

## Artigo de Revisão

# Simulação computacional via plataforma arena dedicada a otimização da rotatividade de veículos em pátio de estacionamento

Wellington Santos de Sousa<sup>1,\*</sup>

Marlon Paulo de Melo Wolff<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Faculdade Estácio De São Luis

### INFORMAÇÃO DO ARTIGO

*Histórico do artigo:*  
Aceito em 01 Junho 18

Palavras-chave:  
Computação  
Veículos  
Estacionamento

### RESUMO

Neste trabalho são desenvolvidas modelagens e simulações na plataforma Arena 14 da empresa Rockwell Automation, a fim de avaliar, analisar e tomar decisões referentes ao problema da rotatividade de veículos em um pátio de estacionamento, valendo-se da aplicação de métodos estatísticos dedicados ao levantamento de dados e configuração dos modelos estocásticos de simulação. Os resultados observados apontam para taxas de utilização ótimas do espaço físico, assim como, a capacidade do sistema em suportar alterações, prevendo demandas futuras e variações no layout atual.

## Introdução

O crescimento urbano desordenado vem causando inúmeras consequências, tendo em vista que a frota de veículos vem se tornando cada vez maior, independente das localidades, porém o preparo e inovações das cidades neste setor rodoviário não acompanharam a disparada de veículos nas ruas. Os estacionamentos vêm se tornando cada vez mais comum em grandes cidades; isso se configura como um problema que gera entre outras coisas os grandes congestionamentos, a uma frequência de utilização de veículos intensa.

Abordagens com simuladores tem se mostrado eficientes para problemas dessa natureza, pois proporcionam uma visão sistêmica do processo, além de antecipar o comportamento do protótipo em compatibilidade com fatores presentes no mundo real. A pesquisa se enquadra na determinação de um elenco de propostas,

voltadas para análises de resultados e estatísticas verificadas estocasticamente, quanto à avaliação dos fluxos de entrada e saída de veículos, da disposição nos pátios de estacionamento e previsão de alterações que podem ocasionar picos de demanda, obedecendo sempre à relação entre a procura e oferta de vagas, assim como a rotatividade em diferentes ocasiões.

\* Wellington Santos de Sousa  
E-mail: [Wellington.santos.sousa@vale.com](mailto:Wellington.santos.sousa@vale.com)



**Figura 1.** Pátios de estacionamento da Faculdade Estácio (Imagem Google Earth)

Este trabalho vem com o intuito de estudar a demanda de vagas da faculdade Estácio de São Luís e a satisfação dos usuários do estacionamento, para isso, aplicou-se um formulário de pesquisa com os usuários e em seguida utilizaremos ferramentas estatísticas e computacionais que permitem a melhor visualização do reflexo que esse problema causara no sistema real para em seguida estabelecer uma tomada de decisão segura mediante tal situação ocorrente na instituição. O estudo é baseado nas características do estacionamento da Faculdade, conforme mostra a Figura 1.

### **Problemas de mobilidade urbana**

A mobilidade urbana refere-se às condições de deslocamento da população nas cidades, sendo considerado tópico de interesse no processo de gestão do meio urbano. O termo é geralmente empregado para referir-se ao trânsito de veículos e também de pedestres, seja através do transporte individual (carros, motos, etc.), seja através do uso de transportes coletivos (ônibus, metrô, etc.). Com certa contundência, a mobilidade urbana tem sido discutida e tratada como política pública necessária por órgãos governamentais. Juntamente com segurança pública, educação, meio ambiente, saneamento e

habitação, a mobilidade urbana tem se revelado uma temática que requer aprofundamentos.

Segundo Duarte<sup>1</sup> os gestores municipais costumavam apenas se preocupar com o sistema viário, comumente de baixa qualidade, deixando quase de lado o transporte coletivo. Porém, é fundamental ter consciência de que a mobilidade urbana tem papel importante na qualidade de vida dos habitantes, tanto em relação à poluição atmosférica quanto pela redução das atividades físicas (como aspecto negativo) ou pela ampliação de oportunidades de uso da cidade (como aspecto positivo).

Dentre os diferentes atores envolvidos nessa discussão é patente verificar o predomínio dos automóveis no espaço urbano, em detrimento de pedestres e, com maior prejuízo, encontram-se os pedestres em condições de necessidades especiais. Para muitos urbanistas, essa preponderância dos veículos encontra razões na influência política da indústria automobilística, segundo Yamawaki<sup>2</sup>. De fato, existe hoje uma forte campanha pelo consumo de veículos, perfilando cidades com exaustiva circulação dessas frotas de veículos grandes, pequenos e de duas rodas. Uma implicação direta dessa realidade está na necessidade recorrente de viabilizar áreas cada vez maiores de circulação para os veículos, desprivilegiando os pedestres.

### **Levantamento estatístico**

A pesquisa é de caráter experimental, com a intenção de proporcionar aos gestores acadêmicos da instituição, um elenco de propostas e análises estatísticas do pátio de estacionamento da IES, de proporcionar aos alunos e usuários um serviço diferenciado, que poderá proporcionar a entrada de novos alunos no decorrer dos anos.

A coleta dos dados foi realizada através da aplicação de questionários com perguntas, referentes ao tipo de veículo (carro, moto ou ambos) que o aluno utiliza; frequência de utilização do pátio; portões de acesso ao estacionamento; dificuldades para estacionar; finaliza com uma visão geral da percepção dos alunos em relação à infraestrutura: segurança, iluminação, pavimentação e disposição das vagas no pátio.

Para tornar o estudo mais heterogêneo possível, utilizou-se a técnica de amostragem intencional, com definição de perfis durante a seleção dos indivíduos participantes da amostra. Com o intuito de obter a maior variabilidade possível, esta seleção considera parâmetros como: gênero, tipo de veículo, pontos de localização diferentes dentro do pátio de estacionamento, idade e horários de aplicação do questionário.

De acordo com a gerência acadêmica, não existem pesquisas anteriores em relação a este seguimento da IES, porém relatórios do setor de infraestrutura apontam para uma média de 350 veículos, carros e motos, em um dia de fluxo máximo.

Neste trabalho, por ser amplamente conhecidas todas as principais qualidades da população, foi definida a amostragem não probabilística, como sendo a que mais se enquadra neste estudo, dentro da amostragem não probabilística está à amostragem intencional ou comumente conhecida como amostragem por julgamento, onde são estabelecidas estratégias de seleção que sejam escolhidos elementos típicos da população estudada.

### *Cálculo Amostral*

Com o tamanho da população definida, para um nível de confiança significativo na aplicação do questionário, alguns parâmetros ainda são necessários para calcular o tamanho da amostra que melhor representa o total máximo de alunos usuários do estacionamento, essa amostra ( $n$ ) é definida aplicando-se a Equação 1.

$$n = \frac{N \cdot Z^2 \cdot p \cdot (1-p)}{Z^2 \cdot p \cdot (1-p) + e^2 \cdot (N-1)}$$

Segundo Santos<sup>3</sup> São definidos como parâmetros para determinação do cálculo do tamanho da amostra em uma população finita, os que seguem:

Erro amostral ( $e$ ): geralmente seu valor é escolhido pelo pesquisador, o valor utilizado neste trabalho será de 5% e representa a diferença entre um resultado amostral e o verdadeiro resultado populacional.

Nível de confiança ( $Z$ ): é a probabilidade de que o erro amostral efetivo seja menor que o erro amostral da pesquisa. Logo no caso desse trabalho, o nível de confiança será a probabilidade de que o erro da pesquisa não ultrapasse 5%. Sendo que nesse trabalho o nível de confiança de 95%.

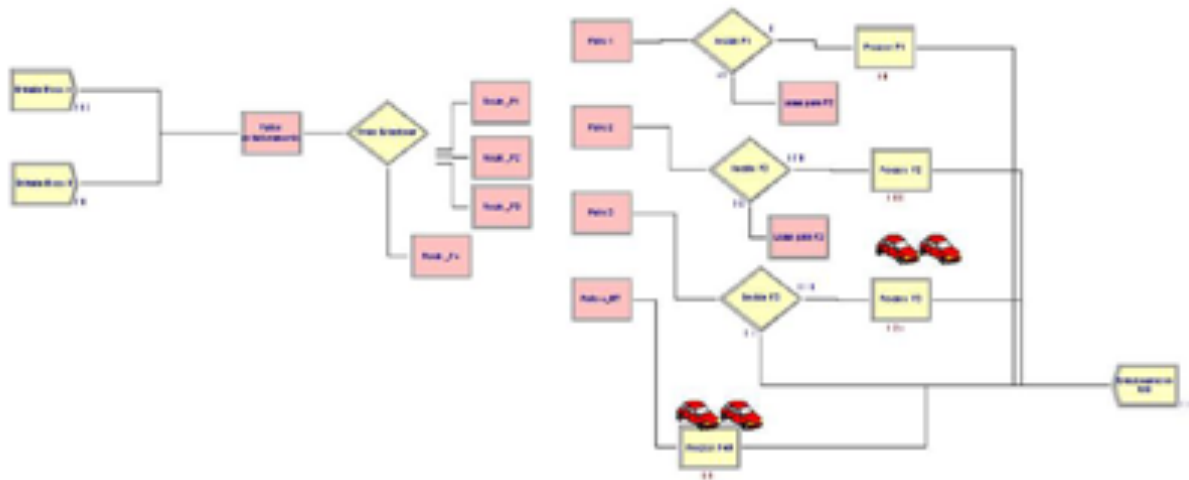
População ( $N$ ): é o número de elementos que existem no universo como um todo. No caso desse trabalho é o total máximo de vagas disponíveis no pátio de estacionamento da faculdade Estácio de São Luís, determinado pelo setor responsável dentro da gerência acadêmica de 350 vagas.

Percentual máximo ou mínimo ( $p$ ): nesse trabalho, não há informações de percentual mínimo ou máximo, indicada por pesquisas anteriores logo ( $p$ ) será igual a 50%.

### **Modelo computacional**

Após a validação do modelo são necessárias algumas configurações, para coletar os parâmetros estatísticos necessários para uma análise coerente do sistema estudado. Alguns destes parâmetros podem ser selecionados dentro do software, tais como: replicação da simulação, velocidade de processamento e controle. Nesta

seção será válido o estilo de planejamento da simulação verificado em Prado<sup>4</sup>.



**Figura 2.** Modelo de simulação criado no ambiente gráfico do software Arena 14.

No modelo são percebidas características do fluxo de entrada e saída de veículos em um pátio de estacionamento, estas são exclusivas do sistema estudado, a capacidade máxima assim como a distribuição de probabilidade na chegada dos veículos é determinada através de uma análise estatística criteriosa com um recurso dentro do próprio software, chamado de input analyser.

O fluxo inicia-se com a entrada dos veículos através dos módulos de fluxo básicos (Create), representando os dois únicos acessos dos condutores ao estacionamento, é previsto um atraso mínimo de 60 segundos nesta chegada o que pode ser entendido como um tempo mínimo da entidade ocupar o recurso, ou seja: a vaga disponível, ou até mesmo o tempo em fila naquele momento.

O trajeto é formulado através de estações (Stations), seguidos de rotas aos diferentes pontos de estacionamento dentro da faculdade. Conforme mostra a Tabela 1:

**Tabela 1.** Descrição dos pontos de estacionamento dentro da faculdade

Divisão dos pátios	Representação
Pátio P1	Rua lateral ao bloco A
Pátio P2	Pátio referente ao bloco A
Pátio P3	Pátio geral do bloco B
Pátio P4M	Estacionamento para motos

Foram previstas 5 replicações para a simulação, durante 30 dias, totalizando um período de simulação de 360 horas com um tempo de aquecimento 10 minutos antes das coletas dos dados estatísticos (Warm-up), esta técnica possibilita uma precisão muito maior nos parâmetros especificados dentro do relatório. Todos os veículos (entidades) devem escolher onde estacionar, gerando assim uma rota (Route) específica para cada pátio dentro da faculdade; estas rotas possuem um tempo de percurso previsto dentro do modelo, levando as entidades aos pátios propriamente ditos, após essa etapa existe uma verificação de trajeto em relação a disponibilidade de vagas no momento da chegada (Dicide). Após as entidades percorrem todo o fluxo e passar pelo processamento (Process), são direcionadas a sair do modelo através do modulo (Dispose), ou são

direcionadas pelo bloco (Leave) para outro pátio, a fim de encontrar recurso (vaga disponível) dentro da IES.

É extremamente importante a coleta de dados de saída do modelo computacional, podendo representar a frequência absoluta das entidades que não encontram vagas na faculdade e acabam estacionando em via pública, o bloco (Dispose) garante o encerramento da participação de cada entidade dentro da simulação.

### Análise dos resultados computacional

A partir dos resultados apresentados pelo software de simulação, fizeram-se algumas intervenções no modelo, a fim de proporcionar um elenco de estratégias e mudanças que possam subsidiar a tomada de decisão por parte da gerência de infraestrutura da instituição.

Um dos grandes gargalos encontrados no estacionamento e comprovado no ambiente gráfico do software arena 14 é a utilização do

arranjo físico atual dos pátios, como não existe um layout definido a falta de vagas disponíveis e disposição dos veículos ocasionam uma elevada taxa de utilização, onde todos os valores apontam para percentuais acima de 90%, gerando filas e congestionamento; conforme mostram os dados fornecidos no relatório de análise da Arena 14.

O próprio Arena 14 nos apresenta 8 relatórios diferentes, que informam estatísticas e dados sobre as entidades. Neste estudo são catalogados os principais, são eles: processo estudado, quantidade média de entidades em fila, ocupação de recursos, frequência; entre os testes simulados com os mesmos parâmetros de replicação e tempo de simulação no modelo, são apresentados na Tabela 2, com representatividade em relação a todo o espaço físico do estacionamento da faculdade Estácio de São Luís. De acordo com os resultados obtidos, verificou-se em relação ao modelo original:

**Tabela 2.** Comparação dos resultados entre o modelo proposto e os modelos sugeridos

Modelo	Tempo médio em fila (Segundos)	Veículos atendidos	Ocupação do pátio	Capacidade de vagas
Original	439	343	89,82%	340
Cenário 1	248	345	90,88%	363
Cenário 2	0,12	506	78,65%	455

O modelo original obteve uma média de espera em fila de 439 segundos, deixando de ofertar 10 vagas de um total de 350 informadas pela gerencia acadêmica e inseridas nos módulos de fluxo do software. Durante a simulação o programa analisa a distribuição de probabilidade escolhida e prevê uma média de 343 veículos atendidos, todos passaram pelo tempo de processamento (ocupação de vaga), ocupando mais de 90% do espaço disponível. Houve a utilização dos dois portões de acesso ao estacionamento, de forma a proporcionar entradas e saídas simultâneas no modelo.

Objetivando uma otimização em todos os aspectos abordados até agora, fizeram-se mudanças dentro do modelo, a fim de propor cenários e proporcionar ao corpo gestor do estacionamento opções de intervenções que facilitem o trajeto e os problemas com a superlotação do pátio da IES.

No cenário 1 houve alteração no acesso ao estacionamento, foi definido somente uma entrada e uma saída, com o objetivo de deixar o fluxo de forma retilínea e constante, o intuito é verificar como se comportam os parâmetros estatísticos dentro dente novo cenário, as

alterações realizadas no modelo e os seus respectivos resultados foram:

- Definir somente uma entrada e uma saída do pátio.
- Elevar a capacidade do estacionamento em 6,76% em relação ao modelo original.
- Atendimento superior ao modelo original, com 345 veículos estacionados. Este valor está criteriosamente sendo seguido conforme capacidade efetiva dos pátios listados.
- Utilização em aproximadamente 98% do espaço disponível.

Mudanças no arranjo físico dos pátios ocasionaram dentro dos parâmetros monitorados um considerável resultado, a tendência neste tipo de alteração tende a proporcionar no modelo um resultado próximo à zero em tempo das entidades em fila. Já a capacidade por período simulado foi superior 20% em relação ao modelo original, sendo que em média são atendidos 506 veículos no decorrer das simulações realizadas. As alterações realizadas no cenário 2 são destacadas a seguir:

- Alteração da capacidade de vagas disponíveis em 30% em relação ao total existente.
- Manter os padrões de entrada e saída de veículos.
- Mudanças no arranjo físico do pátio com definição de acomodação de veículos.
- Otimização dos pátios através de intervenções estruturais para ampliação.

As mudanças no cenário 2 foram referentes à capacidade de vagas disponíveis, essa simples alteração representou em uma taxa de utilização do pátio de estacionamento de apenas 78,65%, isso significa que existe um espaço não utilizado, e com grandes chances de ser ainda mais otimizado, proporcionando um acomodamento muito maior de veículos, podendo alterar também a satisfação dos motoristas.

## Conclusão

As simulações, objetivando identificar as relações de causa e efeito do estudo, juntamente com as análises desenvolvidas a partir dos

resultados obtidos, apontam sobre a possibilidade de uma abordagem técnica em relação aos gargalos verificados em pátios de estacionamentos. Tal abordagem, como construída neste trabalho, pode se apresentar como uma eficiente ferramenta para subsidiar a tomada de decisão neste setor, uma vez que serão somente requeridas, informações estatísticas que possam descrever de forma representativa o comportamento do sistema em estudo, ou seja, o setor gerencial é capaz de realizar alterações no pátio, prevendo restrições, custos, dificuldades e benefícios antes mesmo de concretizar tais mudanças no processo. Sendo assim é notório a necessidade premente por parte dos setores empresariais, de permitir a discussão de estudos como este, objetivando a otimização máxima do modelo, o que acarretaria diversas vantagens no ambiente de negócios da empresa.

Os resultados foram construídos com base nas simulações produzidas no ambiente gráfico do programa computacional Arena 14, valendo-se da variação dos parâmetros de distribuição de probabilidade nos blocos lógicos aplicados na construção do modelo relativo ao processo. Além disso, foram configurados layouts de roteirização associando entradas e saídas do estacionamento. Esse procedimento possibilitou uma base de testes em que os melhores resultados apontaram para taxas percentuais satisfatórias, no sentido de que mudanças no arranjo físico e alterações nas formas de processamento das entidades constituintes da simulação, possibilitaram indicadores ótimos em relação ao modelo original, viabilizando a reconfiguração destes parâmetros, obteve-se significativas vantagens associadas à média de espera, a utilização e a capacidade do fenômeno estudado em reagir positivamente às sugestões propostas

## Referências

1. Duarte, f; libardi, r. Introdução à mobilidade urbana. Jurua editora, 2012.
2. Yamawaki, y; salvi, l. T. Introdução à gestão do meio urbano. Curitiba, pr: editora intersaberes, 2013.

---

3. Santos, g. E. De o. Cálculo amostral: calculadora on-line. Disponível em: < [www.calculoamostral.vai.la](http://www.calculoamostral.vai.la) > acesso em: 20 jul. 2017.

4. Prado, d.s. Usando o arena em simulação 5<sup>a</sup> ed. Falconi editora, 2014.