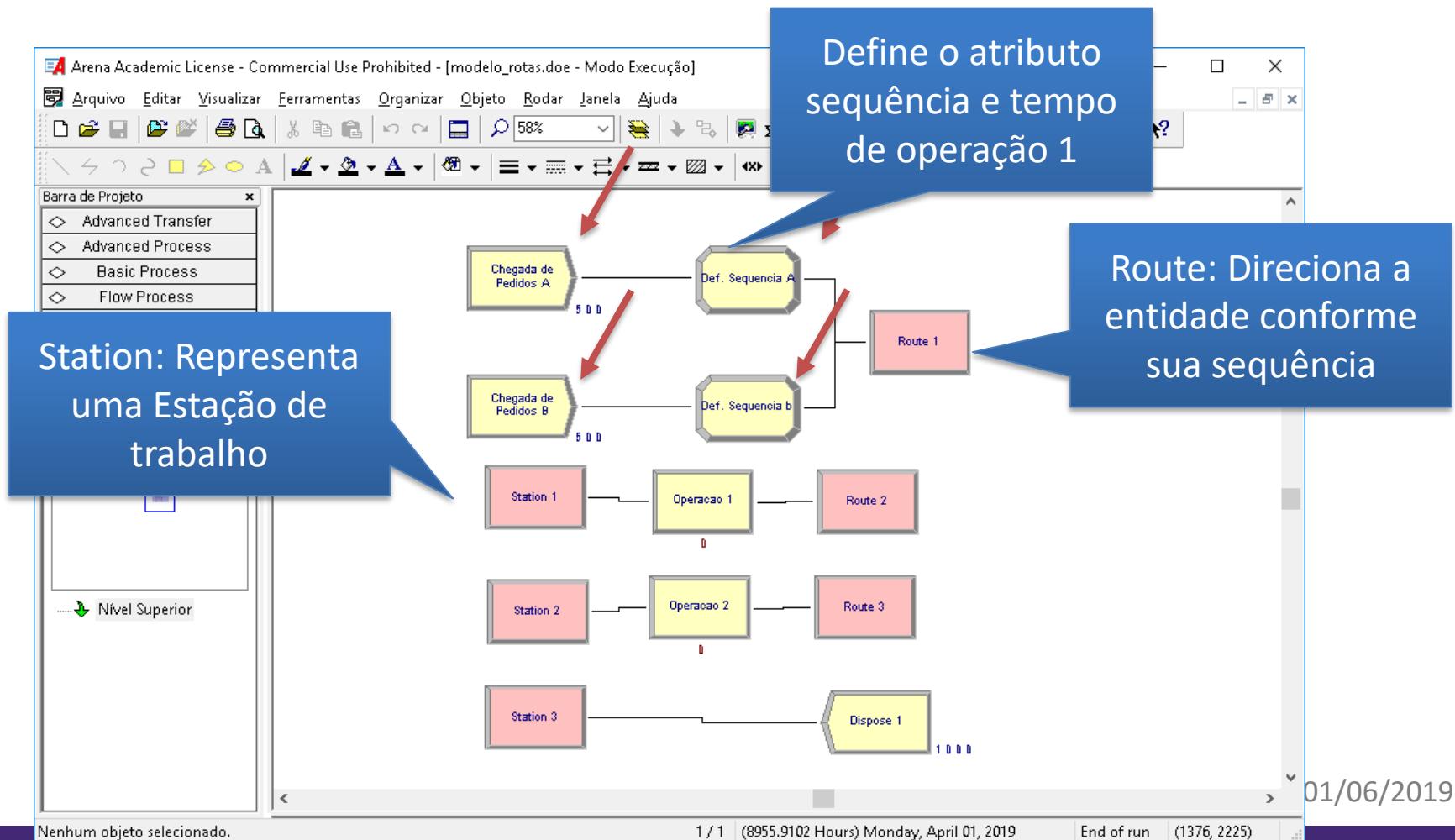
01/06/2019

Utilizando Sequências

- É possível utilizarmos roteiros (sequences) para alojar as diversas famílias de produtos para cada um dos setores automaticamente;
- Podemos armazenar os tempos de operação das entidades como atributos vinculados às entidades.

01/06/2019

Elementos do modelo



Elementos do modelo

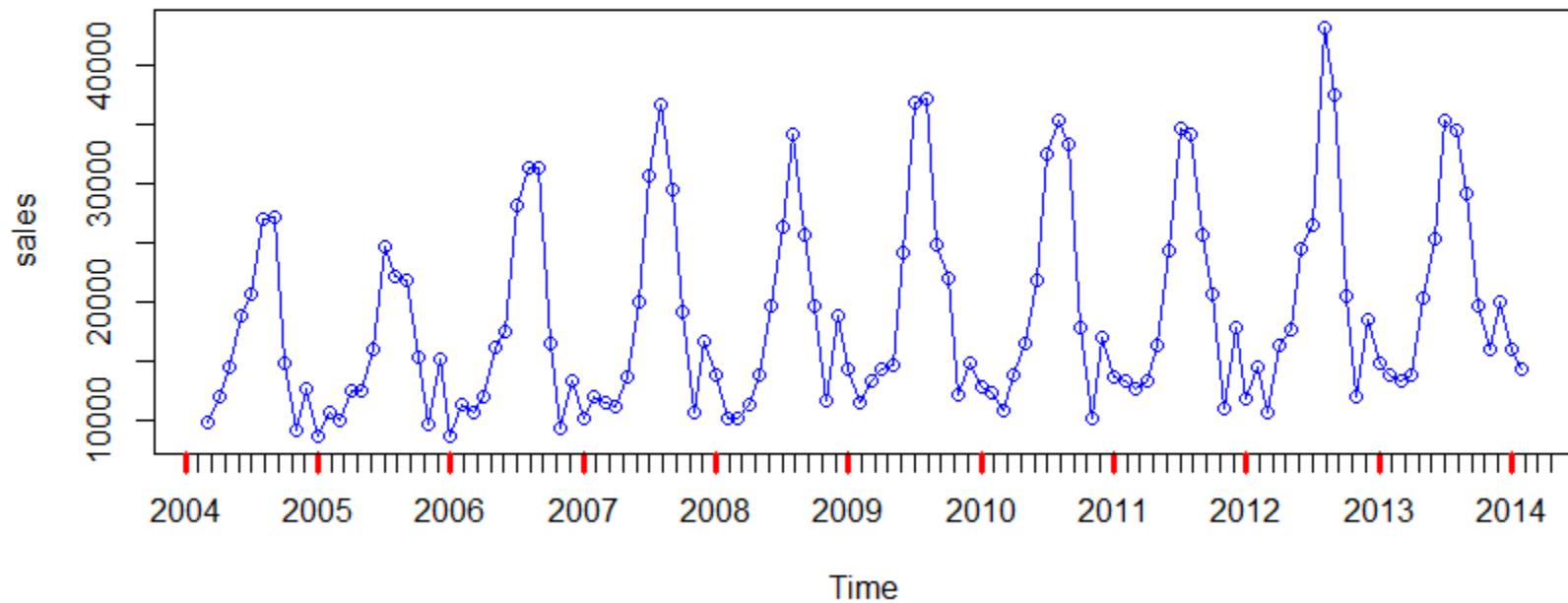
Sequence: Podemos configurar a sequência de cada família de produto

The screenshot shows a simulation software interface with a toolbar on the left containing various icons for project management and modeling. A blue callout box highlights the 'Sequence' icon in the toolbar. Below the toolbar, a central workspace displays a process flow diagram. The diagram includes a yellow octagonal node labeled 'Def. Sequencia A', a pink rectangular node labeled 'Route 1', a yellow octagonal node labeled 'Def. Sequencia b', a pink rectangular node labeled 'Route 2', a grey rectangular node labeled 'Chegada de Pedidos B', and several other nodes and connections. In the bottom right corner of the workspace, there is a table titled 'Steps' with columns for 'Station Name', 'Step Name', 'Next Step', and 'Assignments'. The table contains three rows: Row 1 has 'Station 1' in 'Station Name' and 'Passo 1' in 'Step Name'; Row 2 has 'Station 2' in 'Station Name'; Row 3 has 'Station 3' in 'Station Name'. A red arrow points from the 'Sequence' icon in the toolbar to the 'Sequence' row in the 'Steps' table. Another red arrow points from the 'Sequence' row in the 'Steps' table to the 'Sequence' row in the 'Advanced Transfer' panel of the toolbar.

	Station Name	Step Name	Next Step	Assignments
1	Station 1	Passo 1		0 rows
2	Station 2			0 rows
3	Station 3			0 rows

Clicar no botão duas vezes aqui para adicionar nova linha.

Sequence module from Advanced Transfer panel selected. (1369, 2246), 19



SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL

EXEMPLO 5 PROCESSOS DE CHEGADA NÃO-ESTACIONÁRIOS

Processos de Chegada Não-Estacionários

- Frequentemente, as chegadas de entidades do cliente não são constantes ao longo do tempo:
 - Ex.: Clientes chegam ao restaurante segundo uma taxa maior ao redor das 12h.
- Em alguns casos, pode ser impossível validar um modelo caso o mesmo não considere este fato.

01/06/2019

Processos de Chegada Não-Estacionários

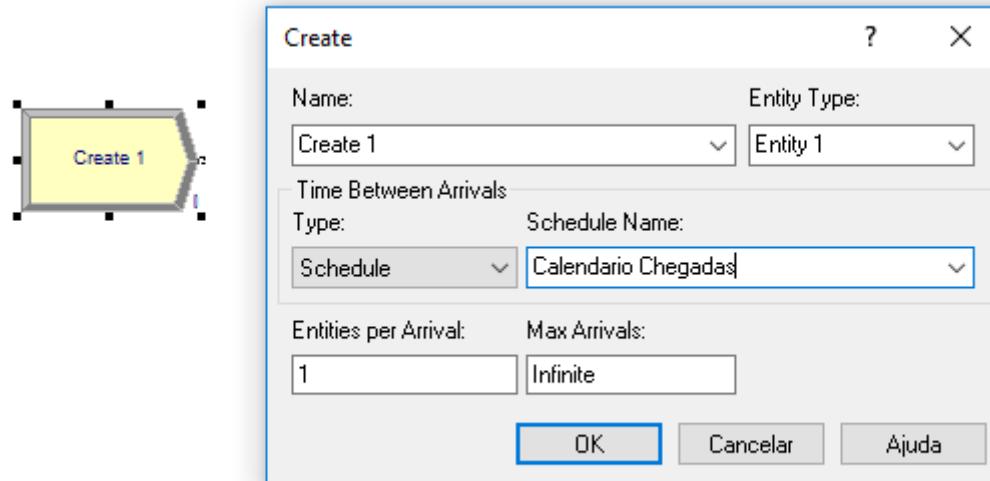
- No Arena, há uma função de Calendário de chegadas que permite modelar esta situação:
 - Criar uma chegada no sistema;
 - Definir a chegada como regida por um schedule, e definir o schedule dividindo o tempo da simulação em períodos conforme o desejado.
 - O Arena irá considerar que as chegadas daquele processo são especificadas por uma distribuição exponencial com uma taxa de chegadas **horária de acordo com o valor informado**.

01/06/2019

Processos de Chegada Não Estacionários

Exemplo

- Criar a chegada no Sistema com o tipo “Schedule”:



01/06/2019

Processos de Chegada Não Estacionários

Exemplo

- Observar na tabela “Schedule” o novo calendário do tipo “Arrival” criado.
- Time Units: Se refere à unidade segundo a qual o **tempo do calendário** é dividido.
- A taxa de chegadas deve ser definida na unidade (chegadas / hora).

	Name	Type	Time Units	Scale Factor	File Name	Durations
1 ►	Calendario Chegadas	Arrival	Hours	1.0		0 rows

Clicar no botão aqui duas vezes para adicionar nova linha.

01/06/2019

Processos de Chegada Não Estacionários

Exemplo

- Observar na tabela “Schedule” o novo calendário do tipo “Arrival” criado.
- Time Units: Se refere à unidade segundo a qual o **tempo do calendário** é dividido.
- A taxa de chegadas deve ser definida na unidade (chegadas / hora).
- A informação a ser dada **não** é o número total de itens a gerar em uma hora, nem é o tempo médio entre chegadas.

The screenshot shows a software interface for process modeling. On the left, there is a vertical toolbar with icons for various objects: Attribute, Entity, Queue, Resource, Variable, Schedule, Set, Picture, and Flow Process. The 'Schedule' icon is highlighted. To the right of the toolbar is a large table titled 'Schedule - Basic Process'. The table has columns for Row Number, Name, Type, Time Units, Scale Factor, File Name, and Durations. One row is visible, showing '1 ► Calendario Chegadas' in the Name column, 'Arrival' in the Type column, 'Hours' in the Time Units column, and '1.0' in the Scale Factor column. The 'Durations' column shows '0 rows'. Below the table, a tooltip says 'Clicar no botão aqui duas vezes para adicionar nova linha.' (Click here twice to add a new row.)

	Name	Type	Time Units	Scale Factor	File Name	Durations
1 ►	Calendario Chegadas	Arrival	Hours	1.0		0 rows

01/06/2019

Processos de Chegada Não Estacionários

Exemplo

- No Exemplo Abaixo:
 - Na primeira hora de simulação (Duration = 1) o sistema terá 30 chegadas / hora. Nas duas horas seguintes, o sistema terá 20 chegadas por hora.
 - O Arena irá repetir este calendário até o fim da simulação.
- Dica: teste o calendário de chegadas antes de integrá-lo ao seu modelo para verificar o número de chegadas.

The screenshot shows the AnyLogic software interface. On the left, there is a table titled "Schedule - Basic Process" with columns: Name, Type, Time Units, Scale Factor, File Name, and Durations. A row is selected with the name "Calendario Chegadas", type "Arrival", time units "Hours", scale factor "1.0", and the "Durations" column containing "2 rows". Below the table, a note says "Clicar no botão aqui duas vezes para adicionar nova linha." (Click here twice to add a new line.)

On the right, a modal dialog box is open with the title "Durations". It contains a table with three columns: Value, Duration, and a third column which is partially visible. Two rows are present: Row 1 has Value 30 and Duration 1; Row 2 has Value 20 and Duration 2. Below the table, another note says "Clicar no botão aqui duas vezes para adicionar nova linha." (Click here twice to add a new line.)

01/06/2019

The screenshot shows a Microsoft Excel interface with several windows open:

- Gerenciador de Nomes** (Name Manager): Shows three defined names: `idProduto`, `Quantidade`, and `TempoCicloA`. `idProduto` refers to `=Ordens!B2:B5`, `Quantidade` refers to `=B2:B5`, and `TempoCicloA` refers to `=B2:B5`.
- Fórmulas** ribbon tab is selected.
- Biblioteca de Funções** (Function Library) is open, showing the `NORM(10,2)` function.
- DadosEntrada - Recordsets** dialog box is open, listing recordsets in the file:

Recordset Name	Named Range
Produtos_TempoCiclo	TempoCicloA
Ordem_Produto	idProduto
Ordem_Quantidade	Quantidade

 The `TempoCicloA` recordset is selected in the list.

The main worksheet area displays a table with columns `A` through `E`. Column `A` contains the header `roduto` and rows 1 to 13 contain data points such as `NORM(10,2)`, `NORM(15,2)`, etc.

FERRAMENTAS INTERMEDIÁRIAS / AVANÇADAS: LEITURA DE DADOS DO EXCEL

Trabalhando com o Excel e Variáveis

- Para ler dados do Excel iremos fazer com que a informação flua o seguinte caminho:
 1. Excel: Criar um Named Range (Criado pelo Gerenciador de Nomes) para o intervalo de dados a ser lido (deve conter apenas os dados a ser lido, e nenhuma célula em branco);
 2. Arena: Criar um Arquivo de Dados de Entrada no Arena (Advanced Process > File);
 3. Arena: No registro do Arquivo, criar um “RecordSet”, vinculado ao Named Range Criado no Excel;
 4. Criar uma Variável **exatamente com o mesmo número de colunas, linhas e tipo de dados que o atributo possuía.**
 5. Utilizar a variável dentro do simulador.

01/06/2019

Exemplo - Trabalhando com Dados do Excel

- Sua empresa trabalha por **ordens de produção**, de modo que cada um dos produtos possui tempos de ciclos diferentes entre si;
- Cada uma das Ordens possui uma **quantidade a produzir** definida na própria planilha.
- Você deseja modelar o sistema de modo que cada entidade simulada tenha atributos definidos em um arquivo de dados de entrada.

01/06/2019

Dados de Entrada – Ordens e Produtos

	A	B	C	D
1	idOrdem	idProduto	Quantidade	
2		1,00	100	
3		2,00	200	
4		3,00	300	
5		4,00	100	
6		5,00	200	
7		6,00	300	
8		7,00	100	
9		8,00	200	
10		9,00	300	
11		10,00	100	
12		11,00	100	
13		12,00	200	
14		13,00	300	
15		14,00	100	
16		15,00	200	
17		16,00	300	

	A	B
1	idProduto	TempoDeCiclo
2		1 NORM(10,2)
3		2 NORM(15,2)
4		3 TRIA(10,12,15)
5		4 NORM(10,2)
6		5 NORM(15,2)
7		6 TRIA(10,12,15)
8		7 NORM(10,2)
9		8 NORM(15,2)
10		9 TRIA(10,12,15)
11		10 NORM(10,2)
12		11 NORM(15,2)
13		12 TRIA(10,12,15)
14		13 NORM(10,2)
15		14 NORM(15,2)

01/06/2019

Arquivo de Dados de Entrada e RecordSets

The screenshot shows the 'File' connection selected in the 'File' tab of the 'File - Advanced Process' dialog. A red arrow points from the 'File' icon in the toolbar to the 'File' tab. Another red arrow points to the preview pane at the bottom right of the dialog.

Name	Access Type	Operating System File Name	End of File Action	Initialize Option	Recordsets
DadosEntrada	Microsoft Excel 2007 (*.xlsx)	C:\Users\Pedro Lima\Desktop\modelo-exemplo-carlos\DadosEntrada.xlsx	Dispose	Hold	3 rows

Double-click here to add a new row.

01/06/2019

Criando Nomes no Excel

- Selecionar o range de valores a importar para o Arena e clicar em “Definir Nome”

The screenshot shows a Microsoft Excel spreadsheet titled "DadosEntrada.xlsx - Excel". The ribbon menu is visible at the top, with the "Fórmulas" tab selected. In the formula bar, the function "NORM(10,2)" is entered. The main area displays a table with columns A and B. Column A contains row numbers from 1 to 13. Column B contains formulas: row 1: NORM(10,2); row 2: NORM(15,2); row 3: TRIA(10,12,15); row 4: NORM(10,2); row 5: NORM(15,2); row 6: TRIA(10,12,15); row 7: NORM(10,2); row 8: NORM(15,2); row 9: TRIA(10,12,15); row 10: NORM(10,2); row 11: NORM(15,2); row 12: TRIA(10,12,15); row 13: NORM(10,2). A context menu is open over the first row of the table, specifically over the cell containing "TempoDeCiclo". The menu path "Definir Nome" is highlighted. A sub-menu titled "Definir Nome" is displayed, with the instruction "Defina e aplique nomes." (Define and apply names.)

A	B
roduto	TempoDeCiclo
1	NORM(10,2)
2	NORM(15,2)
3	TRIA(10,12,15)
4	NORM(10,2)
5	NORM(15,2)
6	TRIA(10,12,15)
7	NORM(10,2)
8	NORM(15,2)
9	TRIA(10,12,15)
10	NORM(10,2)
11	NORM(15,2)
12	TRIA(10,12,15)
13	NORM(10,2)

01/06/2019

Arquivo de Dados de Entrada e RecordSets

- Cada Nome de Intervalos no Excel corresponde à um RecordSet:

The image displays two windows side-by-side. On the left is the 'Gerenciador de Nomes' (Name Manager) from Microsoft Excel, showing three named ranges: 'idProduto', 'Quantidade', and 'TempoCicloA'. Each range has a formula listed under 'Valor' (Value). On the right is a 'DadosEntrada - Recordsets' dialog box, which lists three recordsets: 'Produtos_TempoCiclo', 'Ordem_Produto', and 'Ordem_Quantidade'. Each recordset is associated with a named range: 'TempoCicloA', 'idProduto', and 'Quantidade' respectively. A dropdown menu on the right shows the same three named ranges. The bottom right of the dialog box contains standard buttons: 'Add/Update', 'Delete', 'View...', 'OK', 'Cancel', and 'Help'.

Nome	Valor	Refere-se a	Escopo	Comentário
idProduto	{“1,00”; “2,00”; “3,00”}	=Ordens!\$B\$2:\$B\$5	Pasta de...	
Quantidade	{“100”; “200”; “300”}	=Ordens!\$C\$2:\$C\$5	Pasta de...	
TempoCicloA	{“NORM(10,2)”}; “NO...”	=Produtos!\$B\$2:\$B	Pasta de...	

Recordset Name	Named Range
Produtos_TempoCiclo	TempoCicloA
Ordem_Produto	idProduto
Ordem_Quantidade	Quantidade

DadosEntrada - Recordsets

Recordsets in file:

Recordset Name: Produtos_TempoCiclo

Named Range: TempoCicloA

Add/Update Delete View... OK Cancel Help

01/07/2017

Configurar Variáveis no Arena

- O número de linhas e colunas das variáveis deve corresponder **exatamente** aos dados no Excel;
- O tipo de dados (Data Type) deve corresponder exatamente ao que se encontra no Excel;
- Não podem haver dados em branco no momento da leitura.

Variable - Basic Process										
	Name	Rows	Columns	Data Type	Clear Option	File Name	Recordset	File Read Time	Initial Values	Report Statistics
1	vOrdem_Produto	100	1	Real	System	DadosEntrada	Ordem_Produto	BeginReplication	0 rows	<input type="checkbox"/>
2	vOrdem_Quantidade	100	1	Real	System	DadosEntrada	Ordem_Quantidade	BeginReplication	0 rows	<input type="checkbox"/>
3	vProduto_TempoDeCiclo	50	1	String	System	DadosEntrada	Produtos_TempoCiclo	BeginReplication	0 rows	<input type="checkbox"/>
4	vNumeroOrdem			Real	System			BeginReplication	4 rows	<input type="checkbox"/>

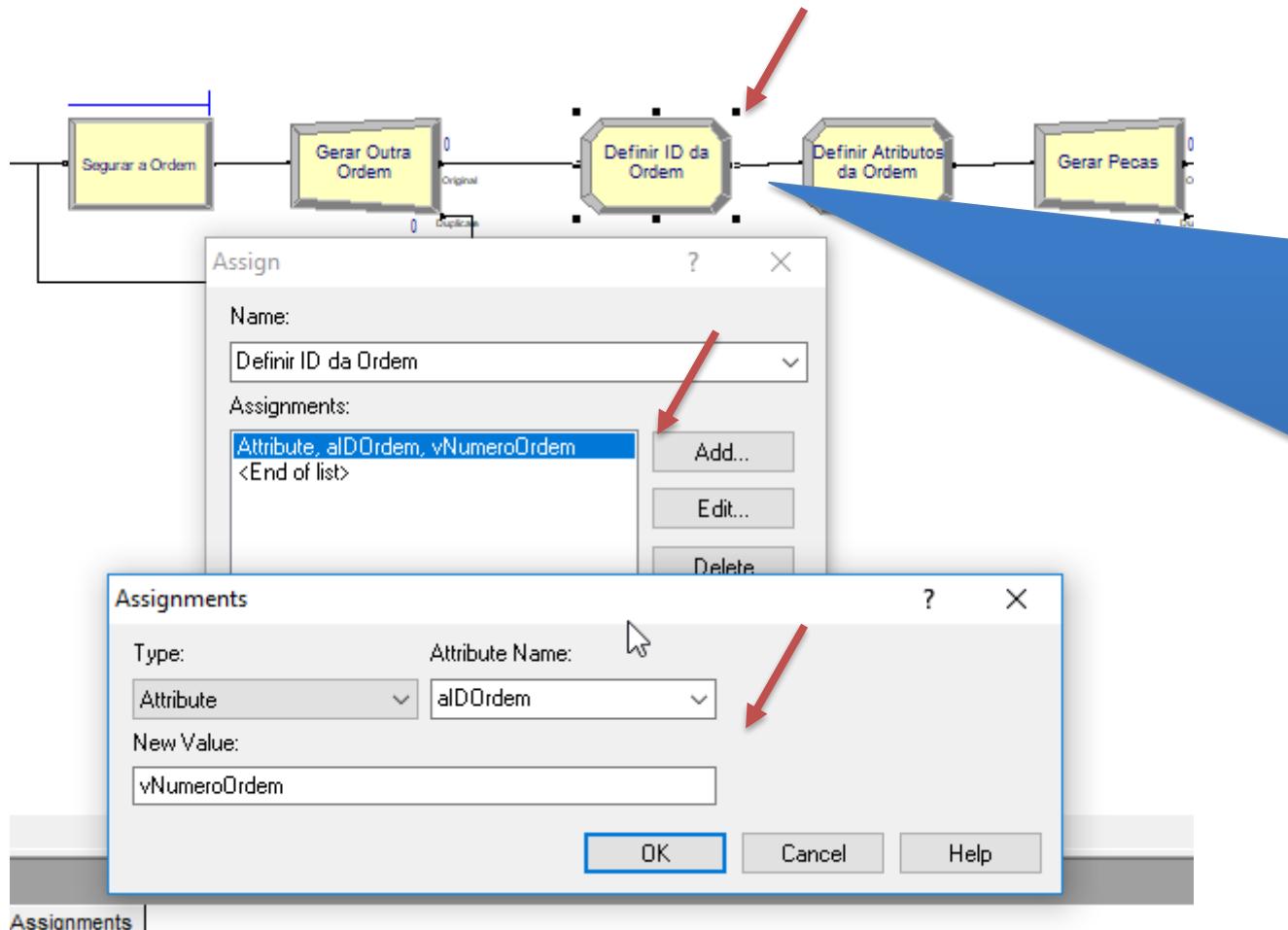
01/06/2019

Utilizando as Variáveis no Arena

- Variáveis de com mais de uma dimensão são acessadas desta maneira:
- NOME_VARIAVEL(LINHA, COLUNA).
- Exemplo: vOrdem_Produto(aIDOrdem, 1) : Seleccione o Número do produto do número da Ordem que está armazenado no atributo aIDOrdem.

01/06/2019

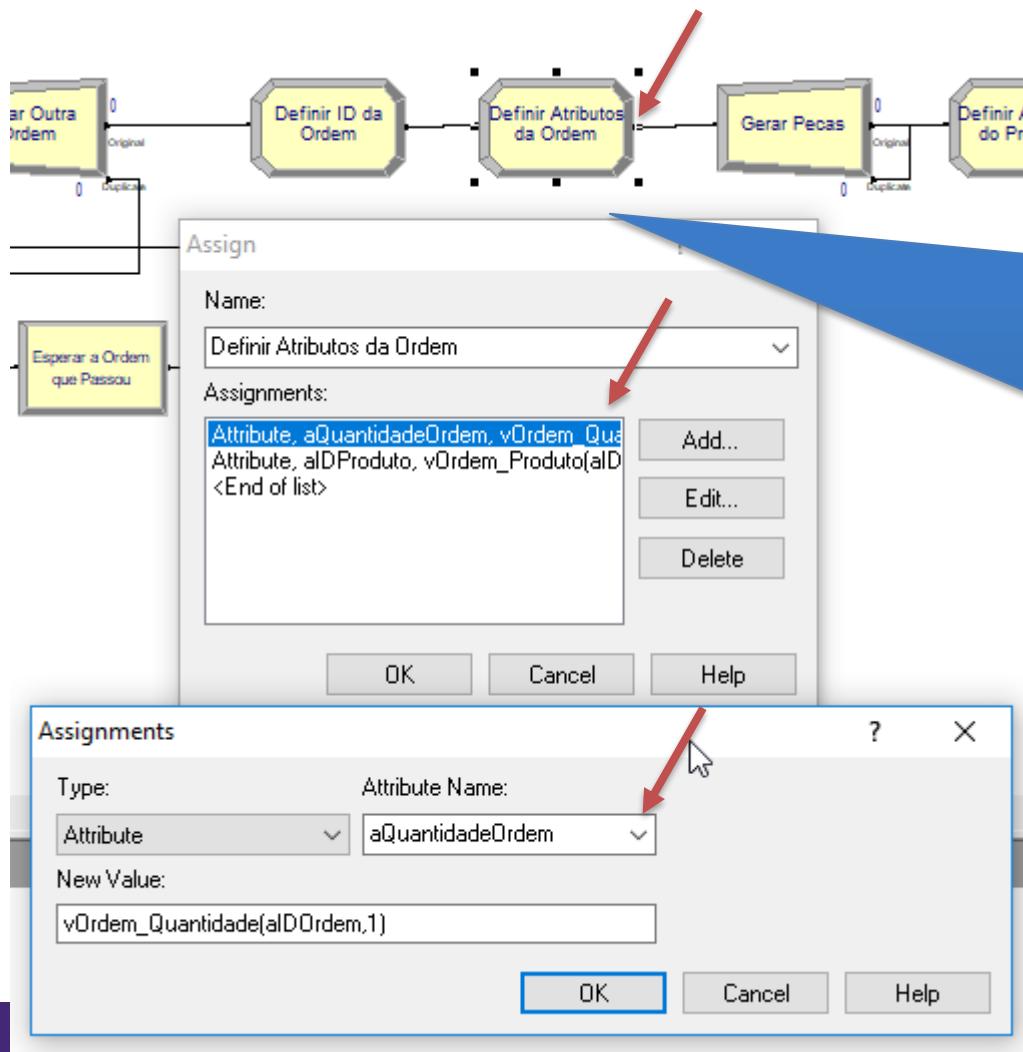
Definindo os Atributos no Arena



Neste bloco, definimos que o **atributo** alDOrdem será definido para cada uma das ordens. Também pode ser utilizado o número serial da entidade.
Entity 1.Serial Number

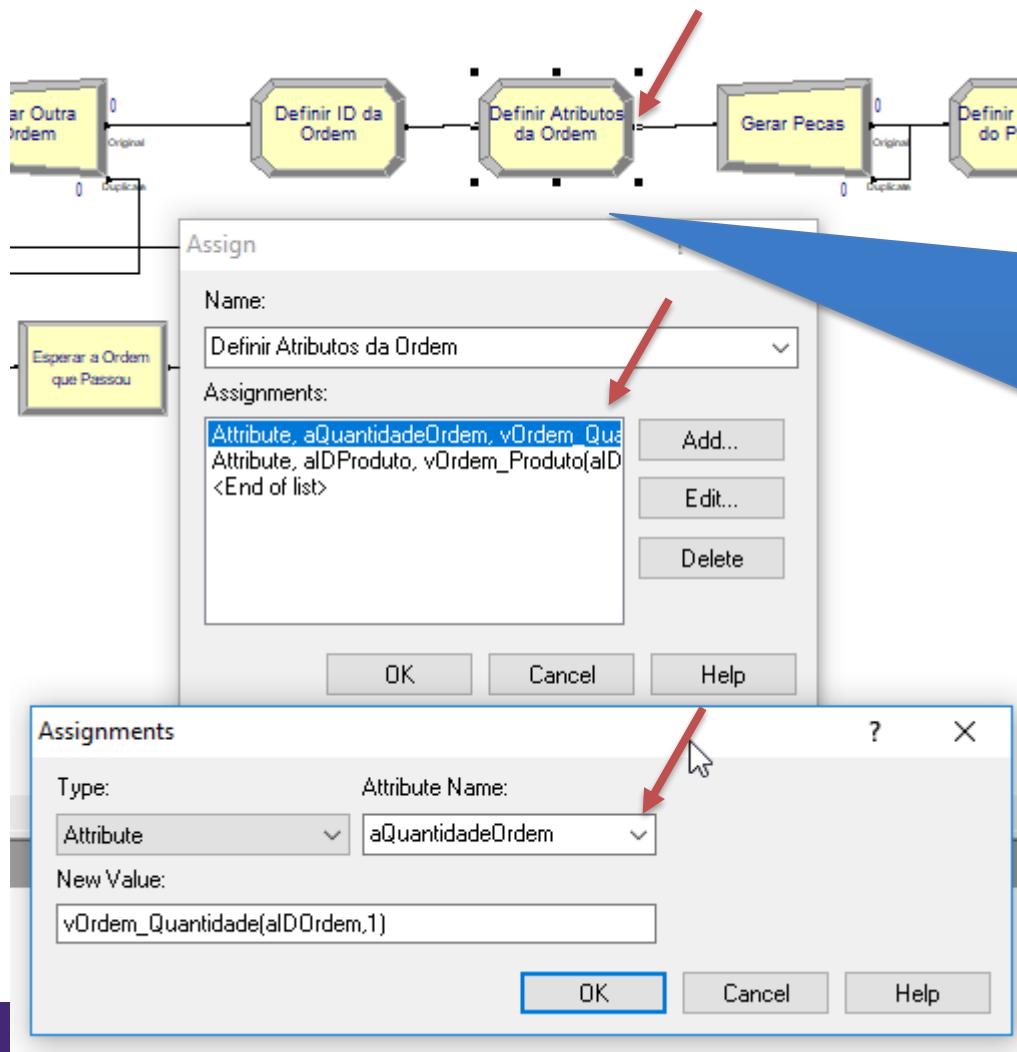
01/06/2019

Definindo os Atributos no Arena



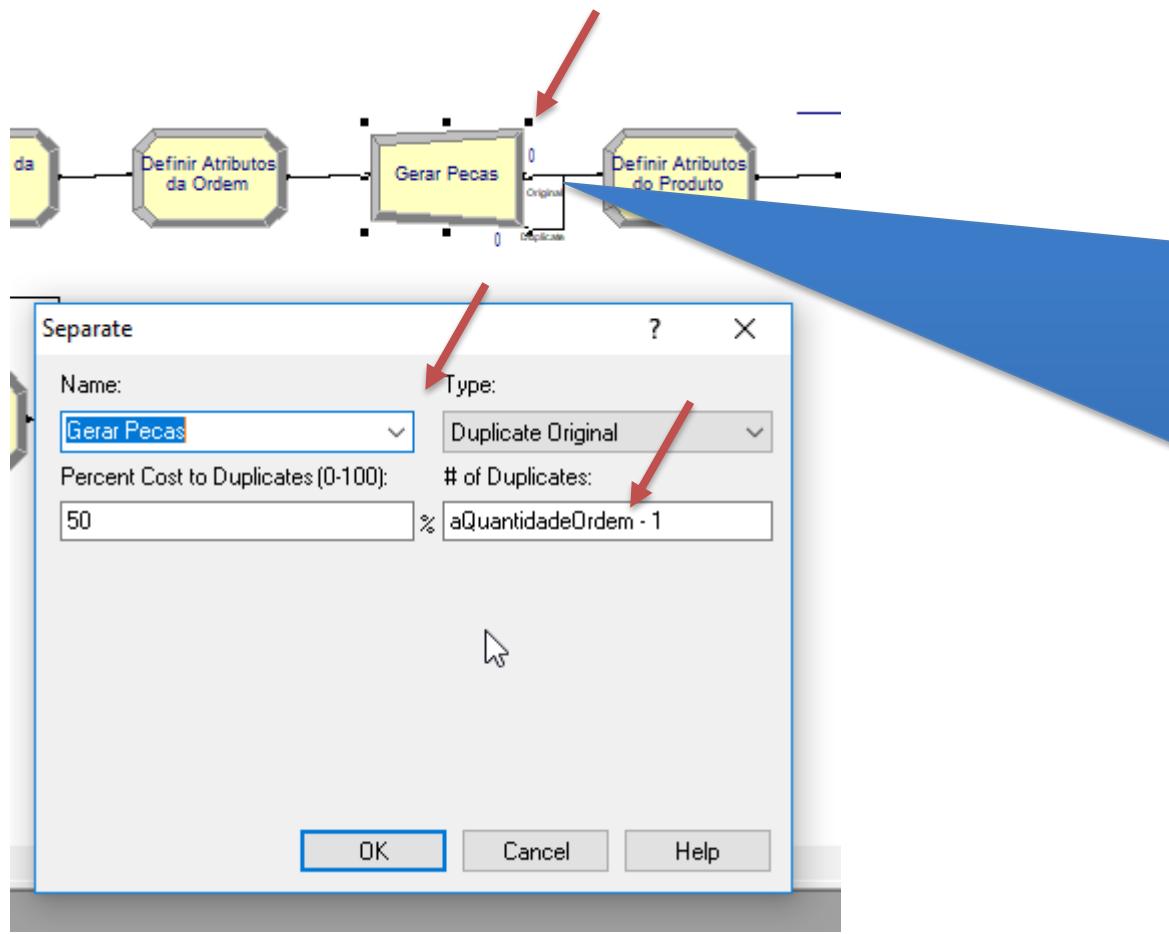
01/06/2019

Definindo os Atributos no Arena



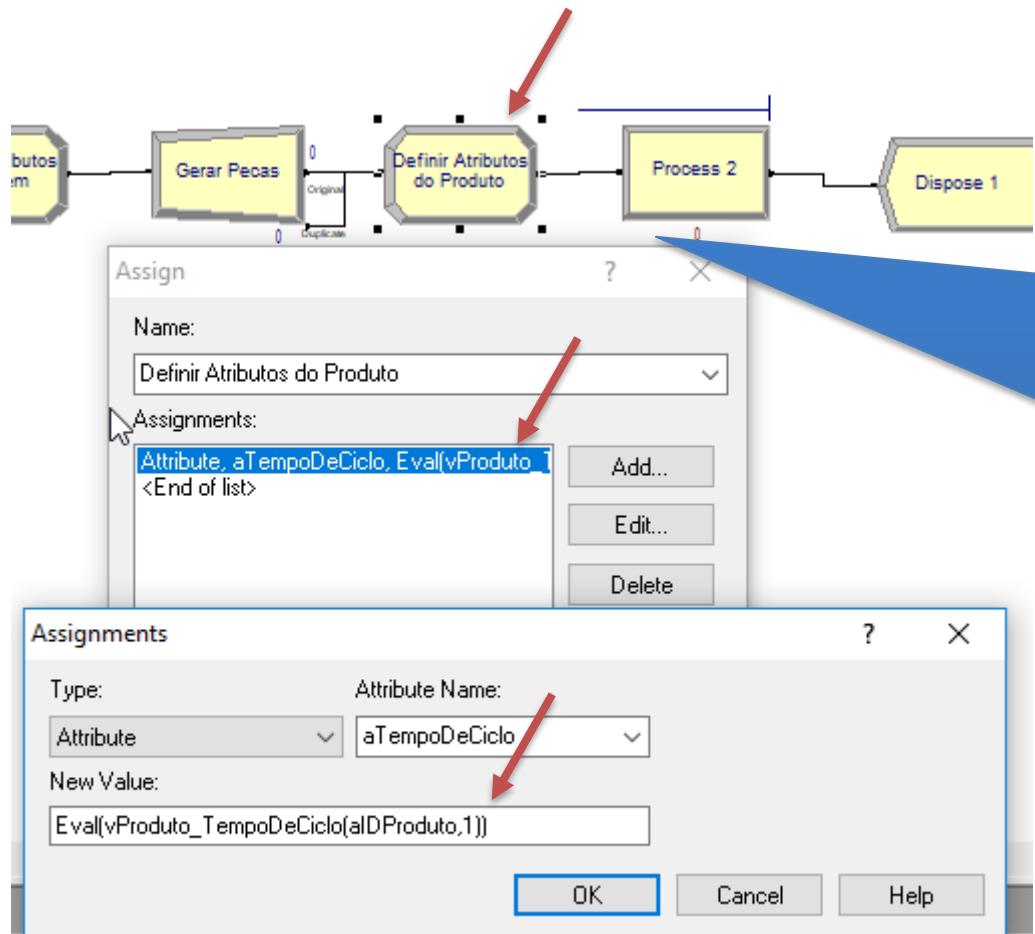
01/06/2019

Definindo os Atributos no Arena



01/06/2019

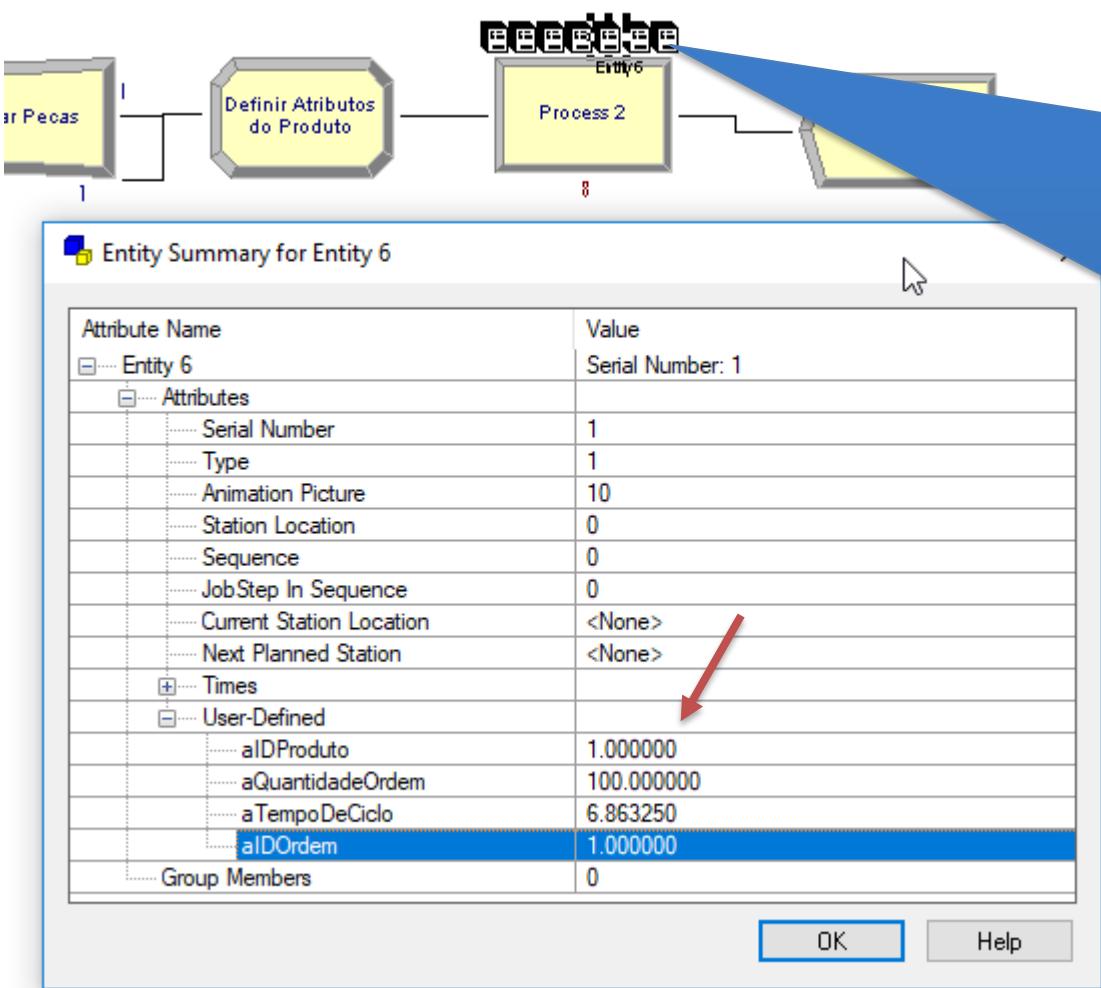
Definindo os Atributos no Arena



O tempo de ciclo do produto, neste caso, é definido para cada uma das peças avaliando a expressão que se encontra na variável vPronto_Tempo. A função Eval() é utilizada para avaliar as expressões de distribuição de probabilidades que estão na variável.

01/06/2019

Observando os Atributos no Arena



Ao rodar o modelo e observar os atributos das peças que estão passando no sistema, é possível notar que cada uma das peças possui o seu ID de Ordem, Produto, e tempos de ciclo diferenciados.

Esta mesma ideia pode ser utilizada para importar quaisquer informações vinculadas às entidades.

FUNÇÕES INTERMEDIÁRIAS / AVANÇADAS DO ARENA



Outras Funcionalidades Intermediárias / Avançadas

- Animação de Estatísticas e Gráficos;
- Uso de Vetores ou Matrizes;
- Criação de Estatísticas Personalizadas;
- Leitura de dados do Excel;
- Output de Arquivos de Dados;
- Blocos do Advanced Transfer, Packaging, etc;
- Criação de Templates Personalizados;
- Programação em VBA (para controlar o Arena Externamente).

01/06/2019



Visualização de Estatísticas na Animação

- É possível visualizar estatísticas durante a animação do Arena (ex.: contadores, gráficos, etc.).

01/06/2019

Outras Funções Úteis no Arena

- Leitura de Dados do Excel:
 - Quando desejamos modelar um sistema de modo desagregado (ex.: modelar tempos de ciclo diferentes para cada família de produto, ou mesmo SKU), é possível ler estes dados a partir do Excel.

01/06/2019

SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL

ANÁLISE DOS DADOS DE SAÍDA: OBTENÇÃO DE INTERVALOS DE CONFIANÇA

Objetivos da Execução de Experimentos Computacionais

- Obter um intervalo de confiança para uma ou mais medidas de desempenho do sistema. Para tanto, devemos:
 - Compreender a diferença entre sistemas terminais e sistemas não terminais;
 - Aplicar os procedimentos adequados conforme o tipo de sistema sendo simulado;
 - Obter um número de replicações adequado para gerar o intervalo de confiança com a precisão desejada;

01/06/2019

Sistemas Terminais e Sistemas não Terminais

- Sistemas Terminais:
 - A duração da simulação é fixa em função dos pressupostos do modelo. O sistema tem uma condição de início fixa e um evento definido que marca o fim da simulação.
 - Ex.: Um banco abre às 09:00 e fecha às 16:00. Uma venda de ingressos começa a operar e continua aberta até que os ingressos se esgotem.

01/06/2019

Sistemas Terminais e Sistemas não Terminais

- Sistemas Não Terminais:
 - A duração da simulação não é fixa naturalmente, pois o sistema opera continuamente.
 - Ex.: Uma linha de montagem que opera 24 horas por dia e 7 dias por semana.
- O objetivo da simulação destes sistemas é compreender o comportamento do sistema no “longo prazo”, ou seja, o comportamento do sistema em regime contínuo.
- Para isto, os efeitos das condições iniciais precisam ser removidos dos resultados da simulação.

01/06/2019

Simulação de Sistemas Terminais

1. Definir medidas de desempenho;
2. Definir confiança estatística e precisão com a qual se deseja trabalhar;
3. Definir (considerando o sistema real) o tempo de simulação;
4. Construir uma amostra piloto e estimar um intervalo de confiança preliminar, observar a precisão obtida;
5. Definir o número de replicações desejadas;
6. Rodar as replicações desejadas;
7. Obter o intervalo de confiança final.

01/06/2019

Replicação ≠ Rodada

- Rodada: Definimos um **conjunto de inputs** para o modelo e “rodamos” o modelo.
- Replicação: Repetimos a mesma rodada diversas vezes. Devido à existência de variáveis aleatórias embutidas na simulação, chegamos à valores diferentes para a mesma medida de desempenho em cada uma das replicações.
- Objetivo: Definir um intervalo de confiança para a **rodada** com base em diversas **replicações**.
- Se o modelo é estocástico, não podemos tirar conclusões do modelo com base em apenas uma **replicação**.

01/06/2019



Intervalo de Confiança

- **Intervalo de Confiança:** Uma faixa de valores numéricos que tem a probabilidade de $1 - \alpha$ de incluir o verdadeiro valor da medida de performance, onde $1 - \alpha$ é o nível de confiança para o intervalo.
 - Ex.: “A medida de desempenho de interesse é a média μ de tempo em uma fila, e se deseja estimar este valor com $100(1 - \alpha)\%$ de confiança.”

01/06/2019

Confiança-Estatística ≠ Precisão

- **Intervalo de Confiança:** Intervalo de Valores que contém a média da **população**, dada uma certa **probabilidade**:
 - Ex.: A média do tempo de espera está entre 10 e 100 minutos com 95% de confiança.
 - 95%: Confiança estatística de que a média está dentro do intervalo definido.
- Questão: **Esta resposta é o suficiente?**

01/06/2019

Exercício 1

Utilizando Dados Fictícios para criar uma planilha para o cálculo do tamanho de amostra.

1. Crie uma planilha que gere números aleatórios utilizando uma distribuição normal.
 1. Utilize a fórmula `=INV.NORM.N(ALEATÓRIO());50;5` para gerar uma amostra de 10 medições de uma variável aleatória qualquer (esta variável atuará como a variável de resposta de um modelo de simulação).
2. Calcule as estatísticas necessárias para obter um intervalo de confiança de 95% para a média populacional (slides anteriores);
3. Calcule o número de replicações necessárias para obter a precisão desejada.
4. Qual é o tamanho da amostra necessário?

01/06/2019

Análise dos Dado de Saída de Sistemas Terminais

Exemplo

- Passo 1: Definir Medida de Desempenho:
- Um sistema de atendimento possui 2 processos de atendimento, e a medida de desempenho escolhida para avaliação é o tempo médio dos clientes no sistema.

01/06/2019

Análise dos Dado de Saída de Sistemas Terminais

Exemplo

- Passo 2: Definir a Confiança Estatística e Precisão desejada:
- Deseja-se obter o intervalo de confiança do tempo médio do cliente no sistema com 95 % de confiança (confiança estatística).
- Deseja-se que a precisão da estimativa seja de mais ou menos 4 **minutos**.

01/06/2019

Análise dos Dado de Saída de Sistemas Terminais

Exemplo

- Passo 3: Definir o Tempo de Simulação:
- O sistema de atendimento abre às 08h da manhã e funciona sem interrupções até 17hs da tarde.

01/06/2019

Análise dos Dado de Saída de Sistemas Terminais

Exemplo

- Passo 4: Construir a Amostra Piloto e estimar o intervalo de confiança inicial:
- O Modelo foi simulado por 10 vezes, obtendo-se a seguinte amostra piloto:

Replicação	Tempo Médio no Sistema
1	57,63
2	56,36
3	56,09
4	74,68
5	57,59
6	51,62
7	35,45
8	53,78
9	25,86
10	46,95

01/06/2019

Análise dos Dado de Saída de Sistemas Terminais

Exemplo

- Passo 4: Construir a Amostra Piloto e estimar o intervalo de confiança inicial:
- Obter o Intervalo de Confiança Inicial:
- O nível de precisão atual nos atende?

Média (x barra)	51,60
Desvio Padrão (s)	13,32
alfa (α)	0,05
n	10,00
t	2,26
h (precisão atual)	9,53
Intervalo de Confiança (atual)	
61,13 $\leq \mu \leq$ 42,07	

01/06/2019

Fórmulas para obtenção do Intervalo de Confiança

- Intervalo de Confiança:

$$IC: (\bar{X} - h, \bar{X} + h)$$

- Média da Amostra de Replicações:

$$\bar{X} = \sum_{i=1}^n \frac{X_i}{n}$$

- Half-Width (Precisão):

$$h = t_{n-1, \alpha/2} \frac{s}{\sqrt{n}}$$

- Variância da Amostra:

$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^n X_i^2 - n\bar{X}_i^2}{n - 1}$$

01/06/2019

Análise dos Dado de Saída de Sistemas Terminais

Exemplo

- Passo 5: Definir o número de replicações para a precisão desejada:

Média (x barra)	53,58	
Desvio Padrão (s)	14,01	
alfa (α)	0,05	
n	10,00	
t	2,26	
h (precisão atual)	10,02	
Intervalo de Confiança (atual)		
43,56	$\leq \mu \leq$	63,61
h* (precisão desejada)	4	
n* (número de replic.)	63	

01/06/2019

Fórmula para definição do número de replicações:

- Questão: Quantas replicações devemos realizar para obter uma precisão próxima a um valor desejado?
 - (Ex.: Quero saber quantas n^* replicações devo fazer para obter um intervalo de confiança com uma precisão desejada de h^* .
 - Passos:
 - Realizar um número n de replicações e obter a precisão h com um nível de confiança $(1 - \alpha)$ (ex.: 0,95).
 - Inserir a precisão obtida h e a precisão obtida na fórmula abaixo (arredondando para cima).
 - Obter o Número de Replicações n^* a executar:

$$n^* = \left\lceil n \left(\frac{h}{h^*} \right)^2 \right\rceil$$

01/06/2019

Análise dos Dado de Saída de Sistemas Terminais

Exemplo

- Passo 6: Rodar as replicações desejadas;
- Passo 7: Obter o Intervalo de Confiança Final:
 - Resultado: A média da população será igual a $49,63 \pm 3,16$ com 95 % de confiança.

Média (x barra)	49,63	
Desvio Padrão (s)	12,54	
alfa (α)	0,05	
n	63,00	
t	2,00	
h (precisão atual)	3,16	
Intervalo de Confiança (atual)		
46,47	$\leq \mu \leq$	52,78
h* (precisão desejada)	4	
n* (número de replic.)	40	

01/06/2019

Simulação de Sistemas Terminais

Exemplo

- Fórmulas no Excel:

E	F	G	H
1			
2	Média (\bar{x} barra)	=MÉDIA(Tempo_Médio_no_Sistema)	
3	Desvio Padrão (s)	=DESVPAD.A(Tempo_Médio_no_Sistema)	
4	alfa (α)	0,05	
5	n	=CONT.NÚM(Tempo_Médio_no_Sistema)	
6	t	=ABS(INV.T(H4/2;H5-1))	
7	h (precisão atual)	=H6*H3/RAIZ(H5)	
8	Intervalo de Confiança (atual)		
9	=H2-H7	$\leq \mu \leq$	=H2+H7
10	h* (precisão desejada)	4	
11	n* (número de replic.)		=ARREDONDAR.PARA.CIMA(H5*(H7/H10)^2;0)
12			

01/06/2019

Relações Importantes

- A amplitude do intervalo de confiança (ou seja, a precisão obtida) depende de três fatores:
 - Número de replicações n (quanto maior, menor será o intervalo de confiança);
 - Nível de Confiança $1 - \alpha$ (quanto maior, maior será o intervalo de confiança);
 - Variação da Medida de Performance s (quanto maior, maior será o intervalo de confiança).

01/06/2019

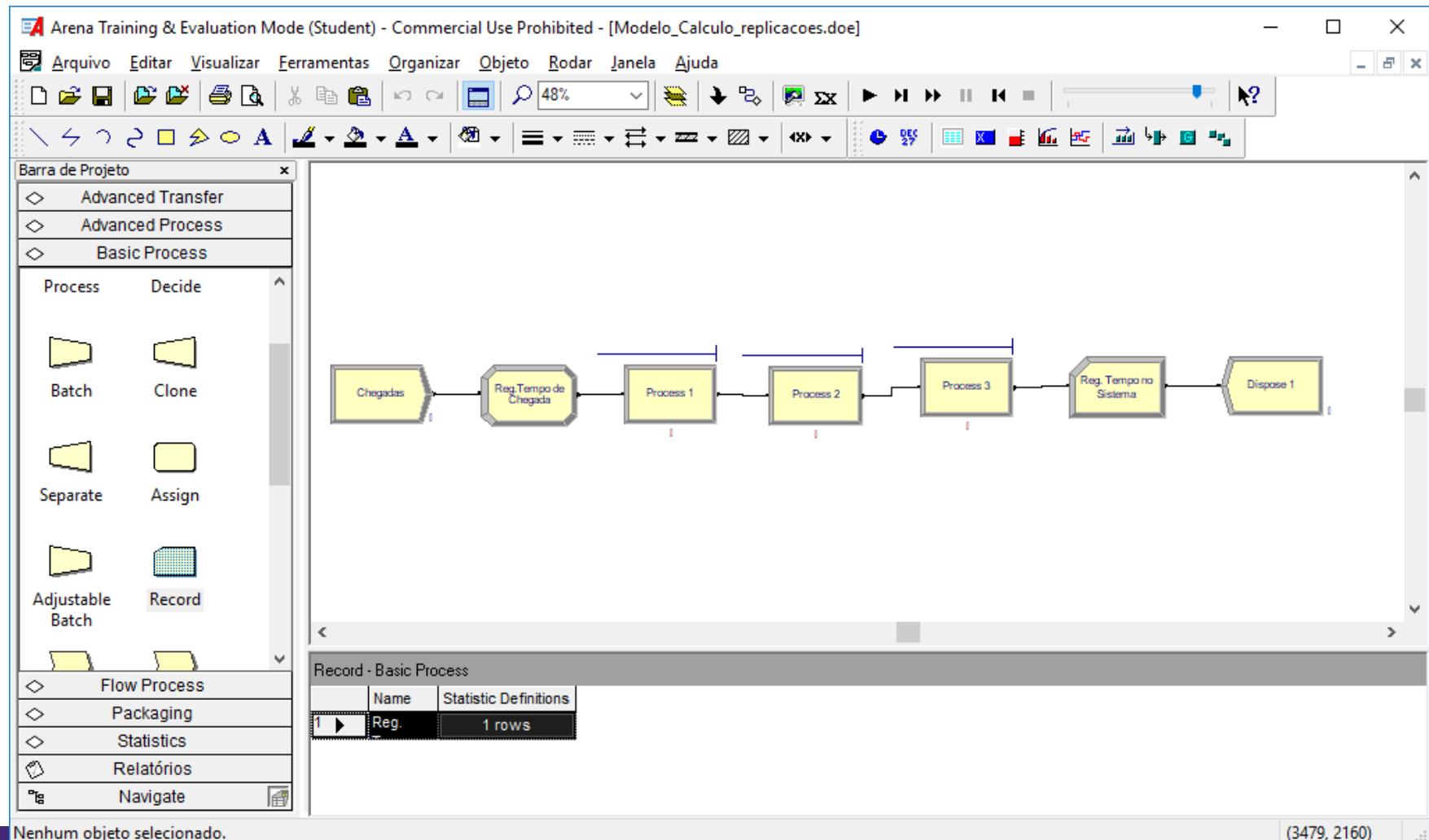
Exercício 2

Utilizando um Modelo Real

- Crie um Modelo com as seguintes operações (uma chegada e processos “seize-delay-release”, em sequência) considerando as seguintes distribuições (tempos em minutos):
 - Chegadas: EXPO (10)
 - Processo 1: NORM(10,4)
 - Processo 2: NORM(10,2)
 - Processo 3: NORM(9,6)
 - Tempo de Rodada: 1 dia.
 - Utilizar módulos Assign e Record para calcular o tempo no Sistema.
- Utilize a planilha criada no exercício anterior para definir o número de replicações necessários a obter com estes parâmetros:
 - Nível de Confiança: 95% ($\alpha = 0,05$).
 - Precisão Desejada (h): 10 minutos.

01/06/2019

Modelo Criado

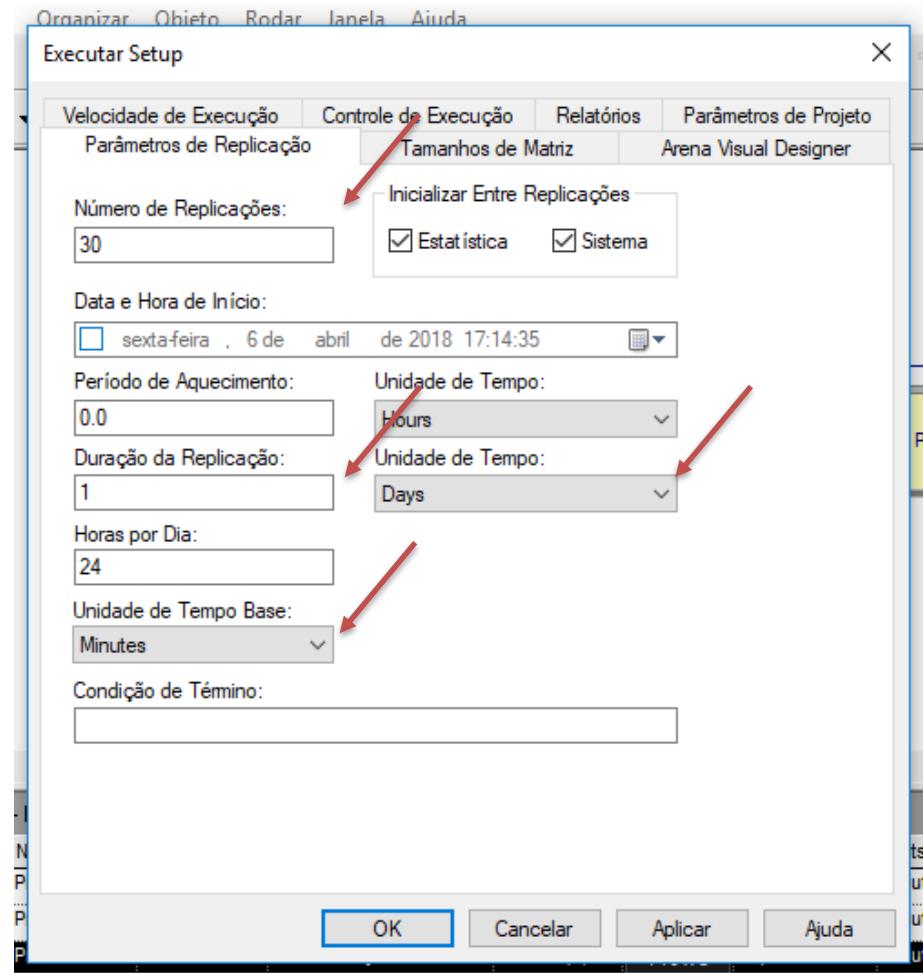


JESUÍTAS BRASIL

UNISINOS

Gerar Amostra Piloto

- Configurar um número inicial de replicações igual a 30;
- Rodar a simulação por um dia inteiro;
- Utilizar minutos como unidade de tempo base.



Gerar Amostra Piloto

The screenshot shows the SAP Crystal Reports interface. On the left, the 'Barra de Projeto' (Project Bar) lists various process types like Advanced Transfer, Advanced Process, etc., and categories like Activity Areas, Category Overview, and Entities. A red arrow points from the 'Category Overview' item to the report area. The main pane displays a 'Relatório Principal' (Main Report) with a bar chart comparing three resources (Resource 1, Resource 2, Resource 3) across different intervals. Below the chart is a table titled 'User Specified' with a section for 'Tally'. Another red arrow points to the 'Tally' section of this table, which contains a single row for 'Tempo no Sistema' with values: Average = 105.47, Half Width = 13.02, Minimum Average = 58.9569, Maximum Average = 214.67, Minimum Value = 12.1714, and Maximum Value = 346.03.

Média nas 30 replicações

"Precisão".
Int. Confiança = Média +- Half Width.

Total Number Served	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
Resource 1	134.93	2.65	112.00	145.00
Resource 2	132.27	2.60	110.00	142.00
Resource 3	130.13	2.65	108.00	141.00

Interval	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Tempo no Sistema	105.47	13.02	58.9569	214.67	12.1714	346.03

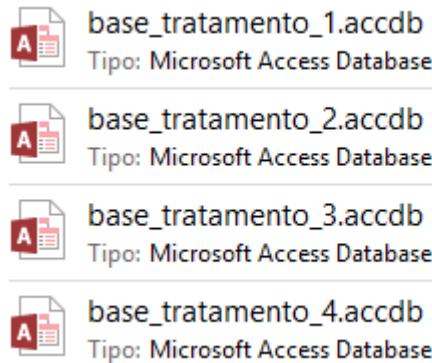
Exportando Resultados do Arena, por Replicação

- Opção 1: Observar os dados diretamente na base de resultados do Arena (pelo software Access).
- Opção 2: Utilizar a função de exportação para CSV do Arena;

01/06/2019

Observando Resultados na Base do Arena

- O Arena mantém um arquivo de base de dados com os resultados de cada uma das replicações;
- Salve cópias destes arquivos caso exista a necessidade de comparar cenários simulados manualmente.



01/06/2019

Coletando os Dados Manualmente

- Verifique o código da estatística a coletar na tabela “Definition”.

The screenshot shows a Microsoft Excel interface. On the left, there's a sidebar titled 'Tabelas' (Tables) listing several tables: Category, Configuration, Conversion Errors, Count, DataOutputScope, Definition (which is highlighted with a red arrow), and DefinitionType. To the right of the sidebar is a main data grid. The grid has columns labeled 'ID', 'ReportID', and 'Name'. The rows show data points such as ID 793 with ReportID 33 and Name 'Tempo no Sistema', ID 794 with ReportID 33 and Name 'Entity 1.VATime', and so on. A red arrow points to the 'ReportID' column header, and another red arrow points to the 'Name' column header. The date '01/06/2019' is visible in the bottom right corner of the grid area.

ID	ReportID	Name
793	33	Tempo no Sistema
794	33	Entity 1.VATime
795	33	Entity 1.NVATime
796	33	Entity 1.WaitTime
797	33	Entity 1.TranTime
798	33	Entity 1.OtherTime

Coletando os Dados Manualmente

- Acesse a tabela “Statistics” e copie a coluna “AvgObs”, filtrando pelo código observado (neste caso, 793).

The screenshot shows a Microsoft Access application window. The ribbon menu is visible at the top, with the 'Access' tab selected. The main area displays a table named 'Statistics'. A red arrow points from the 'Tabelas' (Tables) list on the left towards the 'Statistic' row, which is highlighted in pink. Another red arrow points from the 'DefinitionID' column header in the table towards the value '793' in the first row. The table has columns: ID, ReplicationID, DefinitionID, MinObs, MaxObs, AvgObs, HalfWidth, LastValue, and I. The 'AvgObs' column contains numerical values like 5.9675514499, 4.8661598535, etc.

ID	ReplicationID	DefinitionID	MinObs	MaxObs	AvgObs	HalfWidth	LastValue	I
6355	355	793	2.2542501034	8.3906520193	5.9675514499	2E+20	8.3906520193	
6373	356	793	2.1151825731	8.8261577178	4.8661598535	2E+20	8.6110391112	
6391	357	793	1.5501175248	4.6976866142	3.5289764255	2E+20	3.6590398704	
6409	358	793	2.0812432532	3.8690090342	2.6665487388	2E+20	2.8769537557	
6427	359	793	1.9717933667	7.9295264990	4.3192302355	2E+20	7.9295264990	
6445	360	793	1.9540751209	8.165275351	4.3022071153	2E+20	8.165275351	
6463	361	793	1.8076895692	4.7345280092	3.4752154904	2E+20	4.4661776821	
6481	362	793	1.5340594947	4.6541130231	3.1723845755	2E+20	4.4806536238	
6499	363	793	1.406049886	7.5495815955	3.9558719321	2E+20	7.5495815955	
6517	364	793	1.5404301243	3.8154883707	2.6085689283	2E+20	3.5436213725	
6535	365	793	1.3012230596	4.5538722798	2.7251083389	2E+20	1.8419750984	
6553	366	793	1.9890422715	7.4919867752	4.9921297614	2E+20	7.4919867752	
6571	367	793	1.6169843480	4.6653599941	3.0997550048	2E+20	1.7983539176	
6589	368	793	1.8114906290	5.1619485801	3.1690473031	2E+20	2.9490818768	
6607	369	793	1.7616661616	8.6537834092	5.5953296451	2E+20	5.5953197596	

01/06/2019



JESUÍTAS BRASIL



Exportar Resultados para Calcular Média e Desvio Padrão

The screenshot shows the Arena software interface. The menu bar includes 'Arquivo', 'Editar', 'Visualizar', 'Ferramentas' (highlighted with a red arrow), 'Organizar', 'Objeto', 'Rodar', 'Janela', and 'Ajuda'. The 'Ferramentas' menu is open, displaying various tools like Arena NewsFlash, Arena Symbol Factory, Input Analyzer, Process Analyzer, Arena Visual Designer, Assistente de Expressão, OptQuest para Arena, ReportDatabase (highlighted with a blue arrow), Model Documentation Report, Export Model, Import Model, Captura de A, Macro, Contagem d, Opcões, Processes, and Opções. A red arrow points from the 'ReportDatabase' item to a sub-menu item 'Export Summary Statistics to CSV File...'. This item is highlighted with a blue box. A 'CSV File' dialog box is displayed, containing the following text:
This add-in extracts the replication summary statistics from the specified Arena report database and writes the data to a comma separated value (CSV) file.
Report Database Name: C:\Users\Pedro Lima\Desktop\Modelo_Calculo_replicacoes.mdb
CSV File Name: C:\Users\Pedro Lima\Desktop\Modelo_Calculo_replicacoes.SummaryStats.csv
 Include Classification Information Text Qualifier: ""
The 'OK' button is highlighted with a blue box.

Obs 1: Se não há um arquivo .mdb na pasta, é necessário abrir o arquivo ".Accdb" e salvar como um arquivo .mdb pelo Access.

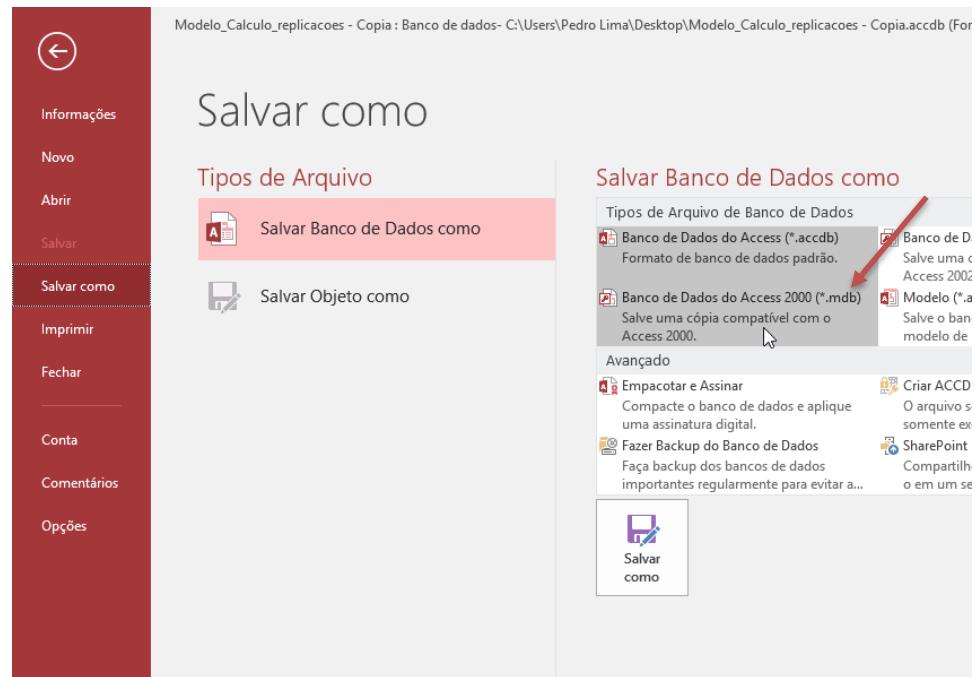
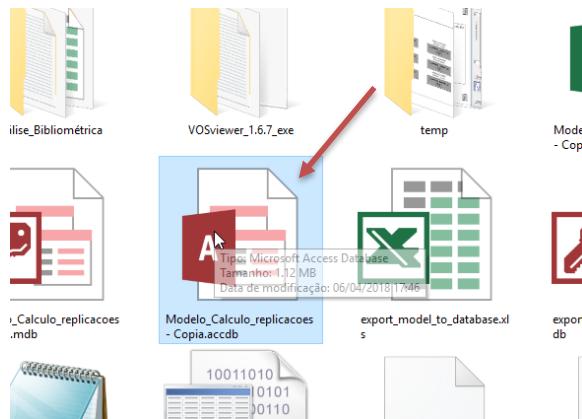
Obs 2: O csv gerado pode incluir números separados por vírgulas, de modo que será difícil separar o csv em colunas. Alterar as configurações do Windows para trabalhar com separador decimal em ponto

1/06/2019

NOS

Observação 1

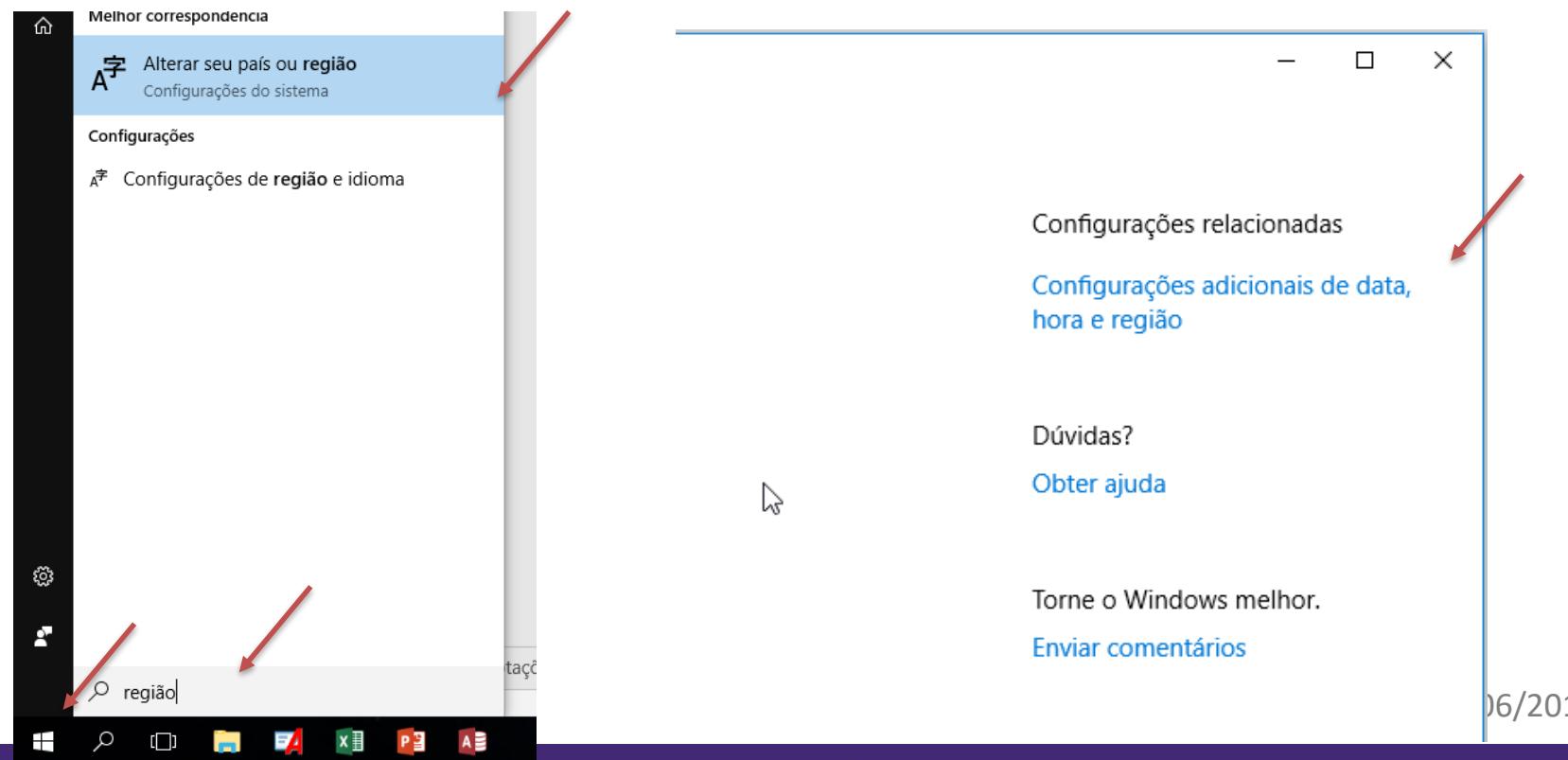
- Problema: O Arena não gera arquivos .mdb:
- Solução: Abrir o banco de dados com o Access e “Salvar Como” em .mdb:



01/06/2019

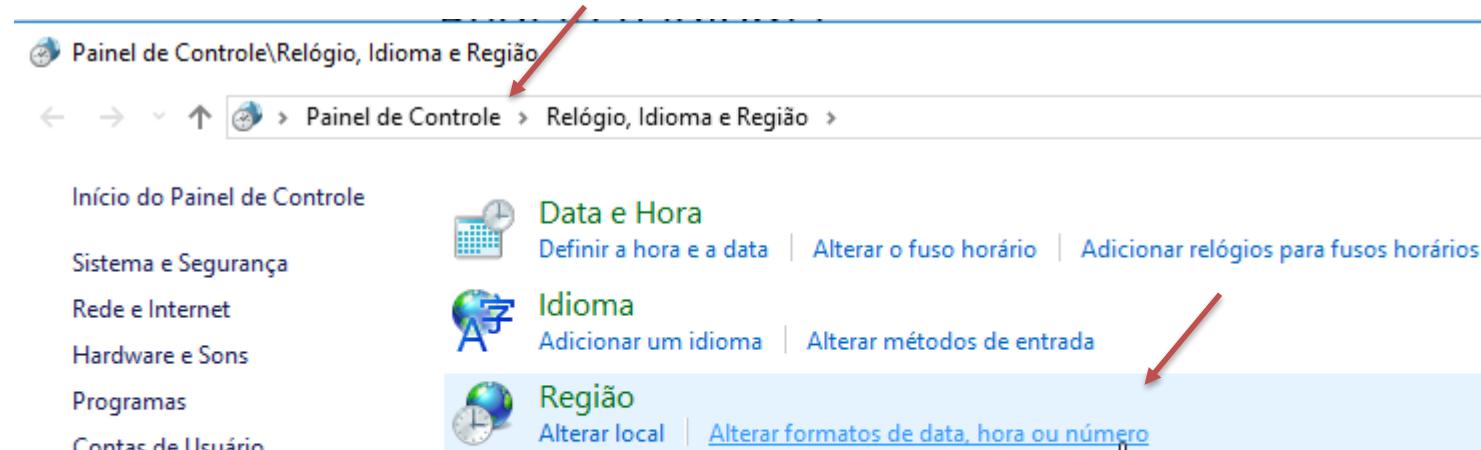
Observação 2

- Problema: O Arena gera os arquivos em formato csv, utilizando vírgulas para separar casas decimais e vírgulas para separar colunas:
- Solução: Configurar o Windows para utilizar pontos ao invés de vírgulas:



Observação 2

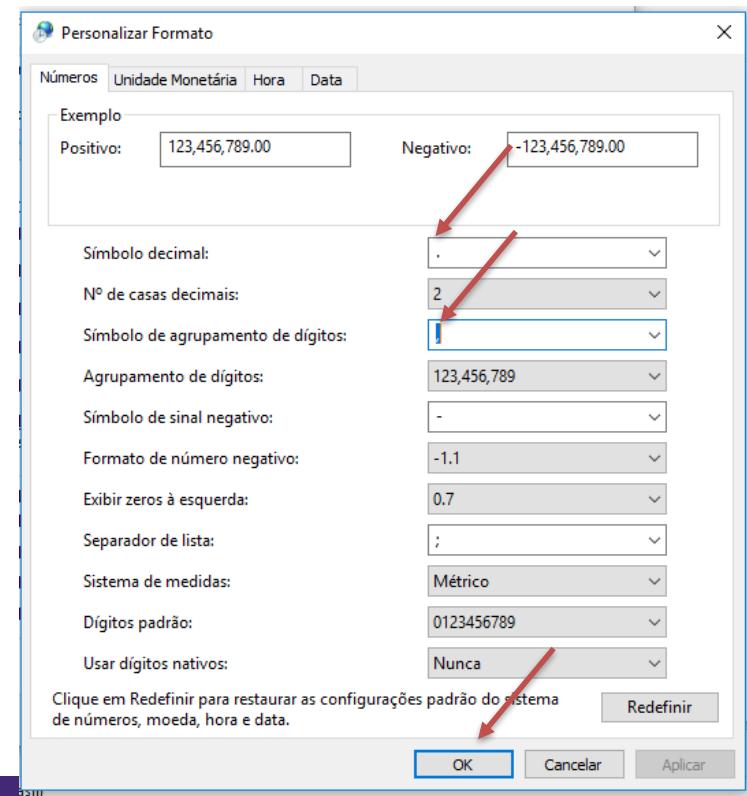
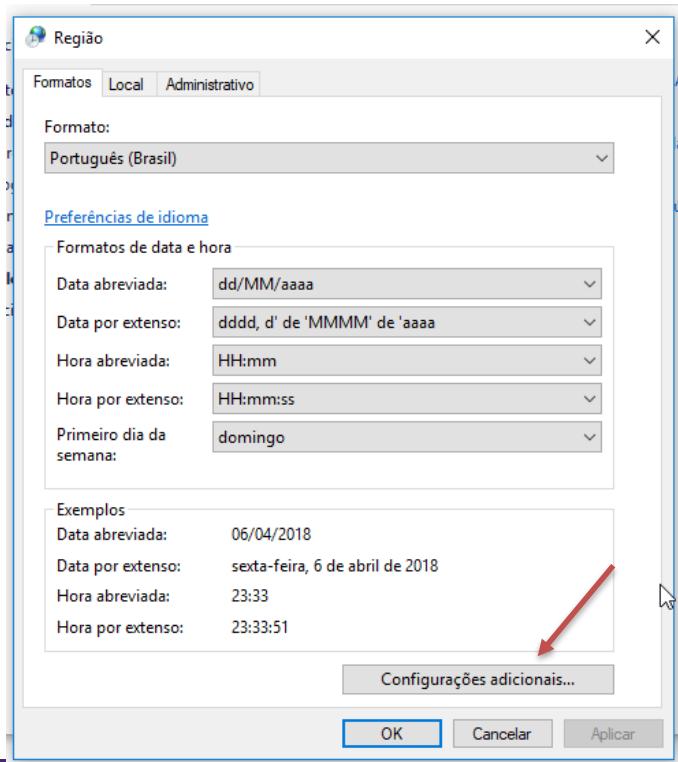
- Problema: O Arena gera os arquivos em formato csv, utilizando vírgulas para separar casas decimais e vírgulas para separar colunas:
- Solução: Configurar o Windows para utilizar pontos ao invés de vírgulas:



01/06/2019

Observação 2

- Problema: O Arena gera os arquivos em formato csv, utilizando vírgulas para separar casas decimais e vírgulas para separar colunas:
- Solução: Configurar o Windows para utilizar pontos ao invés de vírgulas:



Uma vez gerado o csv...

Modelo_Calcular_rePLICACOES - Copia.SummaryStats.csv - Excel

Arquivo Página Inicial Inserir Layout da Página Fórmulas **Dados** Revisão Exibir Diga-me o que vo

Obter Dados Consultas e Conexões Atualizar Tudo Propriedades Editar Links

Obter e Transformar Dados Consultas e Conexões Classificar e Filtrar Ferramentas de Dados

A1 Statistic Name,"Statistic Type","Database Data Type","Database Category","Database Identifier","Rep 1","Rep 2","I

1 Statistic Name,"Statistic Type","Database Data Type","Database Category","Database Identifier","Rep 1","Rep 2","I

2 Entity 1.NumberIn,"OUTPUT VALUE","Number In","Entity","Entity 1",145,116,150,146,170,161,140,133,143,135,149,1

3 Entity 1.NumberOut,"OUTPUT VALUE","Number Out","Entity","Entity 1",126,107,134,131,139,132,128,123,140,127,1

4 Resource 1.NumberSeized,"OUTPUT VALUE","Total Number Seized","Resource","Resource 1",133,112,140,135,145,

5 Resource 1.ScheduledUtilization,"OUTPUT VALUE","Scheduled Utilization","Resource","Resource 1",0.94368235567

6 Resource 2.NumberSeized,"OUTPUT VALUE","Total Number Seized","Resource","Resource 2",129,110,138,133,142,

7 Resource 2.ScheduledUtilization,"OUTPUT VALUE","Scheduled Utilization","Resource","Resource 2",0.89497495565

8 Resource 3.NumberSeized,"OUTPUT VALUE","Total Number Seized","Resource","Resource 3",127,108,135,132,140,

9 Resource 3.ScheduledUtilization,"OUTPUT VALUE","Scheduled Utilization","Resource","Resource 3",0.76301820411

10 System.NumberOut,"OUTPUT VALUE","Number Out","System","System",126,107,134,131,139,132,128,123,140,127,

11 Entity 1.NVATime,"TALLY AVERAGE","NVA Time","Entity","Entity 1",0,

12 Entity 1.OtherTime,"TALLY AVERAGE","Other Time","Entity","Entity 1",0,

13 Entity 1.TotalTime,"TALLY AVERAGE","Total Time","Entity","Entity 1",100.387144043409,58.956892339118,113.98391,

14 Entity 1.TransferTime,"TALLY AVERAGE","Transfer Time","Entity","Entity 1",0,

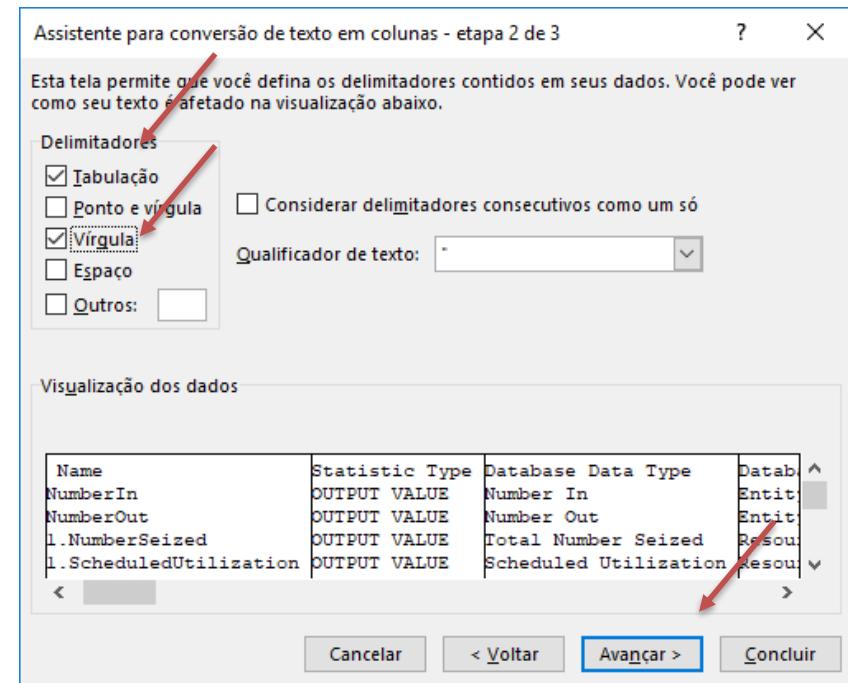
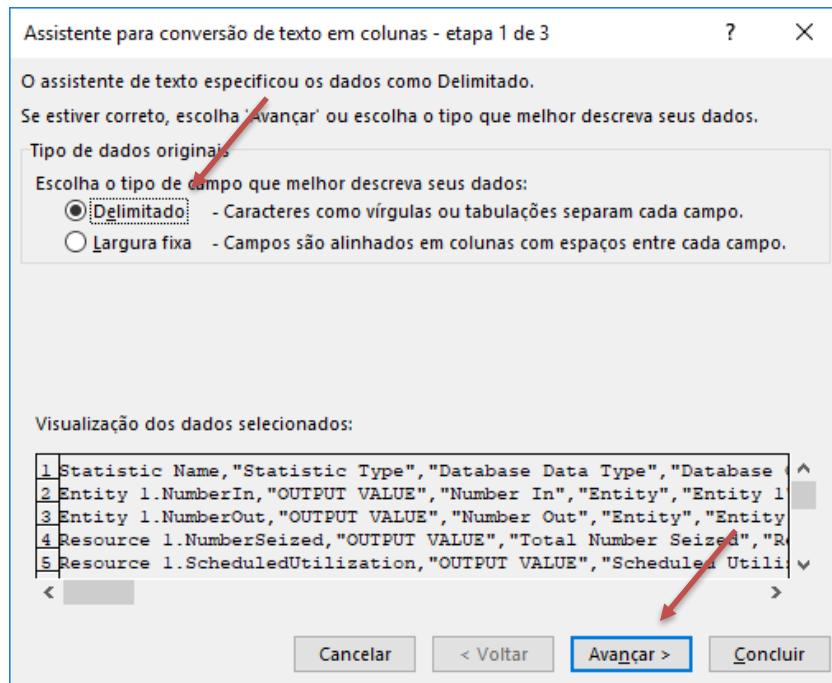
15 Entity 1.VATime,"TALLY AVERAGE","VA Time","Entity","Entity 1",29.0919568720771,29.2408353014076,28.564932779

Modelo_Calcular_rePLICACOES - Co

Pronto Contagem: 33

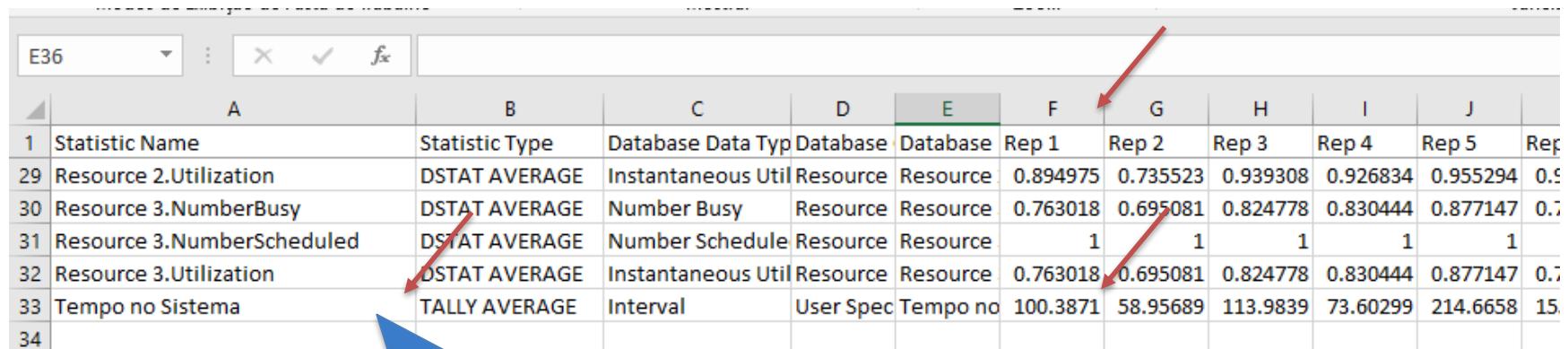
01/06/2019

Uma vez gerado o csv...



01/06/2019

Dados por Replicação:



The screenshot shows an Excel spreadsheet with data from rows 1 to 34. The columns are labeled A through J. Row 1 contains headers: Statistic Name, Statistic Type, Database Data Type, Database, Rep 1, Rep 2, Rep 3, Rep 4, Rep 5, and Rep 6. Rows 29, 30, 31, and 32 show various resource utilization statistics with their respective database types and replication values. Row 33 shows a system time statistic with its database type and replication values. Red arrows point from the text in the blue box below to the 'Rep 1' column header and the 'TALLY AVERAGE' entry in row 33.

	E36									
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	Statistic Name	Statistic Type	Database Data Type	Database	Rep 1	Rep 2	Rep 3	Rep 4	Rep 5	Rep 6
29	Resource 2.Utilization	DSTAT AVERAGE	Instantaneous Util	Resource	0.894975	0.735523	0.939308	0.926834	0.955294	0.9
30	Resource 3.NumberBusy	DSTAT AVERAGE	Number Busy	Resource	0.763018	0.695081	0.824778	0.830444	0.877147	0.7
31	Resource 3.NumberScheduled	DSTAT AVERAGE	Number Schedule	Resource	1	1	1	1	1	1
32	Resource 3.Utilization	DSTAT AVERAGE	Instantaneous Util	Resource	0.763018	0.695081	0.824778	0.830444	0.877147	0.7
33	Tempo no Sistema	TALLY AVERAGE	Interval	User Spec	Tempo no	100.3871	58.95689	113.9839	73.60299	214.6658
34										

Diversas estatísticas são calculadas pelo Arena automaticamente. Selecionar a estatística de interesse e copiar os dados por replicação para a planilha para o cálculo do número de replicações.

01/06/2019

Dados por Replicação:

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	Statistic Name	Statistic Type	Database	Data Type	Database	Rep 1	Rep 2	Rep 3	Rep 4	Rep 5	Rep 6
29	Resource 2.Utilization	DSTAT AVERAGE	Instantaneous Util	Resource	Resource	0.894975	0.735523	0.939308	0.926834	0.955294	0.9
30	Resource 3.NumberBusy	DSTAT AVERAGE	Number Busy	Resource	Resource	0.763018	0.695081	0.824778	0.830444	0.877147	0.7
31	Resource 3.NumberScheduled	DSTAT AVERAGE	Number Schedule	Resource	Resource	1	1	1	1	1	1
32	Resource 3.Utilization	DSTAT AVERAGE	Instantaneous Util	Resource	Resource	0.763018	0.695081	0.824778	0.830444	0.877147	0.7
33	Tempo no Sistema	TALLY AVERAGE	Interval	User Spec	Tempo no	100.3871	58.95689	113.9839	73.60299	214.6658	15.
34											

	A	B	C	D	E	F
1	Replicação	Tempo Médio no Sistema		Média (x barra)	105.47	
2	1	100.387144		Média Mínima	58.96	
3	2	58.95689234		Média Máxima	214.67	
4	3	113.9839153		Desvio Padrão (s)	34.87	
5	4	73.60299437		alfa (α)	0.05	
6	5	214.6657709		n	30.00	
7	6	155.5655928		t	2.05	
8	7	109.6950521		h (precisão atual)	13.02	
9	8	119.8695615		Intervalo de Confiança (atual)		
10	9	77.58092096		118.49 <= μ <= 92.45		
11	10	79.87508048		h* (precisão desejada)	10	
12	11	136.5882477		n* (número de replic.)	51	
13	12	114.9234975				
14						

01/06/2019

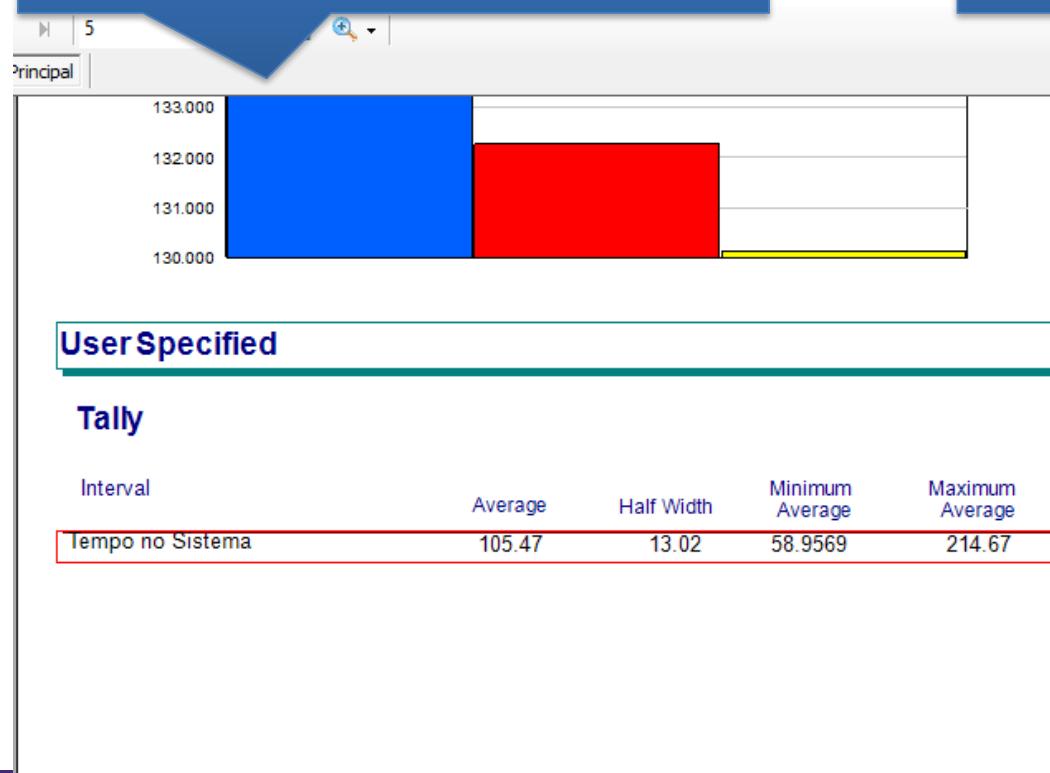


JESUÍTAS BRASIL



Calculando Replicações Necessárias

Dados Calculados Pelo Arena



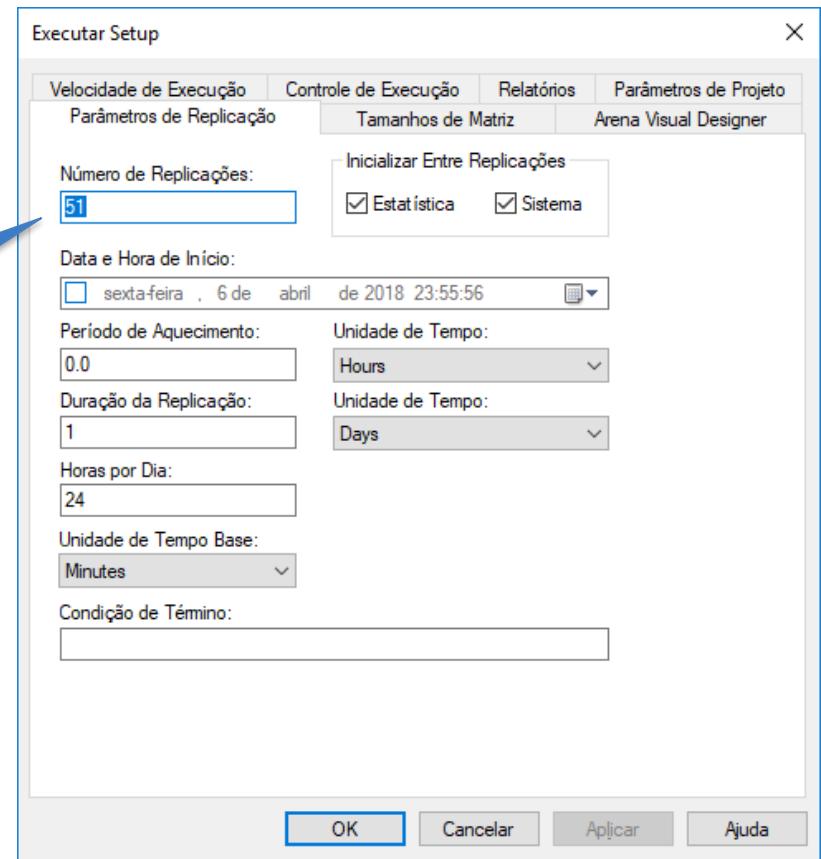
Dados Calculados com Base nas Replicações

Média (x barra)	105.47
Média Mínima	58.96
Média Máxima	214.67
Desvio Padrão (s)	34.87
alfa (α)	0.05
n	30.00
t	2.05
h (precisão atual)	13.02
Intervalo de Confiança (atual)	
118.49 $\leq \mu \leq$ 92.45	
h* (precisão desejada)	10
n* (número de replic.)	51

01/06/2019

Executando as Replicações Recomendadas para o nível de precisão desejado

Informar o Número de Replicações Desejado e Rodar o Modelo novamente.



Executando as Replicações Recomendadas para o nível de precisão desejado

Em um Dia de operação, o maior tempo médio observado foi de 214.67 e o menor de 58.14.
O Menor tempo no sistema foi de 10.11 e o maior simulado foi de 346.03

User Specified

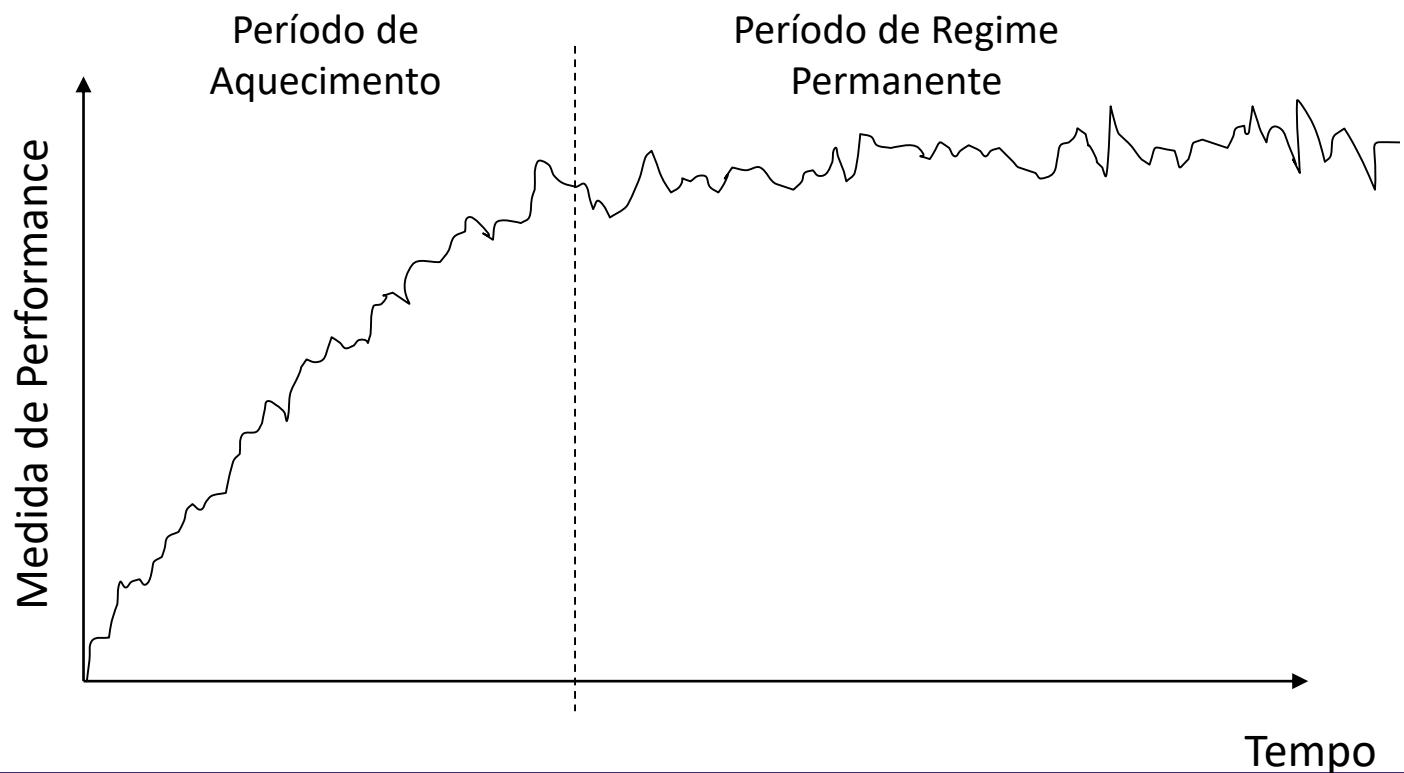
Tally

Interval	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Tempo no Sistema	108.14	10.00	58.9569	214.67	10.1134	346.03

Resultado: O tempo médio no sistema, em média, será em média 108.14 minutos, mais ou menos 10 minutos adotando um intervalo de confiança de 95%, ou seja:
 $98,14\% < \mu < 118.14$ com 95% de confiança.

01/06/2019

Simulação de Sistemas Não-Terminais



01/06/2019

Simulação de Sistemas Não-Terminais

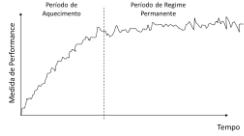
- Em Sistemas Não-Terminais, a primeira pergunta a realizar é “Por quanto tempo cada replicação deve ser realizada”?
- Abordagens para remover os efeitos do ramp-up do sistema:
 - Aumentar a duração da simulação, de modo que os efeitos sejam dissipados;
 - Definir a condição inicial de filas e recursos, de modo que a simulação comece em uma condição próxima ao de regime permanente;
 - Excluir a fase inicial de simulação que é influenciada pelas condições iniciais. Os dados de simulação apenas considerarão o período após o *warm-up* (abordagem mais comum).

01/06/2019

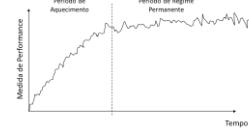
Simulação de Sistemas Não-Terminais

- Cuidados com a simulação de sistemas não-terminais:
 - Observar o período de warm-up do modelo e retirá-lo do período de análise;
 - Rodar o modelo por pelo menos 10 vezes (“regra prática” – CCHWIFF, pg 143) o tempo de warm-up;
 - Calcular o número de replicações conforme a fórmula anterior;
 - Utilizar as replicações realizadas:
 - Obs: Se o tempo de execução do modelo for muito longo, é possível rodar o modelo “criando lotes de replicações” e construir o intervalo de confiança a partir deles:

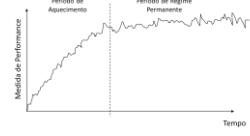
Opção 1: Replicações totalmente independentes com períodos de aquecimento.



Rep 1

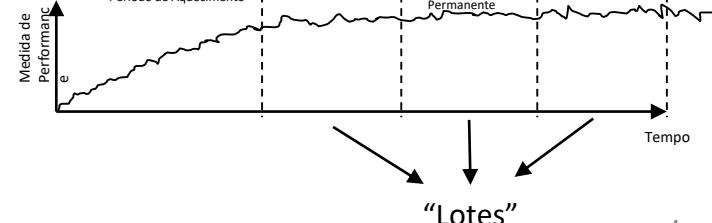


Rep 2



Rep 3

Opção 2: Uma Replicação longa.



01/06/2019

SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL

VERIFICAÇÃO E VALIDAÇÃO DE MODELOS

Verificação e Validação

- Validação Conceitual:
 - “Será que estamos desenvolvendo o modelo correto?”
- Verificação:
 - “Será que estamos desenvolvendo corretamente o modelo?”
- Validação Operacional:
 - “Os resultados gerados pelo modelo são condizentes com os resultados observados no mundo real?”

01/06/2019

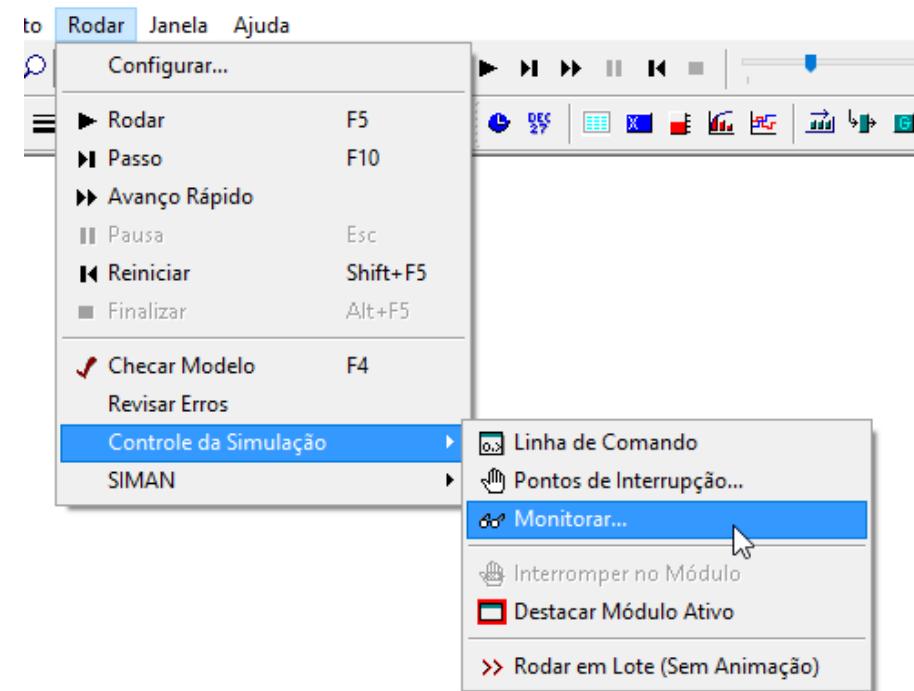
Técnicas de Verificação

- Implementação e Verificação Modular:
 - Construir e testar o modelo por partes;
- Verificação com Valores Constantes:
 - Definir valores constantes para o modelo de simulação e avaliar resultados contra o resultado esperado;
- Utilização do Debugger:
 - Visualizar a execução da simulação passo-a-passo;
- Simulação Manual:
 - Simular o comportamento do sistema “manualmente” e comparar os resultados com o modelo;
- Animação Gráfica:
 - Utilizar os recursos de animação para acompanhar o comportamento do sistema simulado.
- Revisão em Grupo:
 - Revisar o comportamento do modelo junto a um grupo de especialistas.

01/06/2019

Verificação no Arena

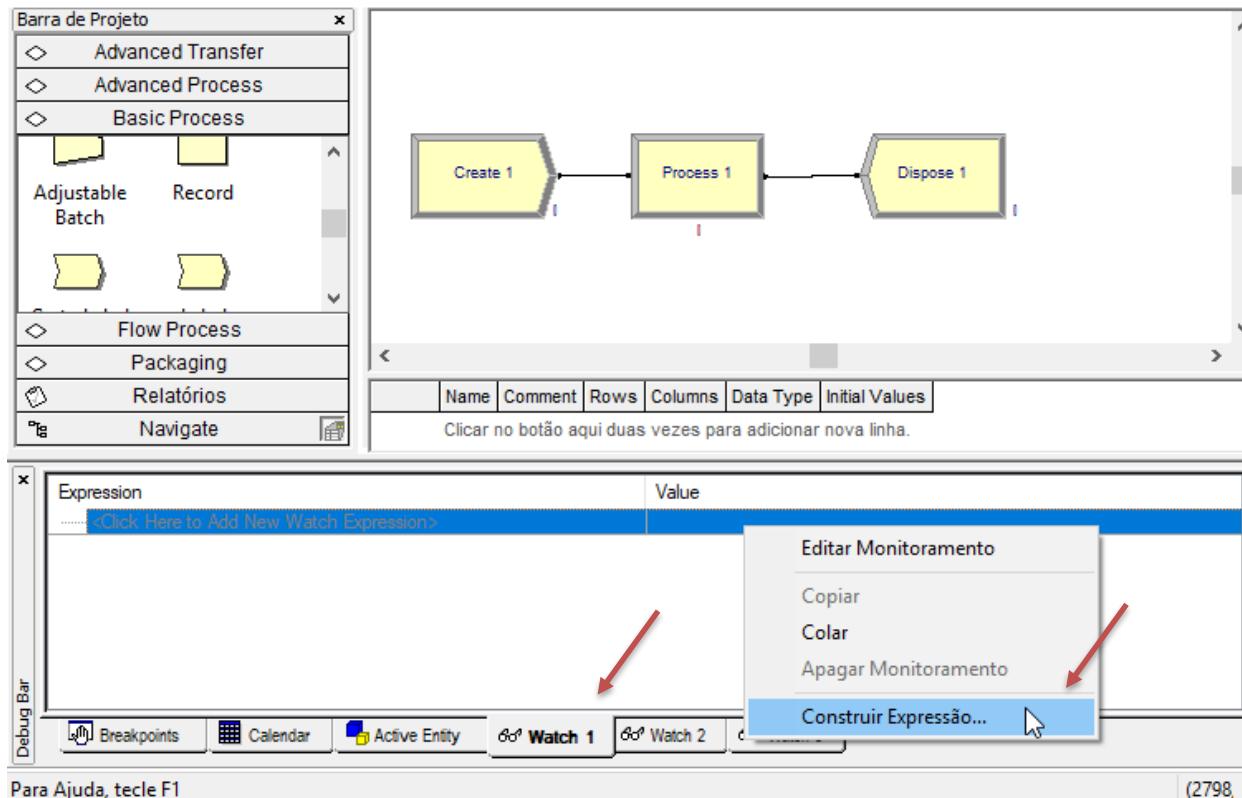
- Ferramentas de Verificação:
 - “Pontos de Interrupção” – Breakpoints: Interrompe a execução do modelo de acordo com uma condição definida;
 - “Monitorar” – Watch – Permite o monitoramento de expressões criadas com o Arena.



01/06/2019

Verificação no Arena

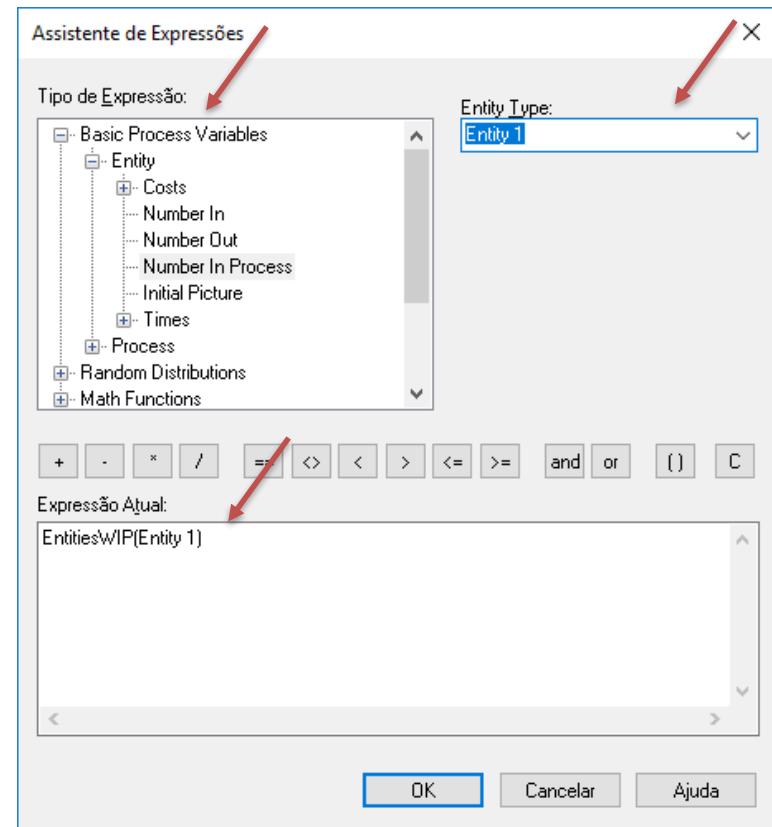
- Monitorando Expressões:



01/06/2019

Verificação no Arena

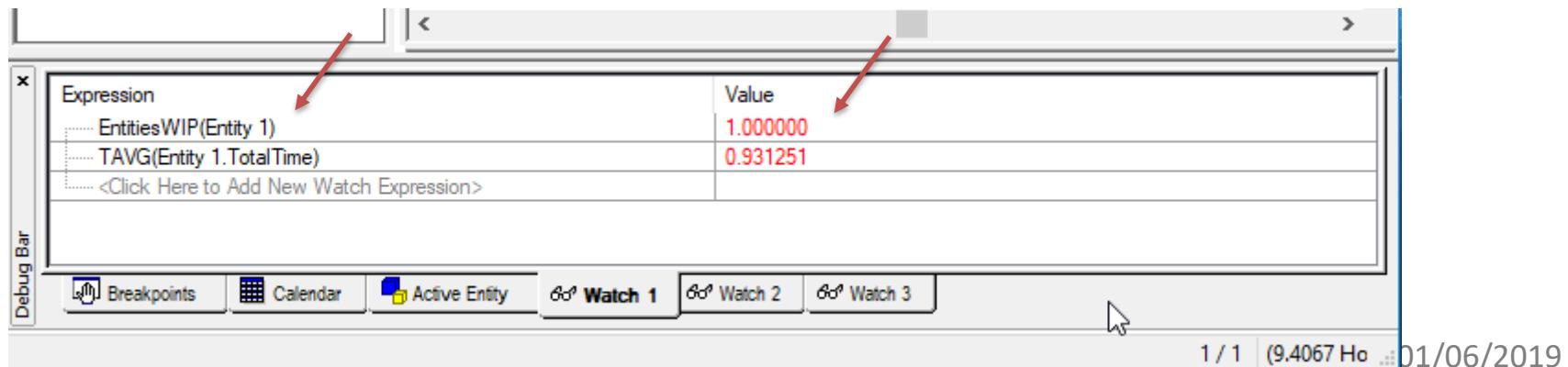
- Monitorando Expressões:
 - Utilize o Assistente de Expressões para criar uma “fórmula” que você deseja monitorar;
 - É possível criar estatísticas para todas as medidas de desempenho calculadas pelo Arena.



01/06/2019

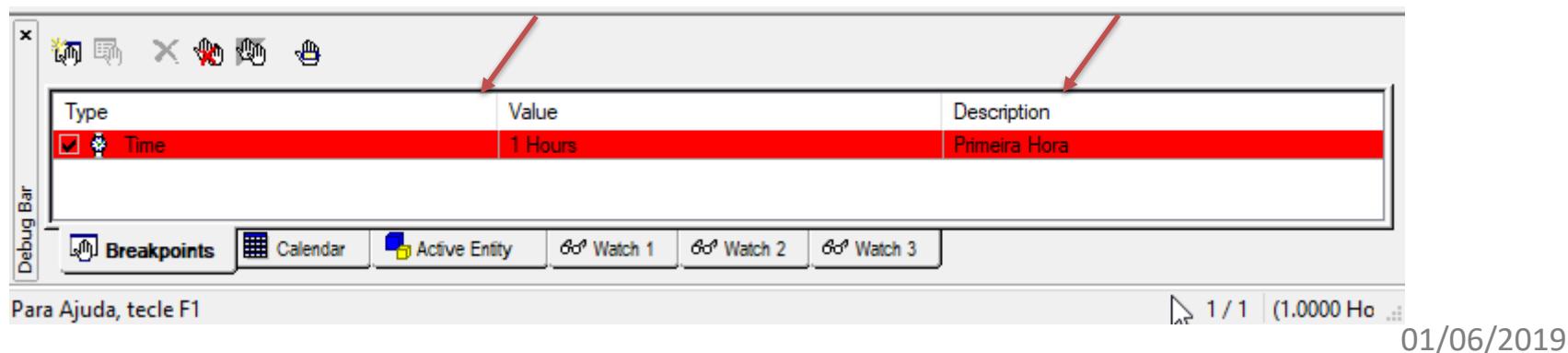
Verificação no Arena

- Monitorando Expressões:
 - Inicie uma replicação (no modo de execução com animação) e pause a execução da replicação.
 - Será possível acompanhar o valor das expressões a cada momento em que a simulação é pausada.



Verificação no Arena

- Adicionando BreakPoints:
 - Adicione Breakpoints para parar a simulação no tempo desejado, ou de acordo com uma condição especificada por meio de uma expressão;
 - Quando a simulação parar, verifique a situação do modelo em suas variáveis monitoradas.



Exercício de Verificação

- Crie a primeira versão (o mais simplificada possível) de seu modelo computacional no arena;
- Defina quais serão as variáveis utilizadas para verificação e validação;
- Utilize Breakpoints para monitorar a execução do modelo e o valor da variável de resposta ao longo da simulação;
- Altere o modelo e verifique se o comportamento do mesmo em uma replicação seguirá o valor esperado.

01/06/2019

Expressões Úteis para Verificação

Expressão	Significado
EntitiesIn(Tipo_Entidade)	Número de Entidades que Entraram no Sistema
EntitiesOut(Tipo_Entidade)	Número de Entidades que Saíram do Sistema
EntitiesWIP(Tipo_Entidade)	Número de Entidades no Sistema
TAVG(Tipo_Entidade.TotalTime)	Tempo Médio das Entidades no Sistema
TAVG(Tipo_Entidade.WaitTime)	Tempo Médio de Espera no Sistema
TAVG(Tipo_Entidade.VATime)	Tempo Médio de Agregação de Valor
Operacao 1.NumberOut	Número de Entidades que saiu da operação 1
Operacao 1.NumberIn	Número de Entidades que Entrou na Operação 1
TNOW	Tempo de Simulação Atual

01/06/2019

Técnicas de Validação

- Tipos de Erro:
 - Tipo I: Rejeitar um modelo válido;
 - Tipo II: Aceitar um modelo inválido;
 - Tipo III: O modelo não atende aos objetivos estabelecidos (o modelo pode ser válido, mas não é capaz de responder às perguntas em questão).

01/06/2019

Técnicas de Validação

- Teste de Turing:
 - “Teste da Imitação”: Apresentar resultado reais e resultados do modelo a pessoas e verificar se estas conseguem distinguir a resposta real do sistema da resposta do modelo.
- Testes Estatísticos:
 - Testar as seguintes hipóteses estatisticamente (por um teste t, por exemplo):
 - H0: A medida de desempenho gerada pelo modelo é igual à medida de desempenho real;
 - H1: A medida de desempenho gerada pelo modelo não é igual à medida de desempenho real
- Duplicação de Modelos:
 - Comparar os modelos de duas equipes distintas a respeito do mesmo sistema (ex.: modelos de previsão do tempo / direção de tornados);
- Comparaçao com Modelos Anteriores:
 - Comparar o resultado do modelo a modelos anteriores / outros tipos de modelos (ex.: modelos analíticos);
- Análise de Sensibilidade:
 - Determinar a influência de parâmetros de entrada sobre os resultados.
- Validação junto a Especialistas
 - Revisar o comportamento do modelo junto a um grupo de especialistas.

01/06/2019

Técnicas de Validação

Testes de Hipótese

- Problemas Conhecidos relacionados à aplicação dos testes de hipótese:
 - Os testes tradicionais de hipótese não são *diretamente* aplicáveis, visto que os resultados das simulações são frequentemente não-estacionários e auto-correlacionados (Law, Kelton, 1991, pg. 315).
- Abordagens:
 - Inspeção de Estatísticas do Sistema e Modelo:
 - Ex.: Observar a média e variância do modelo e do mundo real;
 - Avaliação do Intervalo de Confiança para a diferença entre a média da medida de performance do sistema e a média do modelo.

01/06/2019

Técnicas de Validação

Testes de Hipótese

- Teste recomendado por Law e Kelton (1991, p. 319):

Observação j	X_j (Sistema Real)	Y_j (Modelo)
1	20	21
2	10	11
3	20	21
4	10	11
Média	$\mu_X = 15$	$\mu_Y = 16$
Diferença	$d = \mu_X - \mu_Y = -1$	

- Se o intervalo de confiança para a diferença possuir o número 0, pode-se aceitar o modelo como válido (ou seja, a diferença não é estatisticamente significativa).
- “Pode-se dizer que a diferença entre o modelo e o sistema real é “praticamente” significativa se a diferença é grande o suficiente em magnitude para invalidar inferências sobre o sistema.”

01/06/2019

Técnicas de Validação

Testes de Hipótese

- Teste no R:

```
library(readxl)  
dados = readxl::read_xlsx(path =  
  "Dados_Validacao.xlsx")  
teste_t = t.test(Dados ~ Fonte, data =  
  dados)  
teste_t
```

- Resultado:
Welch Two Sample t-test

```
data: Dados by Fonte  
t = -0.7099, df = 8.6191, p-value = 0.4965  
alternative hypothesis: true difference in means is not equal to 0  
95 percent confidence interval:  
-129.40940 67.90576  
sample estimates:  
mean in group Simulacao mean in group Sistema Real  
189.9637 220.7155
```

Não se rejeita H0

Fonte	Dados
Simulacao	295,05
Simulacao	161,10
Simulacao	99,57
Simulacao	152,00
Simulacao	275,40
Simulacao	239,66
Simulacao	208,48
Simulacao	...
Sistema Real	372,89
Sistema Real	173,25
Sistema Real	211,13
Sistema Real	108,02
Sistema Real	271,31
Sistema Real	165,83
Sistema Real	141,11
Sistema Real	...

Intervalo de confiança
contém 0.

01/06/2019



JESUÍTAS BRASIL



SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL

ANÁLISE DOS DADOS DE SAÍDA: PLANEJANDO E EXECUTANDO EXPERIMENTOS

Procedimento para Comparação de Cenários

1. Definir **Variáveis de Controle**: Que variáveis serão alteradas durante a simulação de cenários;
2. Definir **níveis** destas variáveis;
3. Criar Matriz de Experimentos;
4. Simular Experimentos;
5. Obter intervalos de confiança das variáveis de respostas para cada um dos cenários;
6. Avaliar Resultados:
 1. Calcular Contrastess;
 2. ANOVA: Comparação de Médias.

01/06/2019

Projeto de Experimentos

- Questões relevantes:
 - “Qual é o efeito que o acréscimo ou diminuição do número de recursos em uma linha de produção tem sobre o lead time?”
 - “É possível realizar investimentos em três recursos distintos. Cada um deles tem um custo de investimento distinto. Em quais deles a empresa deve investir para atingir um tempo de entrega médio x ?

01/06/2019

Conceitos de Projetos de Experimentos

- Fator: Variáveis que podem ser manipuladas durante o experimento (ex.: número de recursos, parâmetros de entradas, etc.);
- Nível: Valores que os fatores podem assumir (ex.: Capacidade da Operação de Corte = 2 Máquinas);
- Resposta: Variáveis de **saída** geradas pela simulação (ex.: lead time).
- Tratamento: Uma combinação específica de níveis dos fatores considerados (ou seja, um cenário a simular).

01/06/2019

Projeto de Experimentos 2^k completo

- O projeto experimental 2^k completo é utilizado quando queremos testar “ k ” fatores, utilizando 2 níveis para cada fator;
- O número de cenários a testar é 2^k .
- Geralmente cada um dos fatores é definido com um nível nos valores atuais e o outro nível em um novo valor proposto.

01/06/2019

Projeto de Experimentos 2^k completo

Experimento	Fator A Capacidade Máquina de Corte	Fator B Capacidade Máquina de Cola	Fator AB (Interação)	Tratamento	Lead Time Médio
1	-1	-1	1	(1)	20
2	-1	1	-1	b	18
3	1	-1	-1	a	16
4	1	1	1	ab	14

Fator	Contraste
A	-4
B	-2
AB	0

01/06/2019

Projeto de Experimentos 2^k completo

Exemplo

- Uma empresa está avaliando a possibilidade de investimentos em dois recursos distintos (máquina de corte e uma máquina de colagem).
- O processo atual obedece os seguintes tempos (em horas):
 - Chegadas: EXPO(1);
 - Corte: TRIA(0.5, 1 , 1.5);
 - Colagem: TRIA(0.5, 1 , 1.5).

01/06/2019

Projeto de Experimentos 2^k completo

Exemplo

Controles / Fatores: Variáveis a Manipular nos Experimentos

Respostas – Valores a Avaliar

Experimento	Fator A Maq_Corte	Fator B Maq_Cola	Fator AB (Interação)	Tratamento	Tempo no Sistema	Produção Total	Tempo de Espera
1	-1	-1	1	(1)	?	?	?
2	-1	1	-1	b	?	?	?
3	1	-1	-1	a	?	?	?
4	1	1	1	ab	?	?	?

01/06/2019

Projeto de Experimentos 2^k completo

Exemplo

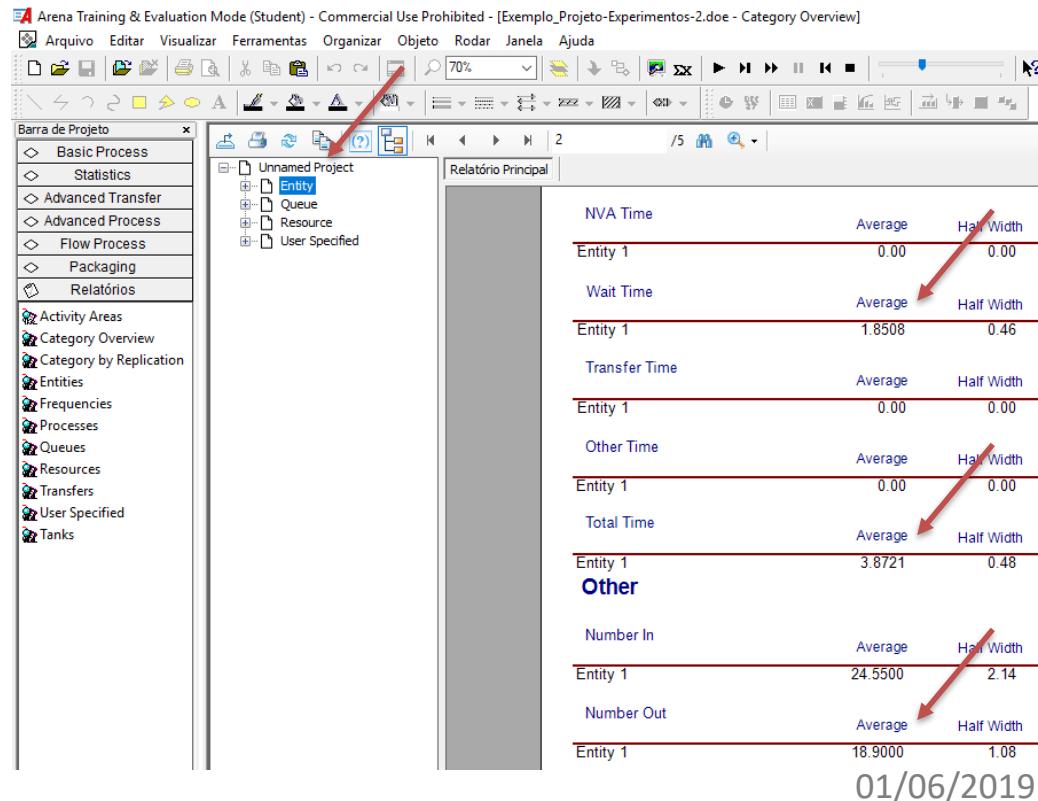
- Passos para Realizar a Análise dos Contrastes:
 - Modele o Problema no Arena;
 - Rode o Cenário base com 20 replicações;
 - Defina o tempo de simulação como 1 dia (de 24 horas);
 - Obtenha o Intervalo de Confiança para:
 - O Tempo Médio Total no Sistema;
 - A produção total em um dia de produção;
 - O Tempo Médio em Espera.

01/06/2019

Projeto de Experimentos 2^k completo

Exemplo

- Intervalos de Confiança para a média das medidas de desempenho no Cenário Atual:
 - Produção: $18,9 \pm 1,08$
 - Lead Time: $3,87 \pm 0,48$
 - Tempo Esp.: $1,85 \pm 0,46$
- É possível realizar esta análise manualmente para cada cenário, ou...



Projeto de Experimentos 2^k completo

Exemplo – Utilizando o Process Analyzer

Experimento	Fator A Maq_Corte	Fator B Maq_Cola	Fator AB (Interação)	Tratamento	Tempo no Sistema	Produção Total	Tempo de Espera
1	-1	-1	1	(1)	?	?	?
2	-1	1	-1	b	?	?	?
3	1	-1	-1	a	?	?	?
4	1	1	1	ab	?	?	?



Process Analyzer - [Projeto-Process-Analyzer-Experimentos.pan]

Arquivo Editar Visualizar Inserir Ferramentas Rodar Ajuda

Project Items Display

Scenarios

- Tratamento... Visible
- Tratamento... Visible
- Tratamento... Visible
- Tratamento... Visible

Controls

- Maq_Cola Visible

Scenario Properties

S	Name	Program File	Reps	Maq_Cola	Maq_Corte	Tempo no Sistema	Producao	Tempo de Espera
1	Tratamento (1)	3 : Exemplo_Projet	20	1	1	3.87	18.90	1.85
2	Tratamento a	3 : Exemplo_Projet	20	2	1	3.69	19.65	1.67
3	Tratamento b	3 : Exemplo_Projet	20	1	2	3.76	19.90	1.74
4	Tratamento ab	3 : Exemplo_Projet	20	2	2	2.18	22.80	0.16

Duplo-clique aqui para adicionar um novo cenário.

19



JESUÍTAS BRASIL

UNISINOS

Utilizando o Process Analyzer

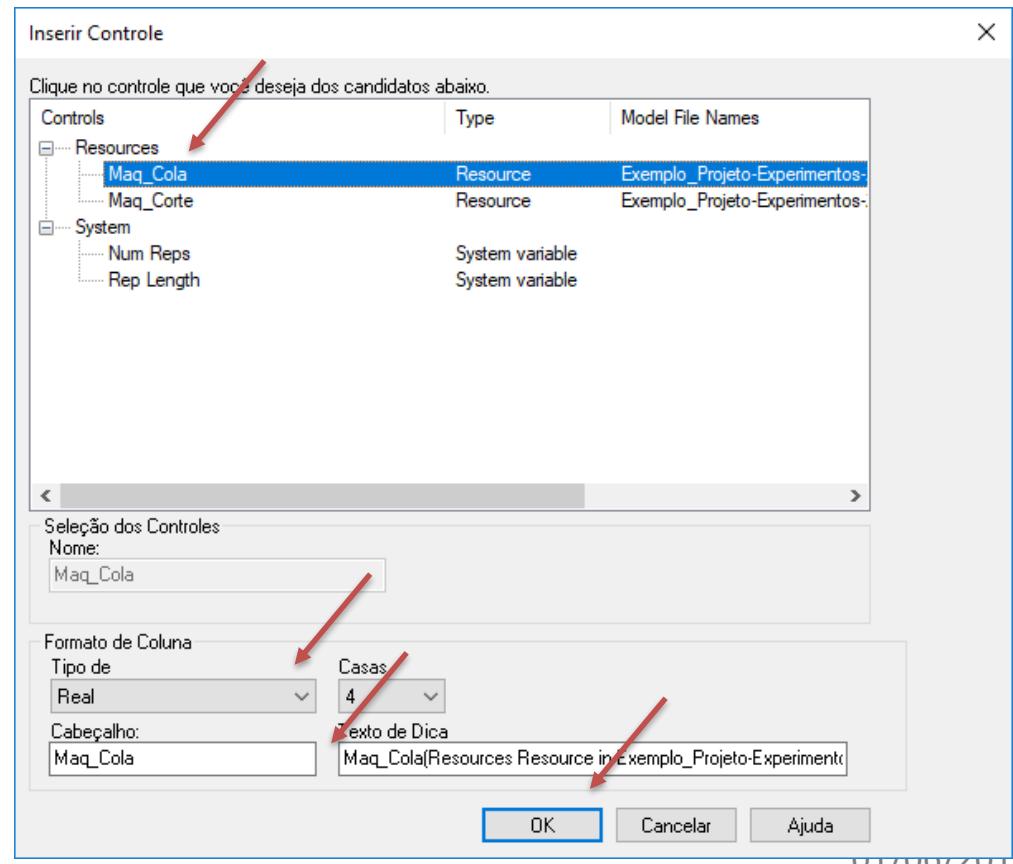
- Criar arquivo de análise;
- Crie um Cenário Base contendo os controles a variar e variáveis de respostas desejadas;
- Adicione outros Cenários contendo os controles desejados.

The screenshot shows the Process Analyzer application window. On the left, there's a tree view under 'Project Items' labeled 'Scenarios' with four entries: 'Tratamento...', 'Tratamento a', 'Tratamento b', and 'Tratamento ab'. Below this are buttons for 'Projeto' and 'Estado'. The main area has three tabs: 'Scenario Properties', 'Controls', and 'Responses'. The 'Scenario Properties' tab shows four rows with columns for S, Name, Program File, Reps, Maq_Cola, Maq_Corte, Tempo no Sistema, Producao, and Tempo de Espera. The 'Controls' tab is currently selected, showing the same columns. A context menu is open over the 'Responses' column of the fourth row, listing options: 'Inserir Controle...', 'Inserir Resposta...', 'Propriedades de Controle...', and 'Propriedades de Cenário...'. Red arrows point from the top-left to the 'File' icon in the toolbar, from the top-center to the 'Name' column header in the 'Scenario Properties' table, from the top-right to the 'Controls' tab, and from the bottom-right to the 'Responses' column header in the 'Controls' table.

Scenario Properties				Controls		Responses		
S	Name	Program File	Reps	Maq_Cola	Maq_Corte	Tempo no Sistema	Producao	Tempo de Espera
1	Tratamento (1)	3 : Exemplo_Projet	20	1	1	3.87	18.90	1.85
2	Tratamento a	3 : Exemplo_Projet	20	2				1.67
3	Tratamento b	3 : Exemplo_Projet	20	1				1.74
4	Tratamento ab	3 : Exemplo_Projet	20	2				0.16

Utilizando o Process Analyzer

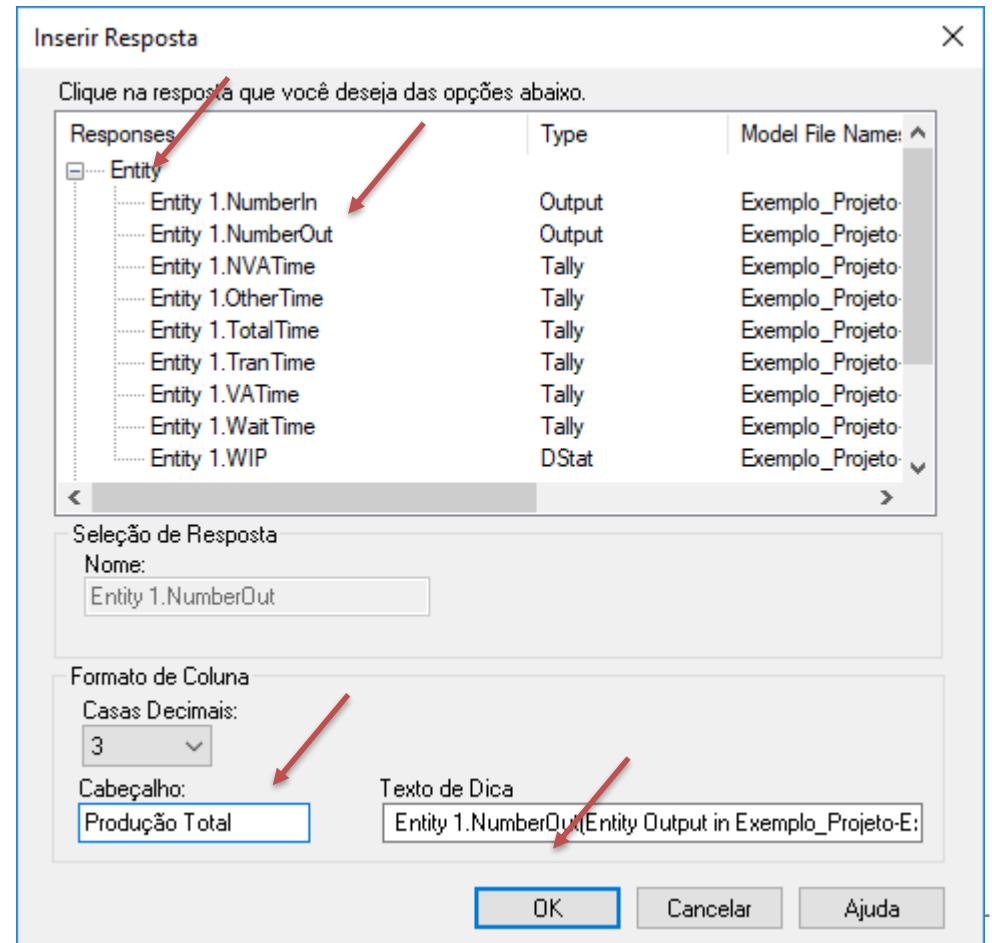
- Adicione controles para os recursos a manipular;
- Altere o nome do Cabeçalho para que corresponda à variável de resposta desejada.



01/08/2019

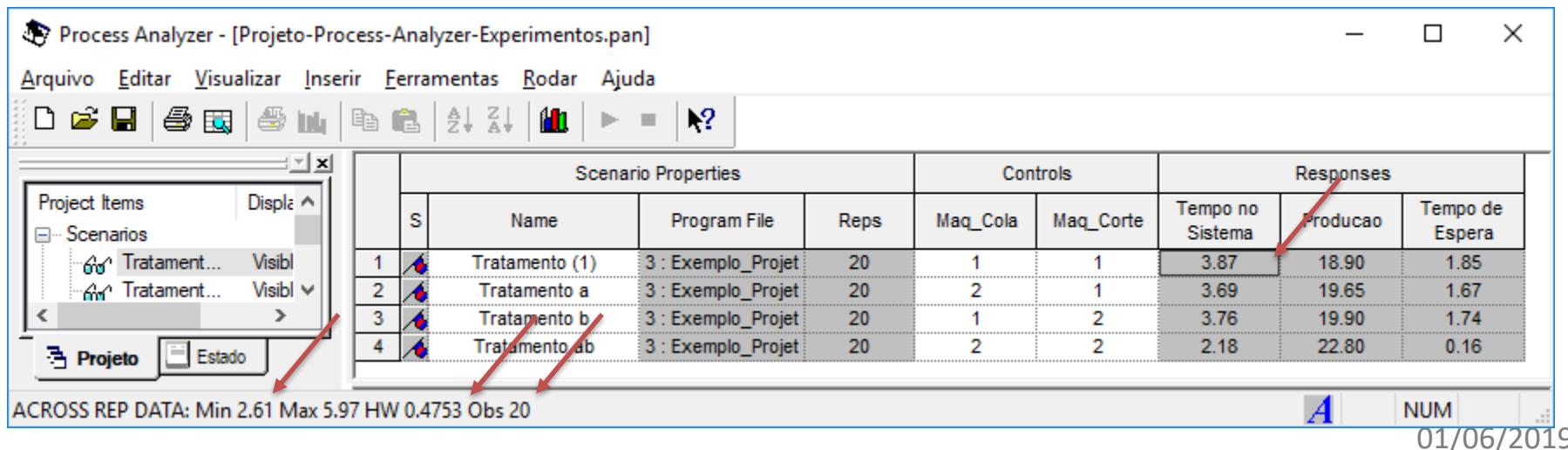
Utilizando o Process Analyzer

- Adicione variáveis de resposta considerando a análise a realizar;
- Altere o nome do Cabeçalho para que corresponda à variável de resposta desejada.



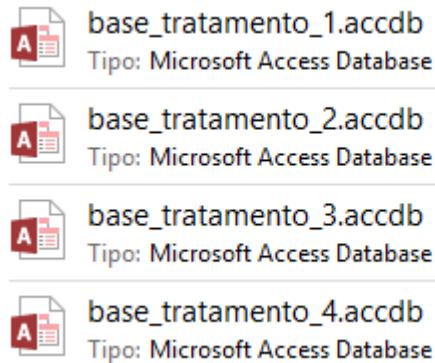
Utilizando o Process Analyzer

- Rode as replicações. Dados relacionados aos intervalos de confiança são exibidos na parte inferior do software ao manter o cursor sobre a variável de resposta:
- O tempo no Sistema no tratamento (1) tem a média de 3,87 $3,87 \pm 0,4753$.



Coletando os Dados Manualmente

- Realize cada um dos experimentos pelo Arena, alterando o número dos recursos ou variáveis conforme o critério desejado.
- Salve cópias da base de dados, e copie as estatísticas desejadas para o Excel.



01/06/2019

Coletando os Dados Manualmente

- Verifique o código da estatística a coletar na tabela “Definition”.

The screenshot shows a Microsoft Excel interface. On the left, there's a sidebar titled 'Tabelas' (Tables) listing several tables: Category, Configuration, Conversion Errors, Count, DataOutputScope, Definition (which is highlighted with a red arrow), and DefinitionType. To the right of the sidebar is a main data grid. The grid has columns labeled 'ID', 'ReportID', and 'Name'. The rows contain the following data:

ID	ReportID	Name
793	33	Tempo no Sistema
794	33	Entity 1.VATime
795	33	Entity 1.NVATime
796	33	Entity 1.WaitTime
797	33	Entity 1.TranTime
798	33	Entity 1.OtherTime

A red arrow points from the 'Definition' table in the sidebar to the 'Definition' row in the main grid. Another red arrow points from the 'Name' column header in the grid to the 'Name' column header in the table header. The date '01/06/2019' is visible in the bottom right corner of the grid area.

Coletando os Dados Manualmente

- Acesse a tabela “Statistics” e copie a coluna “AvgObs”, filtrando pelo código observado (neste caso, 793).

The screenshot shows a Microsoft Access application window. The ribbon menu is visible at the top, with the 'Access' tab selected. The 'Tabelas' (Tables) pane on the left lists various database objects, with 'Statistic' highlighted. The main workspace displays a table named 'Statistic' with the following columns: ID, ReplicationID, DefinitionID, MinObs, MaxObs, AvgObs, HalfWidth, LastValue, and I. A filter is applied to the 'DefinitionID' column, showing only rows where DefinitionID equals 793. Red arrows point from the text 'filtrando pelo código observado (neste caso, 793)' to the 'DefinitionID' column header in the table and to the filter icon in the ribbon toolbar.

ID	ReplicationID	DefinitionID	MinObs	MaxObs	AvgObs	HalfWidth	LastValue	I
6355	355	793	2.2542501034	8.3906520193	5.9675514499	2E+20	8.3906520193	
6373	356	793	2.1151825731	8.8261577178	4.8661598535	2E+20	8.6110391112	
6391	357	793	1.5501175248	4.6976866142	3.5289764255	2E+20	3.6590398704	
6409	358	793	2.0812432532	3.8690090342	2.6065487388	2E+20	2.8769537557	
6427	359	793	1.9717933667	7.9295264990	4.3192302355	2E+20	7.9295264990	
6445	360	793	1.9540751209	8.165275351	4.3022071153	2E+20	8.165275351	
6463	361	793	1.8076895692	4.7345280092	3.4752154904	2E+20	4.4661776821	
6481	362	793	1.5340594947	4.6541130231	3.1723845755	2E+20	4.4806536238	
6499	363	793	1.406049886	7.5495815955	3.9558719321	2E+20	7.5495815955	
6517	364	793	1.5404301243	3.8154883707	2.6085689283	2E+20	3.5436213725	
6535	365	793	1.3012230596	4.5538722798	2.7251083389	2E+20	1.8419750984	
6553	366	793	1.9890422715	7.4919867752	4.9921297614	2E+20	7.4919867752	
6571	367	793	1.6169843480	4.6653599941	3.0997550048	2E+20	1.7983539176	
6589	368	793	1.8114906290	5.1619485801	3.1690473031	2E+20	2.9490818768	
6607	369	793	1.7616661616	8.6537834092	5.5953296451	2E+20	5.5953197596	

01/06/2019

Coletando os Dados Manualmente

- Organize os dados de saída em uma tabela para a análise dos resultados dos experimentos:

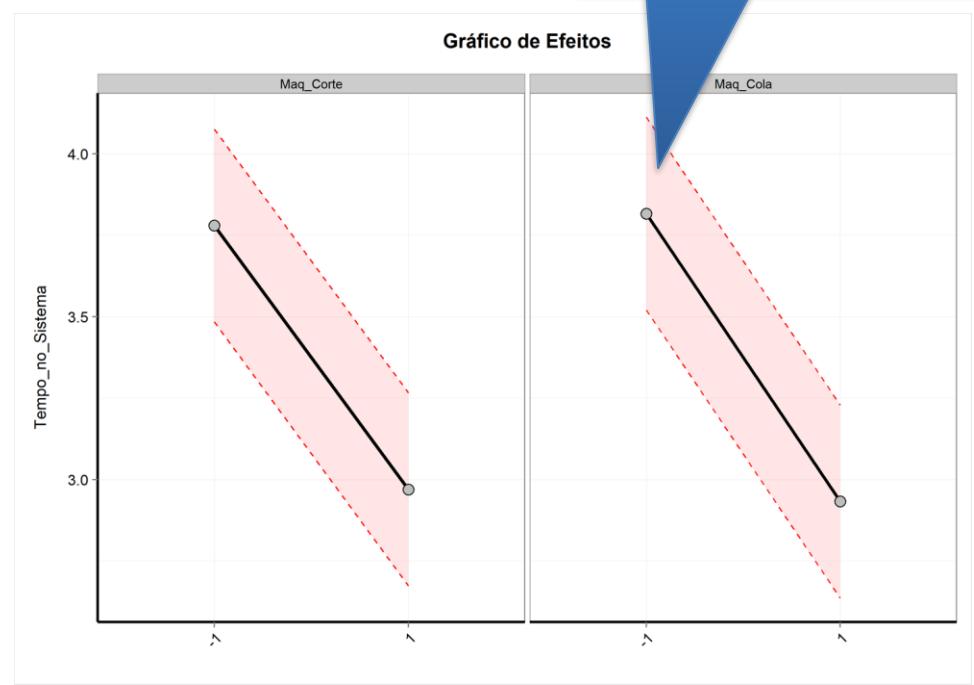
	A	B	C	D	E	F
1	Tratamento	Replicacao	Maq_Corte	Maq_Cola	Tempo no Sistema	
2		1	1	-1	-1	5.96755145
3		1	2	-1	-1	4.866159854
4		1	3	-1	-1	3.528976425
5		1	4	-1	-1	2.666548739
6		1	5	-1	-1	4.319230235
7		1	6	-1	-1	4.302207115
8		1	7	-1	-1	3.47521549

01/06/2019

Executando a Análise

Gráfico de Efeitos

- Gráfico de Efeitos:**
Apresenta o efeito médio de cada um dos fatores sobre a variável de resposta.
- Observar que o efeito médio **não é igual** ao efeito isolado do fator (em comparação ao cenário AS-IS).



Experimento	Fator A Maq_Corte	Fator B Maq_Cola	Fator AB (Interação)	Tratamento	Tempo no Sistema
1	-1	-1	1	(1)	3.872
2	-1	1	-1	b	3.761
3	1	-1	-1	a	3.687
4	1	1	1	ab	2.178

Tempo no Sistema			
Fator	Média Baixo	Média Alto	Contraste
A (Corte)	3.817	2.933	-0.884
B (Cola)	3.780	2.970	-0.810
AB (Interação)	3.724	3.025	-0.699

06/2019

Executando a Análise

Gráfico de Efeitos

- Cálculos dos Contrastes:

Média do Tempo no Sistema
quando ao fator Cola é Baixo
(ou seja, Capac. = 1)

A	B	C	D	E	F	
1						
2	Experimento	Fator A Maq_Corte	Fator B Maq_Cola	Fator AB (Interação)	Tratamento	Tempo no Sistema
3	1	-1	-1	=B3*C3	(1)	=MÉDIASE(Dados!\$A:\$A;A3;Dados!\$E:\$E)
4	2	-1	1	=B4*C4	b	=MÉDIASE(Dados!\$A:\$A;A4;Dados!\$E:\$E)
5	3	1	-1	=B5*C5	a	=MÉDIASE(Dados!\$A:\$A;A5;Dados!\$E:\$E)
6	4	1	1	=B6*C6	ab	=MÉDIASE(Dados!\$A:\$A;A6;Dados!\$E:\$E)
7						

7				
8		Tempo no Sistema		
9	Fator	Média Baixo	Média Alto	Contraste
10	A	=MÉDIASE(B3:B6;-1;F3:F6)	=MÉDIASE(B3:B6;1;F3:F6)	=C10-B10
11	B	=MÉDIASE(C3:C6;-1;F3:F6)	=MÉDIASE(C3:C6;1;F3:F6)	=C11-B11
12	AB	=MÉDIASE(D3:D6;-1;F3:F6)	=MÉDIASE(D3:D6;1;F3:F6)	=C12-B12
13				

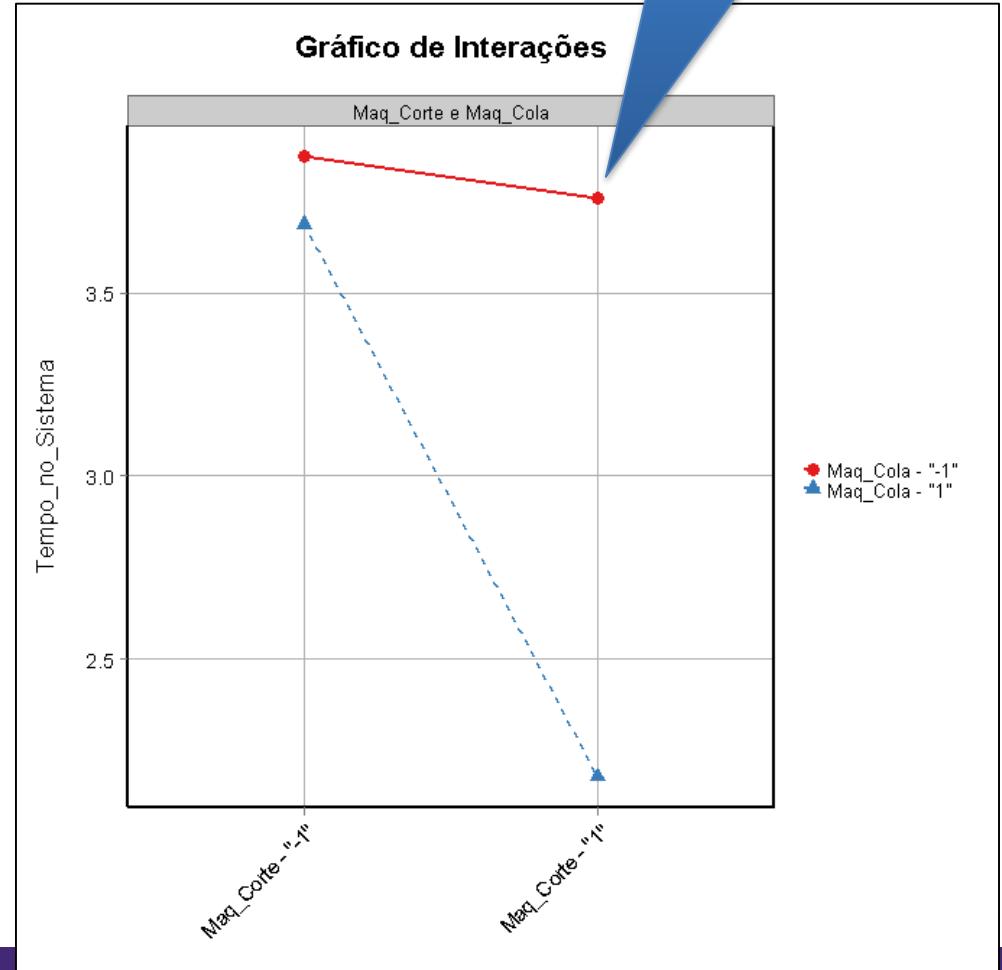
01/06/2019

Executando a Análise

Gráfico de Interações

- **Gráfico de Interações:**
Demonstra se o efeito de cada fator possui interação com o efeito de outros fatores.
- Geralmente haverá interação ex.: Adicionar cada um dos recursos isoladamente tem um efeito muito menor do que adicionar os dois simultaneamente.
- Se o gráfico contém retas paralelas, não há interação. Se possui retas oblíquas há alta interação.

Média do Tempo no Sistema quando ao fator Cola é Baixo e o Fator corte é "Alto"

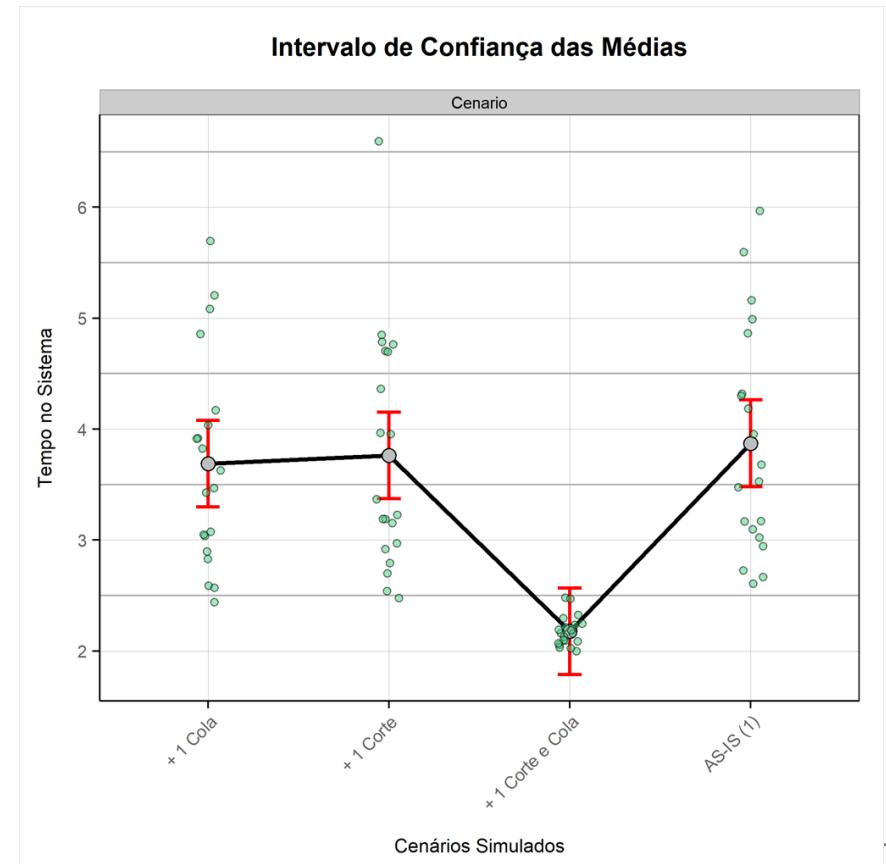


Executando a Análise

Intervalo de Confiança para as Médias

- **Intervalo de Confiança para as Médias:**
- Demonstra que a média será estatisticamente diferente apenas no cenário onde se adiciona dois recursos.
- Pode-se comparar o intervalo de confiança da média no cenário AS-IS do modelo com o intervalo de confiança do sistema real para suportar a avaliação do modelo.

Intervalo de Confiança das Médias				
	Média	D.P	Limite Inferior	Limite Superior
+ 1 Cola	3.69	0.88	3.30	4.08
+ 1 Corte	3.76	0.88	3.37	4.15
+ 1 Corte e Cola	2.18	0.88	1.79	2.57
AS-IS (1)	3.87	0.88	3.48	4.26



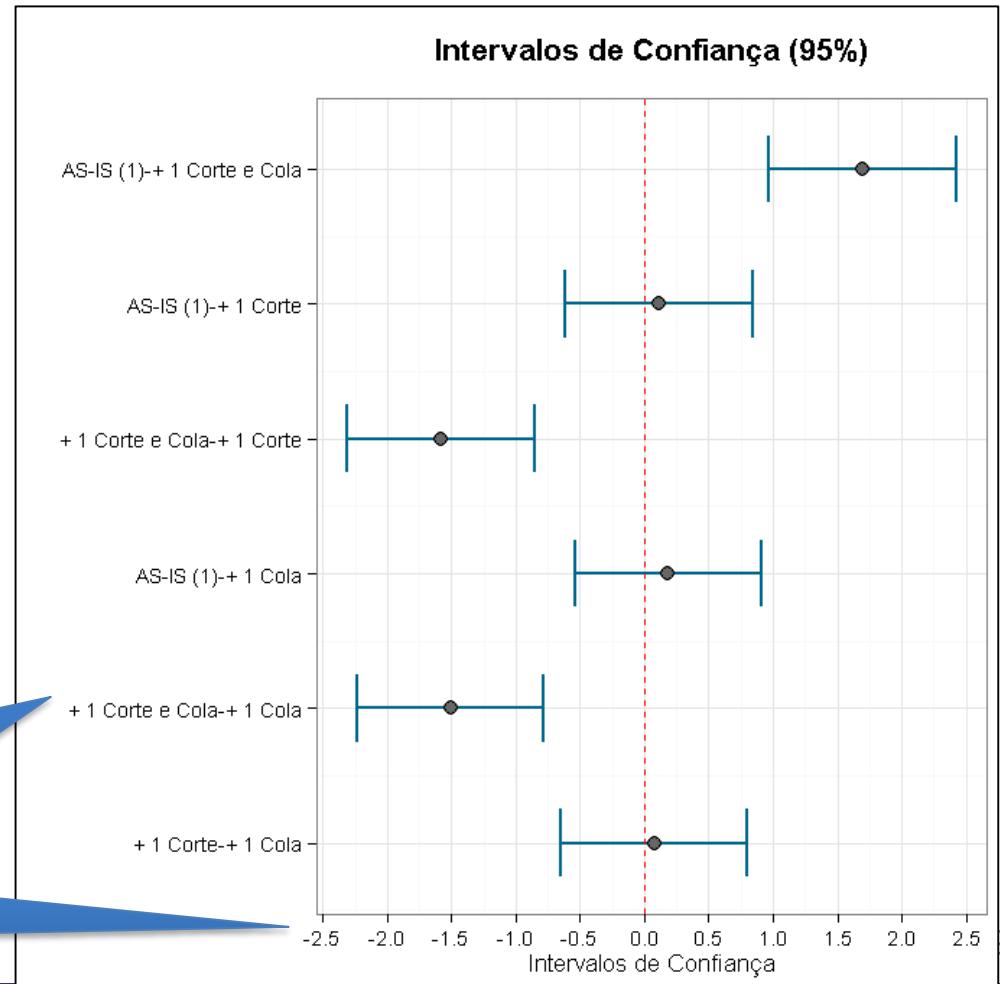
Executando a Análise

Teste de Tukey e ANOVA

- **Teste de Tukey:**
- Realiza a comparação de médias da combinação de cada um dos tratamentos (Cenários).

É possível observar que o cenário no qual os dois recursos são ampliados destaca-se com uma diferença de, em média 1,5 horas de leadtime dos demais cenários

O eixo horizontal apresenta a diferença entre a média dos grupos Indicados. Se o intervalo de confiança não cruzar o eixo “0”, a média do grupo é estatisticamente diferente dos demais.



Executando a Análise

Teste de Tukey e ANOVA

Tabela da Anova					
	G.L.	Soma.de.Quadrados	Quadrado.Médio	Estat..F	P.valor
Fator	3	38.50	12.83	16.74	2E-08
Resíduos	76	58.26	0.77		

Valor $p < 0.001$, logo nem todas as médias são iguais. Quais diferenças são realmente diferentes?

Comparações Múltiplas				
Níveis	Centro	Límite Inferior	Límite Superior	P-valor
+ 1 Corte-+ 1 Cola	0.07	-0.65	0.80	0.993289
+ 1 Corte e Cola-+ 1 Cola	-1.51	-2.24	-0.78	3.57E-06
AS-IS (1)-+ 1 Cola	0.19	-0.54	0.91	0.908566
+ 1 Corte e Cola-+ 1 Corte	-1.58	-2.31	-0.86	1.21E-06
AS-IS (1)-+ 1 Corte	0.11	-0.62	0.84	0.977907
AS-IS (1)-+ 1 Corte e Cola	1.69	0.97	2.42	2.28E-07

Há diferenças significativas quando compara-se o tratamento “ + 1 Corte e Cola” com os outros (assim como observado no intervalo de confiança das médias).

Agrupamento		
Fator	Médias	Grupos
AS-IS (1)	3.872119	a
+ 1 Corte	3.760888	a
+ 1 Cola	3.686978	a
+ 1 Corte e Cola	2.178475	b

Estatisticamente, as médias dos tratamentos AS-IS, +1 Corte, +1 Cola pertencem ao mesmo grupo. A média do +1 Corte e Cola pertencem a um segundo grupo.