

Simulador de Controle Inteligente de Elevadores em Prédios de Múltiplos Andares Utilizando Estruturas de Dados

Autores:

Philip Márcio Araújo Dantas
philip.dantas@somosicev.com

Marco Vinício Martins de Oliveira Melo
marco_vinicio.melo@somosicev.com

Resumo

Este artigo apresenta o desenvolvimento de um simulador de controle inteligente de elevadores em edifícios, utilizando estruturas de dados personalizadas implementadas em Java. O sistema simula o fluxo de pessoas em diferentes andares de um prédio e a lógica de controle de múltiplos elevadores, priorizando critérios como tempo de espera, prioridade de atendimento e eficiência energética. Palavras-chave: Controle de Elevadores, Simulação, Estruturas de Dados, Java, Eficiência, Mobilidade Vertical.

I. Introdução

Com o crescimento populacional e a verticalização dos centros urbanos, a eficiência no transporte vertical dentro de edifícios torna-se um desafio relevante. Sistemas de elevadores tradicionais operam com lógicas simples, como o atendimento sequencial de chamadas, o que frequentemente leva a longos tempos de espera e desperdício de energia. Com o avanço da computação e da modelagem de sistemas, torna-se possível simular e testar diferentes estratégias de controle que considerem variáveis dinâmicas, como prioridade dos passageiros, rotas otimizadas e distribuição equitativa da carga entre os elevadores.

A modelagem e simulação de sistemas de transporte vertical permitem não apenas prever o comportamento de elevadores sob diferentes condições, mas também implementar soluções baseadas em algoritmos mais eficientes. Este trabalho

propõe um sistema de simulação construído em Java, utilizando estruturas de dados personalizadas, para testar diferentes cenários e estratégias de controle.

II. Objetivos

O projeto tem como objetivo principal criar um simulador que permita analisar o funcionamento e o desempenho dos elevadores em prédios com vários andares, levando em conta a geração variável de passageiros ao longo do dia e a gestão eficiente das chamadas feitas aos elevadores.

Busca-se, entre outros pontos, desenvolver um modelo realista para geração de passageiros que varia conforme o horário, especialmente aumentando durante o período comercial, considerado como horário de pico.

Também é objetivo criar uma Central de Controle responsável por coordenar o funcionamento dos elevadores, gerenciando o atendimento às chamadas, o embarque e desembarque dos passageiros, além de otimizar o uso dos elevadores para reduzir o tempo de espera e trajetos desnecessários.

Outro foco do projeto é avaliar o desempenho dos elevadores em cenários com diferentes quantidades de unidades, analisando o tempo médio de espera dos usuários, a quantidade de pessoas transportadas, o número total de ciclos de operação e o consumo de energia estimado.

O sistema deve possibilitar a exportação dos dados gerados para permitir análises detalhadas e a criação de relatórios que

ajudem a compreender a eficiência da operação dos elevadores.

Por fim, o projeto busca investigar maneiras de melhorar a eficiência energética do sistema, reduzindo o consumo sem afetar a qualidade do atendimento aos usuários.

Com isso, o projeto pretende contribuir para o entendimento das dinâmicas do transporte vertical em prédios e oferecer informações que auxiliem no desenvolvimento de soluções mais eficazes e sustentáveis para os elevadores.

III. Referencial Teórico

O controle eficiente de elevadores em edifícios de múltiplos andares é um desafio recorrente no contexto da engenharia de software aplicada a sistemas embarcados e automação predial. Com a crescente verticalização das cidades, o desempenho dos elevadores torna-se fator essencial para garantir conforto, agilidade e eficiência energética em empreendimentos comerciais e residenciais.

Assim como as redes urbanas podem ser modeladas por grafos para representar suas vias e interseções, a estrutura de um prédio pode ser formalmente descrita por meio de representações lineares com conexões verticais, onde cada nó corresponde a um andar e os vínculos entre nós refletem a possibilidade de deslocamento entre andares consecutivos. Essa modelagem simplificada permite a construção de algoritmos otimizados para o deslocamento vertical dos elevadores, considerando múltiplos fatores simultaneamente, como chamadas pendentes, prioridade dos passageiros e posição atual dos elevadores.

A utilização de estruturas de dados próprias é fundamental para a flexibilidade e eficiência do simulador. As filas com prioridade são utilizadas para organizar os passageiros em espera em cada andar, permitindo o atendimento com base em regras pré-definidas de urgência. Passageiros com maior prioridade são atendidos antes, mesmo que tenham chegado depois na fila, o que garante maior adequação do sistema a cenários reais como

o transporte de idosos ou situações de emergência.

Os andares do prédio são organizados em uma lista duplamente encadeada, possibilitando uma navegação eficiente tanto para cima quanto para baixo. Essa estrutura é particularmente importante para refletir o movimento natural dos elevadores, que percorrem os andares em ambos os sentidos conforme a demanda. Cada elevador, por sua vez, mantém uma lista encadeada de passageiros embarcados, o que permite controle detalhado sobre o fluxo interno de usuários durante os ciclos de movimentação. Esta abordagem garante que as operações de embarque e desembarque possam ser realizadas de forma dinâmica e com complexidade computacional controlada.

Outro aspecto relevante da fundamentação é o uso de uma lista encadeada de elevadores. Tal estrutura, presente na central de controle, permite que as chamadas de passageiros sejam analisadas de forma sequencial, e atribuídas ao elevador mais adequado com base em critérios como proximidade, direção e capacidade. A central percorre os nós da lista para avaliar qual elevador está disponível e mais próximo da solicitação, distribuindo as tarefas de forma balanceada e evitando sobrecargas desnecessárias.

Os algoritmos de controle empregados no simulador seguem princípios de eficiência e prioridade. Quando um elevador está vazio, ele se dirige diretamente ao andar mais próximo com chamada pendente. Quando transporta passageiros, a lógica se baseia no atendimento prioritário aos andares de destino já registrados, evitando desvios que possam comprometer o tempo de viagem. Caso haja mais de um elevador apto a atender uma chamada, a central de controle avalia fatores como número de passageiros, direção do movimento e distância ao andar solicitado, de modo a maximizar a eficiência do sistema.

A simulação computacional desses sistemas é uma ferramenta valiosa para a análise de desempenho e validação de estratégias de controle. Permite a coleta de métricas como tempo médio de espera, número de pessoas atendidas por ciclo, tempo total de viagem e estimativas de energia consumida. Tais

indicadores são essenciais para comparar diferentes configurações e validar o impacto da adição de novos elevadores ou da alteração de algoritmos de despacho.

O uso dessas estruturas e estratégias, aliado à implementação em linguagem Java com ênfase na modelagem orientada a objetos, garante ao simulador grande potencial de expansão, reuso e aplicabilidade prática em contextos reais ou acadêmicos. O projeto serve como base para a análise de desempenho de sistemas de transporte vertical e para o desenvolvimento de soluções inteligentes de mobilidade em edificações.

III. Metodologia

O sistema desenvolvido neste projeto é um simulador de elevadores para prédios comerciais, implementado em Java 17. O objetivo é criar uma simulação realista e eficiente do transporte vertical de passageiros, usando programação orientada a objetos e estruturas de dados próprias, garantindo controle, flexibilidade e bom desempenho.

A peça central do sistema é a Central de Controle, que coordena o funcionamento dos elevadores e gerencia as chamadas dos usuários. Ela processa as solicitações dos andares, aloca os elevadores de forma otimizada, controla o estado e movimento dos elevadores, e monitora o embarque e desembarque das pessoas.

Cada elevador é tratado como uma entidade autônoma, com informações sobre sua capacidade, andar atual, direção e passageiros a bordo. Os passageiros são armazenados em estruturas encadeadas que indicam o destino individual de cada um, evitando o uso de arrays ou listas comuns.

Os andares são representados por nós encadeados que mantêm filas de pessoas esperando para embarcar. Cada pessoa tem um destino e uma prioridade, o que influencia a ordem de embarque e permite simular diferentes perfis de usuários e situações, como emergências.

Um ponto importante da simulação é a geração dinâmica de passageiros, que varia ao longo do dia. No horário comercial,

quando o fluxo de pessoas é maior, a geração de passageiros aumenta, simulando a demanda típica desse período. Fora do horário comercial, o fluxo diminui gradativamente, refletindo momentos como início da manhã, noite e finais de semana. Essa variação é fundamental para testar o desempenho do sistema em diferentes condições de carga.

O comportamento dos elevadores e a gestão das chamadas são controlados pela Central de Controle, que aplica regras para otimizar o atendimento. Quando um andar faz uma chamada, a Central avalia qual elevador está mais próximo, sua capacidade e direção, para escolher a melhor opção. A movimentação dos elevadores é planejada para minimizar deslocamentos vazios e reduzir o tempo de espera. As filas nos andares respeitam a prioridade dos passageiros, garantindo atendimento preferencial a usuários com necessidades especiais. Cada elevador respeita sua capacidade máxima, e a Central controla o embarque e desembarque, liberando vagas e atualizando destinos a cada parada.

Ao invés de usar arrays ou listas comuns, o sistema utiliza estruturas encadeadas personalizadas para representar as filas, listas de passageiros e os andares. Isso dá mais flexibilidade e facilita a manipulação dinâmica dos dados, além de ser um diferencial para o projeto.

Durante a simulação, a Central coleta dados importantes, como o número total de passageiros transportados, tempo médio de espera nas filas, tempo médio de viagem, taxa de ocupação dos elevadores e quantidade de chamadas atendidas por elevador. Essas informações são usadas para avaliar o desempenho do sistema e identificar pontos de melhoria. Ao final da simulação, todos esses dados são exportados em arquivos Excel, facilitando análises posteriores com ferramentas externas.

O desenvolvimento enfrentou desafios como modelar o fluxo variável de pessoas, gerenciar as chamadas de forma eficiente para evitar congestionamentos, sincronizar o movimento dos elevadores para que não haja conflitos, e implementar estruturas encadeadas robustas para suportar a

dinâmica da simulação sem perda de desempenho.

O sistema foi criado para ser facilmente ampliado no futuro, permitindo a adição de funcionalidades como algoritmos de alocação inteligentes, simulações com diferentes perfis de usuários, cenários de falhas e análises detalhadas dos custos de operação.

V. Resultados Obtidos

As simulações foram realizadas em dois cenários distintos para avaliar o desempenho do sistema de elevadores em um prédio com dez andares. No primeiro cenário, o prédio conta com dois elevadores; no segundo, com três elevadores. Os resultados obtidos foram registrados e organizados em planilhas do Excel, possibilitando uma análise detalhada de diversos indicadores de desempenho.

No cenário com dois elevadores, o sistema conseguiu transportar 174 pessoas durante toda a simulação. O tempo médio de espera antes do embarque foi de aproximadamente 58 segundos, e o total de ciclos operacionais dos elevadores chegou a 228. Já no cenário com três elevadores, o número de pessoas transportadas aumentou ligeiramente para 176, mas o tempo médio de espera diminuiu significativamente para cerca de 34 segundos, e o número total de ciclos operacionais caiu para 186.

Em relação ao consumo energético, os dados mostram uma diferença importante entre os dois cenários. Considerando a distância total percorrida pelos elevadores, o número de embarques realizados e o total de ciclos, o cenário com dois elevadores teve um gasto energético estimado em 1.150 unidades de energia, enquanto o cenário com três elevadores consumiu cerca de 840 unidades. Isso indica uma redução no consumo em torno de 27% ao se adicionar um terceiro elevador ao sistema.

Essa melhora na eficiência energética se deve principalmente à redução do número de ciclos operacionais e à menor sobrecarga de passageiros por elevador, que resulta em trajetos mais rápidos e menos frequentes. A diminuição do tempo médio de espera também reflete um melhor atendimento aos

usuários, proporcionando uma experiência mais ágil e confortável.

Outro aspecto importante é a distribuição das chamadas e o gerenciamento do fluxo de passageiros, controlados pela Central de Controle. Essa entidade otimiza a alocação dos elevadores às chamadas, minimizando trajetos vazios e otimizando o embarque e desembarque, o que contribui diretamente para a redução do consumo energético e para a melhoria do desempenho do sistema como um todo.

Vale destacar também que a geração de pessoas por andar varia ao longo do dia, com picos durante o horário comercial, o que aumenta a demanda e pressiona o sistema. A simulação levou em conta esse comportamento dinâmico, mostrando que a presença do terceiro elevador é crucial para manter a eficiência durante os períodos de maior movimento, evitando filas excessivas e longos tempos de espera.

Em resumo, os dados confirmam que o aumento no número de elevadores resulta em ganhos significativos de eficiência operacional e energética, melhorando o atendimento ao usuário e reduzindo o impacto ambiental do sistema. Esses resultados reforçam a importância de se investir em um gerenciamento inteligente e dimensionamento adequado da infraestrutura de transporte vertical em edifícios comerciais e residenciais.

VI. Conclusão

A simulação demonstrou que o uso de estruturas de dados específicas, aliadas a uma lógica inteligente de controle de elevadores, pode otimizar significativamente o transporte vertical em prédios de múltiplos andares. A comparação entre diferentes configurações mostrou que o aumento da quantidade de elevadores reduz o tempo de espera e melhora a distribuição da carga, resultando em menor consumo energético.

O projeto, de código aberto, pode ser expandido com a inclusão de novas estratégias de controle, algoritmos de aprendizado de máquina, ou mesmo uma interface gráfica para análise visual dos resultados. A ferramenta desenvolvida possui

grande potencial para uso acadêmico, empresarial e em simulações urbanas.

Referências

- [1] Dijkstra, E. W. (1959). *A note on two problems in connexion with graphs*. *Numerische Mathematik*.
- [2] Barney, G. C. (2003). *Elevator Traffic Handbook: Theory and Practice*. Taylor &

Francis.

- [3] Otis Elevator Company. (2022). *Elevadores Inteligentes e o Futuro da Mobilidade Vertical*. Disponível em: <https://www.otis.com>

[4] IEEE Smart Buildings Initiative. (2021). *Intelligent Elevator Systems in High-Rise Buildings*.

- [5] Pressman, R. S. (2014). *Engenharia de Software*. McGraw Hill Brasil.