

7

Análise de variáveis relevantes e cenários do modelo

7.0. Introdução

A partir da seleção do regime de **MOVIMENTAÇÃO MÍNIMA** como o mais indicado para o processo de atendimento e da limitada utilização de dados históricos na construção do modelo, outras nuances devem ser analisadas.

Não há elementos suficientes que apontem um valor esperado de intervalos entre chegadas exponencial de 4 minutos/chegada, como a mais representativa da possível realidade a se consolidar com a implantação do novo processo.

Valores esperados de intervalos entre chegadas inferiores podem ser mais coerentes com a realidade e, assim sendo, não devem ser descartados neste estudo. Para avaliar tais efeitos, testa-se o modelo **MOVIMENTAÇÃO MÍNIMA (SPC)** a valor esperado de intervalos entre chegadas de 3.

Quanto ao tempo de serviço do equipamento de movimentação *reach stacker*, a despeito das limitadas informações que conduziram a uma modelagem baseada numa $N(2,5; 0,1667)$, segundo o item 4.1 acima, é de interesse estudar cenários que envolvam alterações no tempo de movimentação de contêineres. A eficiência dos operadores pode afetar significativamente o desempenho do processo.

Para atender a este desdobramento de cenários, desloca-se a média da curva de atendimento 0,3 minutos (18 segundos) para cima e para baixo da originalmente utilizada (2,5 minutos), mantendo o desvio-padrão, de forma a testar o desempenho do modelo à média da eficiência do operador. Estuda-se, então o tempo de serviço também como uma $N(2,8; 0,1667)$ e uma $N(2,2; 0,1667)$.

O Quadro 7.0.A. apresenta uma síntese das diversas combinações dos cenários em estudo:

Quadro 7.0.A.

CENÁRIOS EM ESTUDO

Regime de Atendimento: Movimentação Mínima - 500 replicações

Cenário 1A: (já estudado no Capítulo 6)

Tempo de Atendimento: N(2,5; 0,1667)
E[Intervalo entre Chegadas]: 4,0

Cenário 1B:

Tempo de Atendimento: N(2,5; 0,1667)
E[Intervalo entre Chegadas]: 3,0

Cenário 2A:

Tempo de Atendimento: N(2,2; 0,1667)
E[Intervalo entre Chegadas]: 4,0

Cenário 2B:

Tempo de Atendimento: N(2,2; 0,1667)
E[Intervalo entre Chegadas]: 3,0

Cenário 3A:

Tempo de Atendimento: N(2,8; 0,1667)
E[Intervalo entre Chegadas]: 4,0

Cenário 3B:

Tempo de Atendimento: N(2,8; 0,1667)
E[Intervalo entre Chegadas]: 3,0

7.1. Estudo da variável do modelo: E[intervalo entre chegadas de carretas]

O Quadro Comparativo 7.1.A. apresenta os resultados da simulação, estruturados de forma a permitir a análise da variação de valores esperados de intervalos entre chegadas.

Quadro 7.1.A.

COMPARATIVO ENTRE CENÁRIOS $\lambda = 4$ versus $\lambda = 3$; μ FIXO - REGIME DE ATENDIMENTO: MOVIMENTAÇÃO MÍNIMA (SPT) (500 replicações)																											
Cenários	Quantidade de Clientes												Tempos (em minutos)								Movimentações						
	Tamanho médio fila		Com Tempo de espera em fila < 30 min		30 min < Com Tempo de Espera em Fila < 60 min		60 min < Com Tempo de Espera em Fila < 90 min		90 min < Com Tempo de Espera em Fila < 120 min		Com Tempo de espera em fila > 120 min		Que ultrapassam a Janela de Tempo		Tempo médio espera em fila		Tempo médio de atendimento		Tempo chegada total		Tempo ociosidade total		Tempo excedente a 120 minutos		Qtde Movimentações média/container		
	média	desvio-padrão	média	desvio-padrão	média	desvio-padrão	média	desvio-padrão	média	desvio-padrão	média	desvio-padrão	média	desvio-padrão	média	desvio-padrão	média	desvio-padrão	média	desvio-padrão	média	desvio-padrão	média	desvio-padrão	média	desvio-padrão	média
1A	6,7	1,5	21,5	3,0	6,1	2,5	2,0	1,4	0,4	0,7	0,0	0,1	2,4	2,5	22,8	5,1	4,0	0,3	103,4	11,7	0,0	0,0	2,8	8,8	1,6	0,1	
1B	7,9	1,8	19,8	3,4	7,4	2,7	2,4	1,6	0,4	0,6	0,0	0,0	1,0	1,7	25,6	5,9	3,8	0,3	89,7	14,0	0,0	0,0	-4,1	8,9	1,5	0,1	
2A	5,8	1,3	23,5	2,7	5,2	2,3	1,1	1,2	0,1	0,3	0,0	0,0	1,0	1,8	18,5	4,3	3,7	0,3	102,3	11,9	0,0	0,0	-4,6	9,8	1,7	0,1	
2B	7,1	1,7	22,4	3,1	6,0	2,7	1,5	1,3	0,1	0,3	0,0	0,1	0,2	0,9	20,9	4,8	3,4	0,3	87,6	13,9	0,0	0,0	-13,5	9,1	1,6	0,1	
3A	7,7	1,6	18,9	3,6	7,3	3,0	3,0	1,7	0,8	0,9	0,0	0,2	4,4	2,8	28,5	6,1	4,2	0,3	102,7	12,5	0,0	0,0	10,5	8,7	1,5	0,1	
3B	8,8	1,6	17,4	3,9	8,4	3,1	3,3	1,9	0,9	1,0	0,0	0,1	2,3	2,5	30,7	6,2	4,0	0,3	87,4	13,2	0,0	0,0	3,7	8,8	1,4	0,1	

A análise dos cenários aos pares (1A,1B), (2A,2B) e (3A,3B) permite a comparação dentre as taxas de chegadas: $\lambda = 1/4$ e $\lambda = 1/3$, respectivamente. Cada par corresponde a um dos tempos de serviço considerados.

Observa-se, com o aumento do λ (chegada de carretas mais próximas umas das outras), que o processo apresenta uma melhora significativa de desempenho, representada pela variável **TEMPO EXCEDENTE A 120 MINUTOS**.

A geração da variável **TEMPO CHEGADA TOTAL** em média nas 500 replicações, é reduzida de 103,4 minutos no cenário 1A para 89,7 minutos no cenário 1B.

Ocorre também uma degradação do **TAMANHO MÉDIO DE FILA**, o que já seria de se esperar, haja visto que as filas se formam mais rapidamente com maior λ .

A explicação para tal fato deve-se a que, com uma maior disponibilização de clientes em fila de espera (proporcionado pelo aumento de λ), mais perspectivas de atendimento segundo o critério otimizador de **MOVIMENTAÇÃO MÍNIMA** se apresentam ao modelo, com mais possibilidades de priorização e atendimento. As carretas em fila, mais acessíveis a cada instante, se beneficiam deste critério, permanecendo em fila mais tempo, as menos acessíveis. A degradação assim, ocorre para os contêineres menos acessíveis, superados por outros que entram em fila posteriormente, mais acessíveis, comparativamente a estes. Na contraposição entre estes fatores, o processo ganha como um todo. O aumento do λ revela-se portanto benéfica ao modelo de **MOVIMENTAÇÃO MÍNIMA**.

7.2. Estudo da variável do modelo: taxa de serviço às carretas (μ da distribuição normal $N(\mu, 0,1667)$)

Comparam-se aqui os cenários (2A,1A,3A) e (2B,1B,3B), com μ respectivamente 2,2, 2,5 e 2,8 minutos/contêiner. Os resultados apresentados no Quadro 7.2.A. retratam em geral, um melhor desempenho associado à redução nos tempos de atendimento, o que já seria de se esperar.

Quadro 7.2.A.

COMPARATIVO ENTRE CENÁRIOS TAXAS DE ATENDIMENTO $\mu = 2,2$; $\mu = 2,5$; $\mu = 2,8$; λ FIXO - REGIME DE ATENDIMENTO: MOVIMENTAÇÃO MÍNIMA (SPT) (500 replicações)

Cenários	Quantidade de Clientes												Tempos (em minutos)						Movimentações								
	Tamanho médio fila		Com Tempo de espera em fila < 30 min		30 min < Com Tempo de Espera em Fila < 60 min		60 min < Com Tempo de Espera em Fila < 90 min		90 min < Com Tempo de Espera em Fila < 120 min		Com Tempo de espera em fila > 120 min		Que ultrapassam a Janela de Tempo		Tempo médio espera em fila		Tempo médio de atendimento		Tempo chegada total		Tempo ociosidade total		Tempo excedente a 120 minutos		Qtde Movimentações média/container		
	média	desvio-padrão	média	desvio-padrão	média	desvio-padrão	média	desvio-padrão	média	desvio-padrão	média	desvio-padrão	média	desvio-padrão	média	desvio-padrão	média	desvio-padrão	média	desvio-padrão	média	desvio-padrão	média	desvio-padrão	média	desvio-padrão	média
2A	5,8	1,3	23,5	2,7	5,2	2,3	1,1	1,2	0,1	0,3	0,0	0,0	1,0	1,8	18,5	4,3	3,7	0,3	102,3	11,9	0,0	0,0	-4,8	9,8	1,7	0,1	
1A	6,7	1,5	21,5	3,0	6,1	2,5	2,0	1,4	0,4	0,7	0,0	0,1	2,4	2,5	22,8	5,1	4,0	0,3	103,4	11,7	0,0	0,0	2,8	8,8	1,6	0,1	
3A	7,7	1,6	18,9	3,6	7,3	3,0	3,0	1,7	0,8	0,9	0,0	0,2	4,4	2,8	28,5	6,1	4,2	0,3	102,7	12,5	0,0	0,0	10,5	8,7	1,5	0,1	
2B	7,1	1,7	22,4	3,1	6,0	2,7	1,5	1,3	0,1	0,3	0,0	0,1	0,2	0,9	20,9	4,8	3,4	0,3	87,6	13,9	0,0	0,0	-13,5	9,1	1,6	0,1	
1B	7,9	1,8	19,8	3,4	7,4	2,7	2,4	1,6	0,4	0,6	0,0	0,0	1,0	1,7	25,6	5,9	3,8	0,3	89,7	14,0	0,0	0,0	-4,1	8,9	1,5	0,1	
3B	8,8	1,6	17,4	3,9	8,4	3,1	3,3	1,9	0,9	1,0	0,0	0,1	2,3	2,5	30,7	6,2	4,0	0,3	87,4	13,2	0,0	0,0	3,7	8,8	1,4	0,1	

O efeito conjugado do critério otimizador do regime MOVIMENTAÇÃO MÍNIMA e do tempo de serviço menor (ou seja, maior eficiência na movimentação de contêineres), resulta em redução no tamanho médio da fila, tempos médios de espera em fila menores e tempos médios de atendimento também menores, com melhoria expressiva do processo, como pode ser constatado no Quadro 7.2.A.

Buscas de eficiência na movimentação de contêineres representam, portanto, expressivos benefícios no desempenho do processo em estudo, justificando investimentos em treinamento e adequadas mensurações nesta variável operacional.

7.3 Análise específica: o cenário 1B

O cenário 1B – valor esperado de intervalos entre chegadas de 3 minutos e tempo de serviço para movimentação de um contêiner distribuído segundo $N(2,5 ;$

0,1677) , é analisado aqui pelas razões apresentadas no item 7.0 acima, ou seja, pela factibilidade em ocorrer.

A variável de saída **TEMPO EXCEDENTE A 120 MINUTOS** possui média de -4,1 minutos (o processo encerra, em média, 4,1 minutos antes de completar a janela de tempo de duas horas) e desvio-padrão de 8,9 minutos.

Utiliza-se também o software SPSS 13.0 para executar o teste de aderência *Kolmogorov-Smirnov*, para identificar a distribuição estatística que melhor se ajusta aos dados amostrais. Foi testado o ajuste à distribuição Normal com resultados satisfatórios, conforme Quadro 7.3.A a seguir.

Quadro 7.3.A

The screenshot shows the SPSS Output Viewer window with the following data:

		VAR00001
N		200
Normal Parameters ^{a,b}	Mean	-4,1337
	Std. Deviation	8,91131
Most Extreme Differences	Absolute	,056
	Positive	,056
	Negative	-,034
Kolmogorov-Smirnov Z		,788
Asymp. Sig. (2-tailed)		,564

a. Test distribution is Normal.
b. Calculated from data.

A probabilidade da estatística Z está acima de 0,05, significando que a distribuição Normal N (-4,1; 8,9) é um bom ajuste para a variável aleatória **TEMPO EXCEDENTE A 120 MINUTOS**. Os três testes de aderência – Qui-quadrado, Anderson Darling e Kolmogorov-Smirnov foram realizados também no software BestFit 4.5, com resultados satisfatórios nos níveis de significância desejados em todos os testes. Maior detalhamento sobre esses testes de aderência à Normal disponibiliza-se no Apêndice 4.

Padroniza-se a distribuição acima, através da transformação $Z = \frac{X - \mu}{\sigma}$, obtendo-se as probabilidades de ocorrência de alguns eventos pré-selecionados do processo, conforme Quadro 7.3.B.

Quadro 7.3.B

REGIME MOVIMENTAÇÃO MÍNIMA (SPT)			
tx atendimento $N(2,5 ; 0,1667)$		tx entre chegadas exponencial $\lambda=3$	
Probabilidades de tempo de duração do processo além de 120 minutos			
Tempo excedente até (minutos)	Probabilidade (%)	Tempo excedente até (minutos)	Probabilidade (%)
-4,1	50,0	5	84,6
0	67,7	6	87,1
1	71,6	7	89,4
2	75,2	8	91,3
3	78,8	9	92,9
4	81,9	10	94,3

Os resultados são bastante mais promissores neste cenário do que no apresentado em 6.2 acima (detalhamento no **Quadro 6.2.B**)

Observa-se que a probabilidade de completar o processo dentro da janela de tempo é de 67,7%, contra 0,1% do cenário original. O efeito de taxas de chegadas maiores de carretas é bastante favorável ao processo como um todo, conforme já observado anteriormente.

A ser analisada novamente a distribuição da média amostral, conforme especificado em 6.2 acima. Aplica-se o mesmo intervalo de confiança de 95% ($\alpha = 0,05$), com $Z_{0,025} = 1,960$, $\sigma = 8,9$ e $\bar{X} = -4,1$, obtendo-se assim o seguinte intervalo de confiança $-4,88 \leq \mu \leq -3,32$. Neste cenário, com 95% de confiança, a média de tempos excedentes à janela de tempo é negativa, atendendo assim, em média, num horizonte de planejamento longo, à restrição da janela de tempo.

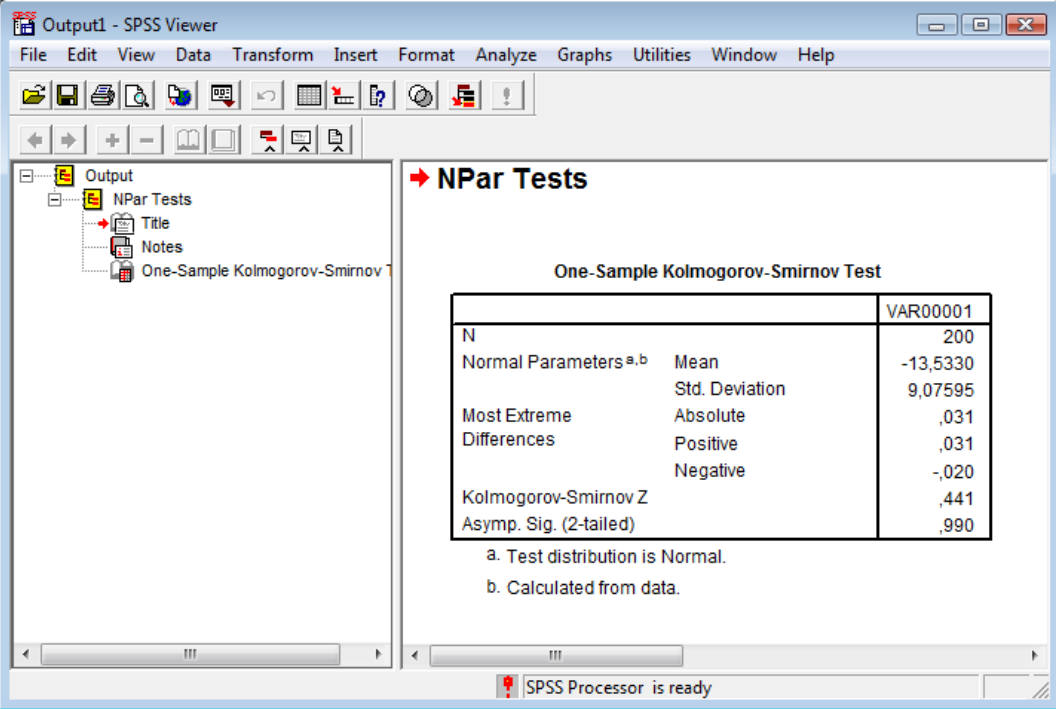
7.4 Análise específica: o cenário 2B

O cenário 2B - valor esperado de intervalos entre chegadas de 3 minutos e tempo de serviço para movimentação de um contêiner distribuído segundo $N(2,2 ; 0,1677)$, é analisado aqui por ser o que melhor atende às condições do problema, dentre os cenários propostos. Sua ocorrência envolve uma ação gerencial da instalação no sentido de perseguir eficiência, buscando uma média de movimentação/contêiner 18 segundos inferior à média real, apresentada nas entrevistas. Não há elementos para afirmar ser esta configuração possível, mas os resultados são aqui apresentados como avaliação do efeito dos benefícios de melhoria na taxa de serviço e na taxa de chegadas, conjugadas.

A variável de saída **TEMPO EXCEDENTE A 120 MINUTOS** possui média de -13,5 minutos (o processo encerra, em média, 13,5 minutos antes de completar duas horas) e desvio-padrão de 9,1 minutos.

Utiliza-se mais uma vez o software SPSS 13.0 para executar o teste de aderência *Kolmogorov-Smirnov*. Foi testado o ajuste à distribuição Normal com resultados também satisfatórios, conforme Quadro 7.4.A.

Quadro 7.4.A



The screenshot shows the SPSS Output Viewer window with the following content:

Output1 - SPSS Viewer

File Edit View Data Transform Insert Format Analyze Graphs Utilities Window Help

Output

- NPar Tests
 - Title
 - Notes
 - One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

NPar Tests

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

		VAR00001
N		200
Normal Parameters ^{a,b}	Mean	-13,5330
	Std. Deviation	9,07595
Most Extreme Differences	Absolute	,031
	Positive	,031
	Negative	-,020
Kolmogorov-Smirnov Z		,441
Asymp. Sig. (2-tailed)		,990

a. Test distribution is Normal.
b. Calculated from data.

SPSS Processor is ready

A probabilidade da estatística Z está acima de 0,05, significando que a distribuição Normal $N(-13,5; 9,1)$ é um bom ajuste para a variável aleatória **TEMPO EXCEDENTE A 120 MINUTOS**. Os três testes de aderência – Qui-quadrado, Anderson Darling e Kolmogorov-Smirnov foram realizados também no software BestFit 4.5, com resultados satisfatórios nos níveis de significância desejados em todos os testes. Maior detalhamento sobre esses testes de aderência à Normal disponibiliza-se no Apêndice 4.

Padroniza-se a distribuição acima, obtendo-se as probabilidades de ocorrência de alguns eventos pré-selecionados do processo, conforme Quadro 7.4.B.

Quadro 7.4.B

REGIME MOVIMENTAÇÃO MÍNIMA (SPT)			
tx atendimento $N(2,2 ; 0,1667)$		tx entre chegadas exponencial $\lambda=3$	
Probabilidades de tempo de duração do processo além de 120 minutos			
Tempo excedente até (minutos)	Probabilidade (%)	Tempo excedente até (minutos)	Probabilidade (%)
-13,5	50,0	5	97,9
0	93,1	6	98,4
1	94,4	7	98,8
2	95,5	8	99,1
3	96,5	9	99,3
4	97,2	10	99,5

Os resultados são excelentes neste cenário. Observa-se que a probabilidade de completar o processo dentro da janela de tempo é de 93,1%, contra 0,1% do cenário original, embora, como dito anteriormente, este seja um cenário fictício, apenas desenvolvido para fins de avaliação da instalação sobre a viabilidade de melhora de desempenho no acesso a contêineres.

A ser analisado novamente a distribuição da média amostral, conforme realizado em 6.2 e 7.3 acima, aplica-se o mesmo intervalo de confiança de 95% ($\alpha = 0,05$), com $Z_{0,025} = 1,960$, $\sigma = 9,1$ e $\bar{X} = -13,5$, obtendo-se assim o seguinte intervalo de confiança $-14,3 \leq \mu \leq -12,7$.