

Estudo de caso 1

Análise e Dimensionamento de Lava-Rápido

Enunciado

Realize a análise e dimensionamento de um Lava Rápido para automóveis, através da metodologia apresentada em aula.

- 1) Defina os objetivos do sistema e da análise;
- 2) Observe as etapas necessárias do lava-rápido e identifique os parâmetros e fatores que regem o processo;
- 3) Identifique as métricas adequadas à avaliação de desempenho do processo e
- 4) Identifique a carga ao qual o processo é submetido;
- 5) Levante dados de um lava rápido real (o Anexo A contem dados observados de um posto de Lava-rápido hipotético);
- 6) Analise os dados obtidos através de ferramentas de análise tais como Input Analyzer do Arena;
- 7) Modele e implemente utilizando o Arena. A modelagem deve fornecer como dados de saída o tempo médio total, o número médio de carros em cada fila e número total de carros atendidos.
- 8) Valide o modelo comparando estatisticamente os resultados obtidos no simulador com os tempos observados;
- 9) Planeje novos experimentos variando em níveis os diferentes parâmetros escolhidos como fatores;
- 10) A partir da simulação determine valores para dimensionamento e avaliação de desempenho;
- 11) Faça um relatório detalhado com todos resultados da análise e conclusões. Utilize gráficos e tabelas para apresentar os resultados. Mostre o que acontece com o tempo total de espera a medida que se aumenta a taxa de chegada;
- 12) Como você utilizaria os resultados para planejar a instalação de um novo estabelecimento? Como poderia avaliar os gastos e retorno financeiro mensais?

Observações: Realize o modelamento considerando que carros pequenos e grandes entram nas mesmas filas e que as filas podem crescer indefinidamente.

Resolução

I. Formulário para Análise e Modelamento de Sistemas

Nome do Modelo: Posto Lava-rápido de Veículos

Objetivos:

- Do Sistema modelado: lavagem de veículos com tempo de espera reduzido.
- Da Análise: modelar e dimensionar adequadamente o posto para atender à demanda atual e projetar novos postos.

Serviços:

Serviços	Resultados	Métricas
Lavagem de veículos	Veículo lavado e secado	1. Tempo de espera total 2. Número médio de veículos lavados por unidade de tempo 3. Qualidade do serviço realizado 4. Frequência de paradas do atendimento por falta de algum recurso (água, funcionários).
Encerar e polir	Veículo encerado e polido	5. Tempo de espera total 6. Número médio de veículos lavados por intervalo de tempo 7. Qualidade do serviço realizado 8. Frequência de paradas do atendimento por falta de algum recurso (água, funcionários).

Parâmetros, fatores e seus níveis:

Parâmetros do Sistema	Níveis	Fator
1. Tempo médio do Enxágüe inicial: <ul style="list-style-type: none">• Carro médio• Carro grande	Tempos com 1 e 2 funcionários trabalhando no mesmo carro	SIM
2. Tempo médio para Ensaboar <ul style="list-style-type: none">• Carro médio• Carro grande	Tempos com 1 e 2 funcionários trabalhando no mesmo carro	SIM

3. Tempo médio para Jato d'água <ul style="list-style-type: none"> Carro médio Carro grande 	Tempo com 1 funcionário trabalhando no mesmo carro	
4. Tempo médio para Secagem <ul style="list-style-type: none"> Carro médio Carro grande 	Tempos com 1, 2 e 3 funcionários trabalhando no mesmo carro	SIM
5. Tempo médio para Aspirar <ul style="list-style-type: none"> Carro médio Carro grande 	Tempos com 1 e 2 funcionários trabalhando no mesmo carro	SIM
6. Tempo médio para Polimento (opcional) <ul style="list-style-type: none"> Carro médio Carro grande 	Tempos com 1 e 2 funcionários trabalhando no mesmo carro	SIM
7. Intervalo médio entre uma etapa e a próxima		
8. Tempo médio para Pagar		
9. Gasto de água por veículo <ul style="list-style-type: none"> Carro médio Carro grande 	Não será utilizado na modelagem	
10. Gasto de energia elétrica por veículo <ul style="list-style-type: none"> Carro médio Carro grande 	Não será utilizado na modelagem	
11. Gasto de produtos de limpeza por veículo <ul style="list-style-type: none"> Carro médio Carro grande 	Não será utilizado na modelagem	
12. Gasto de cera por veículo <ul style="list-style-type: none"> Carro médio Carro grande 	Não será utilizado na modelagem	
Parâmetros de Carga	Níveis	Fator
13. Intervalo médio entre chegadas de carros	Cargas baixas, média e alta	SIM
14. Porcentagem de carros médios e grandes que chegam		
15. Porcentagem de carros que solicitam polimento		

Carga de Trabalho:

Parâmetro	Tipo da Carga	Tipo de distribuição	Parâmetros da distribuição
Intervalo médio entre chegadas de carros	Veículos	Determinar a partir de dados observados	A determinar
Porcentagem de carros médios x grandes	Veículos	Constante	
Porcentagem polimentos	Veículos	Constante	

Experimentos:

Experimentos	Fatores	Métricas
1	13	1. Tempo de espera total 2. Número médio de veículos lavados por unidade de tempo
2	2, 5 e 13	1. Tempo de espera total 2. Número médio de veículos lavados por unidade de tempo
3	1 e 4	1. Tempo de espera total 2. Número médio de veículos lavados por unidade de tempo
4	6 e 13	1. Tempo de espera total 2. Número médio de veículos lavados por unidade de tempo

Técnica de modelagem e avaliação:

Podem ser utilizadas as seguintes técnicas:

- Simulação do sistema utilizando uma ferramenta de simulação Arena.
- Modelagem analítica através de redes abertas de filas (algoritmo de Análise do Valor Médio)

Foram descartados testes com o sistema real pois afeta o faturamento do posto. Foi escolhida a simulação com a ferramenta Arena.

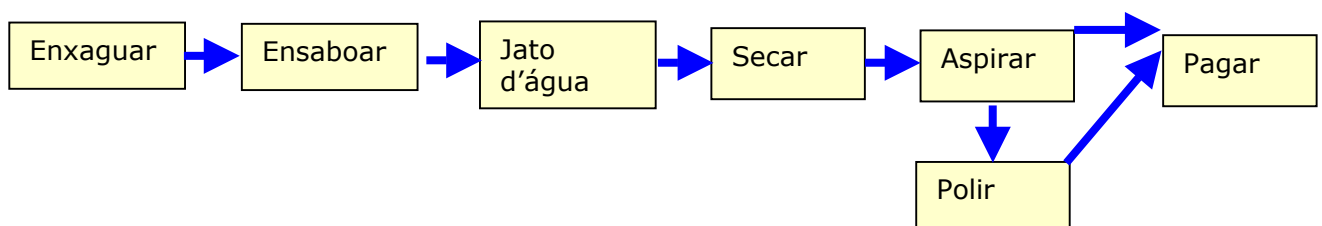


Figura 1: Estrutura do Sistema

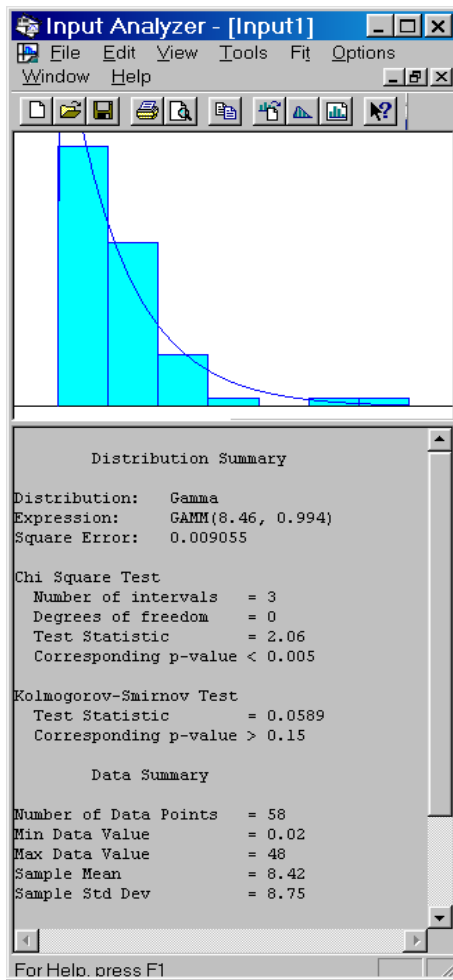
II. Análise dos Dados

Os dados observados consideram um período de 8 horas sendo que o início da observação ocorreu duas horas após a abertura do posto. A seguir será feita a análise de dados observados, escolhidos como parâmetros e fatores do sistema.

1. Intervalos de Chegada

Através do Input Analyzer do Arena determinamos a distribuição que melhor se ajusta aos dados de intervalos de chegada.

Este resultado foi utilizado com a opção de Best Fit que determina a distribuição que melhor se ajusta aos dados fornecidos. Podemos observar que a distribuição escolhida foi a Gama(8.46, 0.994).



Observar que o valor da média amostral é 8.42.

O resumo de todos os ajustes tentados é o seguinte:

Fit All Summary	
Data File: C:\Lava Rapido\ Chegada.dst	
Function	Sq Error

Gamma	0.00905
Exponential	0.00983
Erlang	0.00983
Weibull	0.00987
Beta	0.0256
Lognormal	0.0335
Normal	0.0761
Triangular	0.145
Uniform	0.244

Observar que o Input Analyzer aplica o teste dos Mínimos Quadrados (Sq Error) para decidir pelo melhor ajuste.

Notar também que o distribuição Exponencial EXP(8.42) também seria um bom ajuste.

Figura 2: Input Analyser

2. Tempos das Etapas

No caso das distribuições de tempos de chegada podemos repetir o processo de determinar o melhor ajuste através do Input Analyzer. Considerando que em alguns casos o conjunto de pontos é pequeno para permitir um ajuste adequado, vamos utilizar a distribuição triangular que se adequa a casos como este e é simples de ser calculada, pois seus parâmetros são o mínimo, moda e máximo da amostra, como mostra a figura a seguir.

Distribuição Triangular – Triang (Min, Moda, Max)

Usos mais comuns: Aproximação na ausência de dados que permitam obter uma distribuição mais adequada.

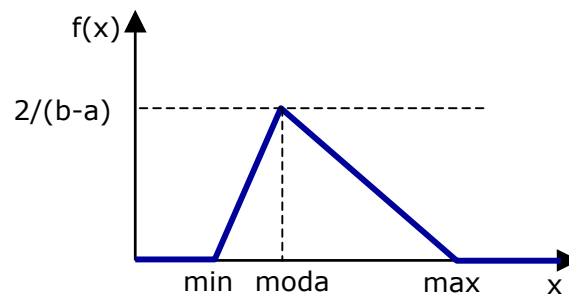


Gráfico 1: Função de distribuição de probabilidade.

Utilizando o Input Analyser do Arena podemos determinar as distribuições desejadas:

Tabela 1: Distribuições de Tempos de Serviço

	Carros Pequenos	Carros Grandes
Enxaguar	TRIA(0.79, 0.961, 1.2)	TRIA(1.42, 1.73, 1.98)
Ensaboar	TRIA(2.8, 3.05, 3.55)	TRIA(4.87, 4.96, 5.74)
Jato D'agua	TRIA(1.78, 2.02, 2.21)	TRIA(3.08, 3.39, 3.71)
Secar	TRIA(1.76, 2.09, 2.33)	TRIA(3.15, 3.61, 3.8)
Aspirar	TRIA(2.09, 3.03, 3.7)	TRIA(3.49, 5.03, 6.56)
Polir	TRIA(7.03, 7.05, 7.28)	TRIA(11.1, 11.3, 13.4)
Pagar	TRIA(0.37, 0.691, 0.82)	

3. Tempos entre Etapas

Como não dispomos de um conjunto de observações, utilizaremos a distribuição uniforme no intervalo fornecido, isto é:

Mínimo = 12 segundos = 0.2 minutos

Máximo = 18 segundos = 0.3 minutos

Assim, utilizaremos a distribuição Uniforme(0.2,0.3).

4. Porcentagem de carros grandes e pequenos

Durante o período de observação de 8 horas, chegaram 45 carros médios e 13 carros grandes.

Porcentagem de carros médios = $45 / (45 + 13) = 78 \%$

Porcentagem de carros grandes = $13 / (45 + 13) = 22 \%$

5. Porcentagem de carros que optaram por polimento

Pelos dados do Anexo A observamos que 3 carros pequenos e 3 carros grandes optaram por polimento. Concluimos que:

Porcentagem de carros médios que optaram por polimento: $3 / 45 = 6.7\%$

Porcentagem de carros grandes que optaram por polimento: $3 / 13 = 23\%$

III. Modelo em Arena

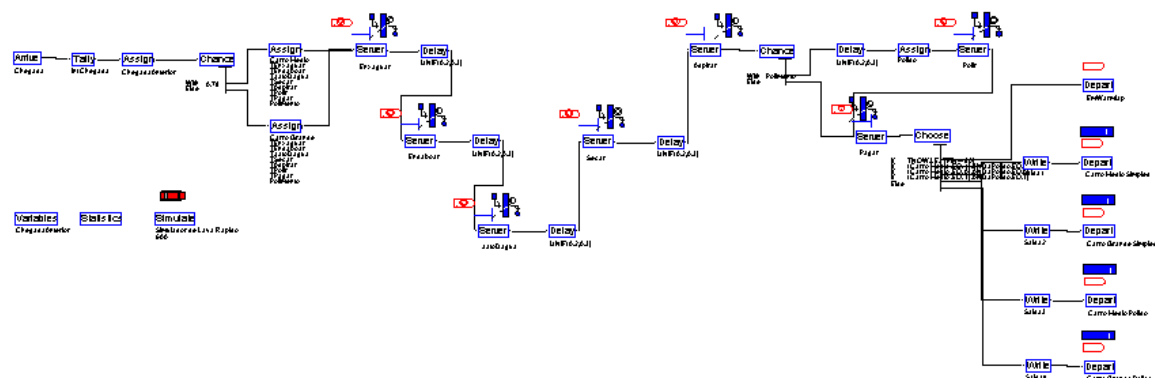
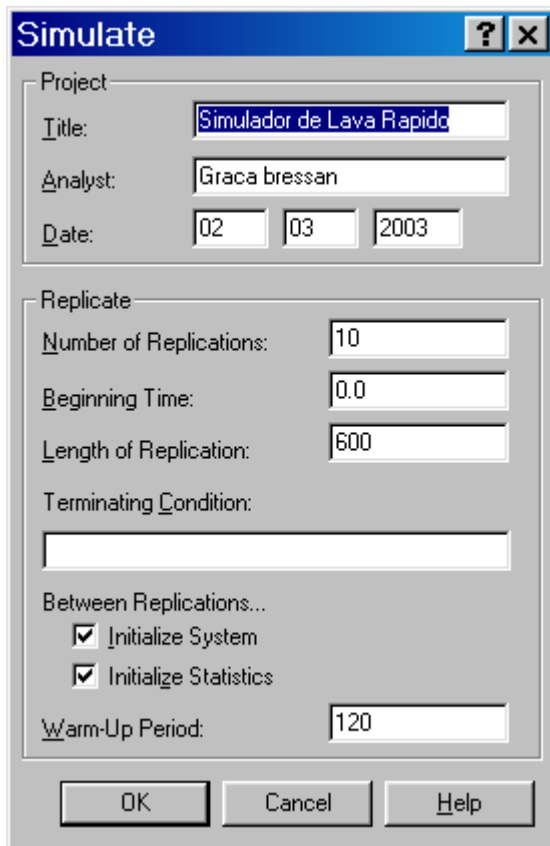


Figura 3: Modelo em Arena

IV. Execução e Validação da Simulação

Concluído o projeto do modelo em Arena, deve-se introduzir no mesmo os valores e distribuições dos parâmetros obtidos na etapa de análise dos dados. Com estes valores será feita a simulação inicial com o propósito de validar o modelo.

Deve ser observado que no modelo existe o bloco Simulate cujos argumentos são mostrados na janela a seguir.




Simulate

Simulador de Lava Rapido
600

Este bloco é o que define o tempo que irá durar a simulação além de outras informações de controle que iremos destacar.

O tempo total de simulação é definido por **Length of Replication**. No exemplo foi utilizado 600 minutos, isto é, 10 horas. Deve ser observado que no Arena todos os valores são isentos de dimensão, isto é, 600 poderia ser qualquer unidade de tempo. No nosso caso, todos os valores introduzidos serão em minutos. Se misturarmos unidades de tempo diferentes, teremos inconsistências na simulação.

Figura 4: Bloco Simulate

Replication é o número de simulações seguidas que serão executadas. Os geradores de números randômicos utilizados na verdade são formulas que dependem de uma "semente" para dar partida na geração de números. Utilizando a mesma semente chegamos à mesma seqüência de números. Por esta razão, se executarmos várias vezes o simulador, obteremos os mesmos resultados. Isto não acontece quando utilizamos o argumento **Replication** pois o próprio simulador se encarrega de escolher uma semente diferente em cada replicação. No caso escolhemos 10 para realizar 10 replicações seguidas da simulação.

Warm-Up Period é outro argumento importante pois define um período de aquecimento do sistema. No início da simulação o sistema está vazio e começam a chegar clientes. Do ponto de vista de análise de desempenho, temos interesse pelo período em que o sistema está em regime, isto é, já se estabilizou em torno de uma determinada carga. Por esta razão, este período inicial deve ser descartado das estatísticas pois distorcem os resultados. No caso escolhemos o período de Warm-up de duas horas (120 minutos) o que significa que das 10 horas de simulação, os resultados das primeiras 2 horas serão descartados, sendo

consideradas apenas as 8 horas seguintes, o que permite comparar com os dados observados.

Após executar a simulação por 10 replicações podemos observar a variabilidade dos resultados através de um parâmetro conhecido: intervalo de chegada. Este parâmetro está sendo gerado com distribuição Gama(8.46, 0.994). Os valores médios de intervalos de saída do simulador nas 10 replicações são os seguintes:

Tabela 2: Intervalos de Chegada Simulados

Replicações	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Média Simul	Média Observ	Diferença
Intervalo de Chegada	7.40	9.76	8.45	8.82	8.34	10.87	7.42	7.11	7.39	6.32	8.20	8.42	2.76 %

Em cada replicação obteve-se valores médios do intervalo de chegada bem diversos, mas a média das 10 replicações se aproximou bastante da média das observações do sistema real. Desta forma podemos verificar que uma replicação só não é suficiente para obtermos valores aceitáveis.

Em relação ao tempo total para lavagem de carros observamos os seguintes valores:

Tabela 3: Tempos Totais Simulados

Replicações	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Média Simul	Média Observ	Diferença
Carro Medio Simples	14.86	13.89	15.73	14.67	16.07	14.84	17.22	15.94	17.00	16.07	15.40	15.87	2.96%
Carro Medio Polido	21.38	--	24.16	20.99	20.82	29.60	33.50	24.21	19.54	26.35	23.70	20.93	13.23%
Carro Grande Simples	20.53	21.5	21.64	20.81	22.64	21.70	22.58	20.72	22.76	22.35	21.50	21.01	2.33%
Carro Grande Polido	34.71	34.88	33.20	33.26	37.63	31.89	41.61	34.69	36.50	35.35	34.80	34.71	0.26%

Realizando a análise dos resultados da simulação através do Output Analyser obtemos os intervalos de confiança de 0.95 dos valores simulados:

Tempo total para Carro Medio Simples = 15.7 ± 0.39

Tempo total para Carro Medio Polido = 24.6 ± 3.13

Tempo total para Carro Grande Simples = 21.9 ± 0.467

Tempo total para Carro Grande Polido = 35.3 ± 1.45

Verifica-se que o valor observado do tempo total para carro médio polido não está no intervalo de confiança obtido da simulação.

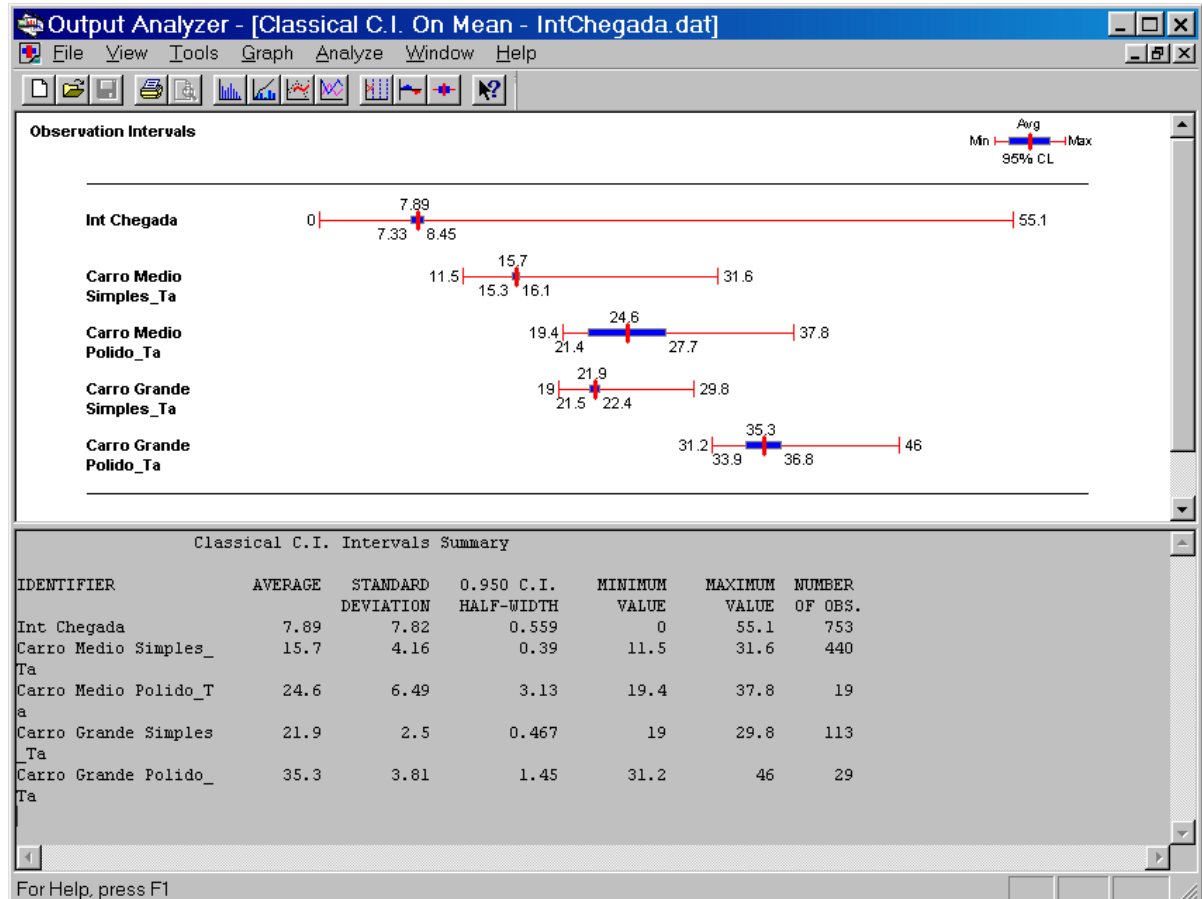


Figura 5: Saída do Output Analyser

Uma análise deste tipo permite que se valide o simulador para que se possa confiar nos resultados obtidos. Uma vez que o simulador foi validado, podemos exercitar outros experimentos considerando apenas o simulador, sem recorrermos ao sistema real.

V. Simulação com diferentes níveis dos fatores

Dos 4 experimentos indicados anteriormente, serão feitas simulações dos experimentos 1 e 2 propostos:

Experimentos	Fatores	Métricas
1	13	1. Tempo de espera total 2. Número médio de veículos lavados por unidade de tempo
2	2, 5 e 13	1. Tempo de espera total 2. Número médio de veículos lavados por unidade de tempo

Mostramos a seguir os resultados do experimento 1, onde iremos verificar a sensibilidade do sistema em relação a variações de carga que corresponde a variar o parâmetro Intervalo de chegada.

Experimento 1: Variação da Carga

Para facilitar a variação de carga em diversos níveis, utilizamos a distribuição exponencial com parâmetro $(1/\lambda)$ sendo este o valor médio do intervalo de chegada. Foram feitas várias simulações variando o valor médio do intervalo de chegada entre 2.1 min. a 60 minutos, com 10 replicações em cada simulação. A frequência de chegada (λ) é o inverso da média.

Tabela 6: Valores de Tempo Total

Intervalo de Chegada (min)	Frequência de Chegada (carros/min.)	Carros Médios		Carros Grandes	
		Sem polir	Com Polimento	Sem polir	Com Polimento
60	0.02	12.8	20.1	20.4	32.7
10	0.1	14.5	23.1	21.2	34.4
5	0.2	22	31.1	25.2	41.5
4	0.25	38.5	43.1	40.2	53.4
3	0.33	73	79.2	72.6	87.4
2.5	0.4	123	130	129	138
2.3	0.43	146	152	139	145
2.1	0.48	164	180	162	176

Na tabela a seguir são apresentados os valores da vazão em relação ao intervalo de chegada.

Tabela 7: Valores de Vazão (carros/minuto)

Intervalo de Chegada (min)	Frequência de Chegada (carros/min.)	Carros Médios		Carros Grandes	
		Sem polir	Com Polimento	Sem polir	Com Polimento
60	0.02	0.013	0.000	0.002	0.000
10	0.1	0.071	0.005	0.017	0.006
5	0.2	0.151	0.010	0.036	0.009
4	0.25	0.189	0.011	0.045	0.012
3	0.33	0.206	0.014	0.042	0.016
2.5	0.4	0.200	0.015	0.052	0.011
2.3	0.43	0.202	0.013	0.049	0.013
2.1	0.48	0.211	0.016	0.042	0.013

VI. Conclusões

Após a realização dos diversos experimentos, dos quais mostramos um, apresentamos as conclusões. Os resultados obtidos podem ser apresentados através de gráficos como mostrado a seguir.

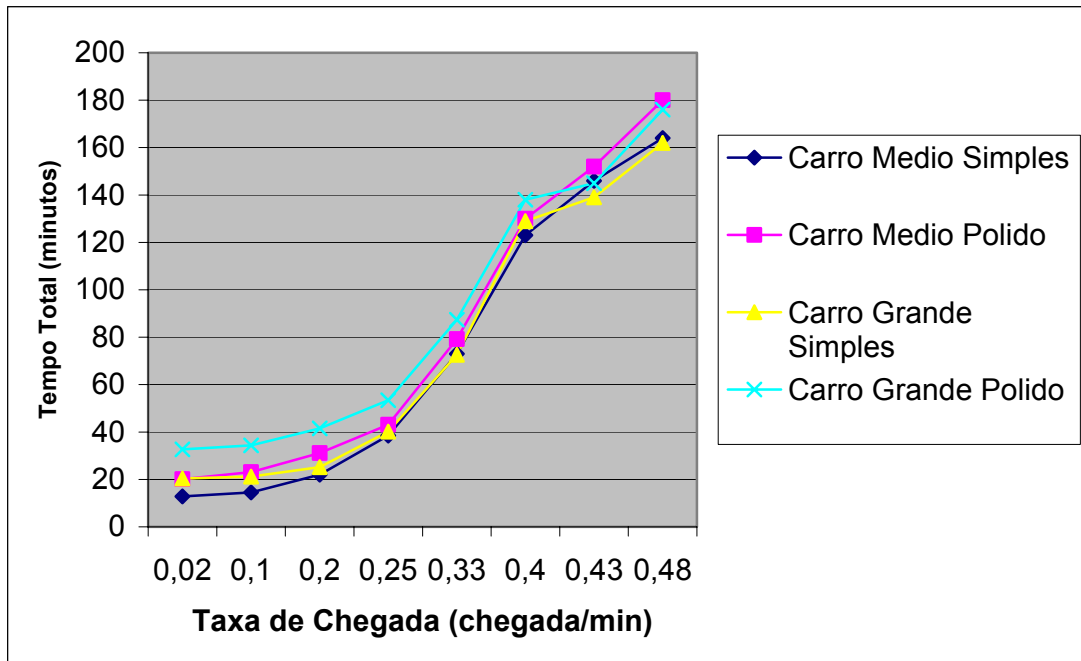


Gráfico 2: Tempo Total

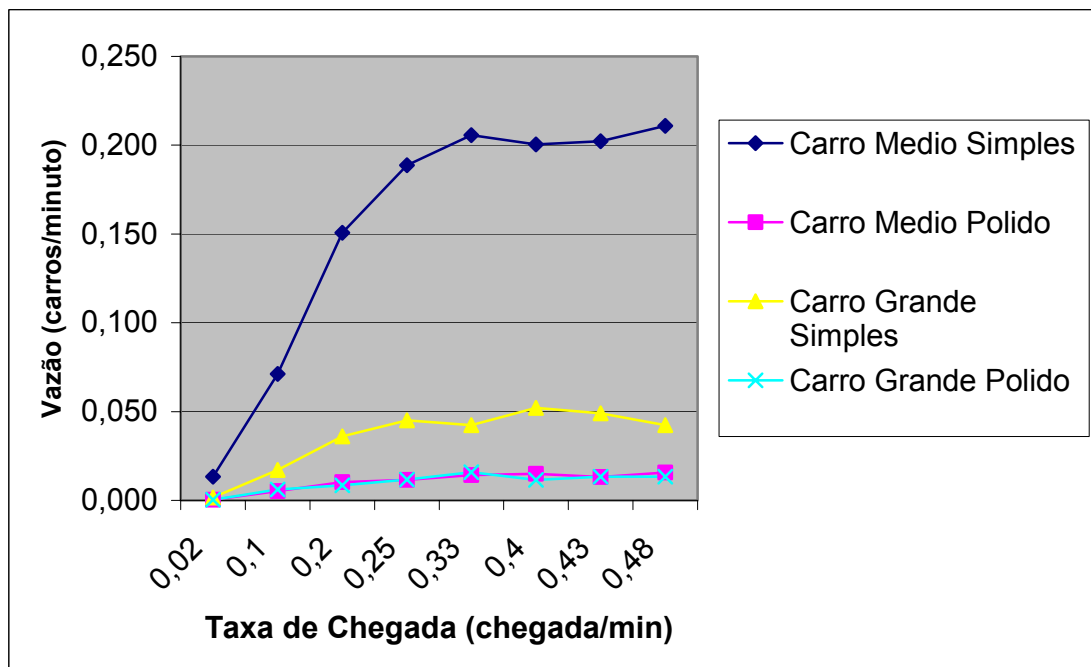


Gráfico 3.: Vazão (carros/minuto)

O gráfico 2 representa os valores de tempos totais no sistema para lavagem de carros médios e grandes, com ou sem polimento. O último valor de frequência de chegada igual a 0.48 carros por minuto que corresponde a 2.1 minutos de intervalo médio entre as chegadas, já está no limite do sistema. A partir daí atingimos o limite da versão acadêmica do Arena que permite até 150 entidades no sistema.

Dependendo do objetivo de desempenho ou retorno do sistema podemos verificar se o sistema está dimensionado corretamente ou precisa ser melhorado. Considerando o intervalo médio de chegada atual de 8.42 minutos, correspondente a uma frequência de chegada de 0,12 carros/minuto o sistema está com um bom desempenho, possuindo uma boa margem para aumento de carga.

O gráfico 3 representa os valores de vazão do sistema para lavagem de carros médios e grandes, com e sem polimento. A partir de 0,2 carros/minuto o gráfico da vazão tende a se tornar horizontal, com a vazão se estabilizando em algum valor limite. Por exemplo, no caso de carros médios sem polimento, o limite da vazão está em torno de a 0,2 carros/minuto. Com a vazão menor que a taxa de chegada, começa ocorrer acúmulo de veículos e o tempo total se torna elevado. Só não tende ao infinito pois o Lava-rápida encerra o atendimento em determinado horário.

Anexo A: Dados Observados

Durante um período de observação de 8 horas chegaram 58 carros sendo 45 carros médios e 13 carros grandes. O início das medidas ocorreu duas horas após a abertura do Lava-rápido pela manhã de forma que já existiam carros sendo atendidos no início da medição. Foram observados neste período de 8 horas os tempos apresentados nas tabelas a seguir:

Intervalos de Chegada (em minutos)

39.34	2.41	0.47	47.97	1.67	4.95	3.59
7.12	4.79	0.14	7.07	1.57	16.44	9.00
12.72	11.50	1.79	15.14	0.84	9.76	14.86
3.12	0.63	7.73	1.49	2.27	9.33	2.02
18.20	3.44	9.93	2.39	7.20	11.39	4.29
5.23	1.46	13.36	6.49	0.02	2.29	22.65
13.20	11.24	6.06	0.38	5.59	18.26	20.15
4.10	8.93	10.50	2.41	3.66	7.94	10.60
5.47	11.52					

Tempos entre cada estação de trabalho

Estimou-se de forma aproximada que o tempo para cada carro ir de uma estação à outra varia de 12 a 18 segundos.

Tempos de Atendimentos e Tempo Total para Carros Médios (em minutos)

Obs.: Os tempos das tabelas a seguir não incluem a espera na fila, a menos do tempo total que é contado entre a chegada e a saída.

Enxaguar	Ensaboar	Jato D'agua	Secar	Aspirar	Polir	Pagar	Total
0.92	3.00	1.99	2.16	3.25		0.51	12.75
1.03	3.46	1.97	1.97	2.82		0.65	13.39
0.83	3.07	2.07	2.11	3.31		0.58	25.32
0.91	3.20	2.02	2.07	3.02		0.75	12.99
1.04	2.96	2.04	2.19	3.13		0.48	22.97
0.89	3.24	1.96	1.81	3.52		0.64	21.31
0.90	3.26	2.11	2.07	3.54		0.56	21.17
1.08	3.48	2.08	2.06	3.34		0.70	17.53
0.99	2.93	1.95	1.98	3.10		0.53	17.49
1.10	3.07	2.05	2.05	3.18		0.54	20.54
0.96	3.06	2.01	2.17	3.04		0.59	18.50
0.99	3.12	1.97	2.28	2.89		0.61	19.84
1.07	3.25	1.99	1.95	2.75		0.67	12.72
0.92	3.04	2.04	1.84	2.81		0.55	12.18
0.94	3.23	1.98	2.08	2.79		0.64	12.62

0.99	2.95	2.01	2.12	2.74		0.71	12.55
1.02	3.06	1.97	1.88	3.09		0.41	22.41
1.13	3.34	2.03	2.13	2.56		0.53	12.80
1.14	3.16	1.82	1.96	2.76	7.18	0.71	22.54
1.02	3.42	2.07	2.13	3.00		0.65	13.43
0.98	3.01	2.04	1.92	3.07		0.67	12.72
0.92	3.09	2.05	2.17	3.28		0.63	13.08
1.08	3.17	1.92	2.03	3.33		0.68	15.61
1.01	3.10	1.89	1.99	2.97	7.26	0.61	20.04
0.88	3.05	2.03	1.99	2.83		0.70	14.28
1.10	3.14	2.08	2.15	3.12		0.57	15.38
0.86	3.20	1.89	2.07	3.23	7.06	0.68	20.22
0.86	3.14	1.99	2.13	2.39		0.72	24.49
0.98	3.10	2.05	2.12	2.50		0.59	12.32
0.97	2.95	1.96	2.16	2.77		0.59	12.28
1.09	3.34	1.89	1.91	3.15		0.55	12.89
1.10	2.97	1.96	1.97	2.32		0.59	12.85
0.83	3.42	2.11	1.84	3.31		0.62	13.10
1.05	3.03	2.05	2.19	3.20		0.63	13.26
0.95	3.10	2.05	1.88	3.48		0.64	13.10
0.89	3.10	1.89	2.16	2.83		0.55	12.50
0.90	2.87	1.91	1.98	2.50		0.73	21.00
0.95	3.18	2.07	2.05	3.25		0.55	12.97
0.99	3.03	2.17	2.08	3.00		0.65	12.91
1.16	2.91	2.12	1.88	3.56		0.61	24.00
1.05	3.11	2.00	2.05	3.02		0.48	24.59
1.16	3.09	2.04	2.07	2.66		0.51	12.61
0.97	3.46	1.93	1.92	3.02		0.62	12.89
1.07	3.13	1.91	1.99	3.01		0.73	12.84
0.93	3.06	2.03	2.18	2.23		0.78	12.26

Tempos de Atendimento e Tempo Total para Carros Grandes (em minutos)

Enxaguar	Ensaboar	Jato D'agua	Secar	Aspirar	Polir	Pagar	Total
1.63	5.05	3.27	3.51	4.56		0.59	22.50
1.79	5.51	3.35	3.42	5.20		0.72	22.82
1.76	5.52	3.57	3.21	5.98	13.17	0.74	35.22
1.85	5.09	3.38	3.60	3.75		0.61	19.27
1.67	5.03	3.46	3.52	5.12		0.70	22.64
1.93	5.47	3.65	3.33	5.30		0.64	21.35
1.54	5.03	3.32	3.43	5.17		0.71	20.25
1.73	4.95	3.34	3.74	6.30	12.09	0.63	36.34
1.68	5.66	3.14	3.57	4.27		0.78	20.01
1.47	5.19	3.15	3.56	5.49		0.72	20.57
1.79	5.31	3.47	3.63	4.90		0.66	20.73
1.68	5.18	3.41	3.51	4.71		0.59	19.98
1.72	5.03	3.33	3.74	5.61	11.25	0.59	32.58