DESENVOLVIMENTO DE SIMULADOR VEICULAR VIRTUAL 3D COM INTEGRAÇÃO DE HARDWARE PARA APOIO À FORMAÇÃO DE CONDUTORES

Ernany Victor Fernandes Furtunato, Heitor Pinheiro de Souza, Mateus Todeschini Monteiro, Wagner dos Santos Clementino de Jesus.

Colégio Técnico Antônio Teixeira Fernandes / Fundação Vale Paraibana de Ensino, Avenida Paraibuna, 75, Centro - 12245-020 - São José dos Campos-SP, Brasil, ernany12victor@gmail.com, heitorpinheiro.s11@gmail.com, mateustodeschini123@gmail.com, wagner@univap.br.

Resumo

A formação prática de condutores envolve riscos, custos operacionais e variações nos critérios de acompanhamento, enquanto simuladores e sistemas administrativos frequentemente funcionam separadamente. Para enfrentar essas limitações, desenvolvemos um sistema que integra simulador 3D em Unity, aplicação desktop em C#/WPF, banco MySQL e cockpit físico. A dinâmica veicular emprega esterçamento, frenagem, transmissão manual, embreagem progressiva e curva de torque, enquanto a aplicação gerencia alunos, treinamentos e desempenho. A comunicação entre os módulos ocorre por arquivos JSON temporários, com persistência de sessões, erros e pontuações. Os resultados demonstraram integração funcional entre cockpit, veículo, percurso, avaliação e registro do desempenho, permitindo consultar ocorrências e indicadores após cada sessão. Conclui-se que o sistema apresenta viabilidade técnica para complementar o treinamento inicial em ambiente controlado, favorecendo repetição de cenários, rastreabilidade e avaliações padronizadas sem exposição ao trânsito durante a prática virtual.

Palavras-chave: Simulador de direção. Física veicular. Unity. C#. Avaliação automatizada.

Área do Conhecimento: Técnico em Informática.

Introdução

Aprender a dirigir significa treinar em um ambiente no qual o erro tem custo real. Uma decisão inadequada, uma frenagem tardia ou o domínio incorreto dos comandos do veículo podem representar riscos ao aluno, ao instrutor e a terceiros. Por isso, a formação de condutores combina aprendizagem teórica, prática supervisionada e acompanhamento das atividades realizadas. No Brasil, a regulamentação vigente orienta esse processo para a segurança viária e atribui responsabilidades às instituições formadoras, exigindo controle confiável de alunos, aulas e avaliações (Werneck, 2020).

Entretanto, o modelo tradicional de aprendizagem prática apresenta limitações que vão além do risco de acidentes. A realização dos treinamentos depende da disponibilidade de veículos, instrutores, horários e estrutura física, enquanto combustível, manutenção e desgaste da frota representam custos recorrentes para as autoescolas. Além disso, a participação de diferentes instrutores ao longo da formação pode introduzir variações na forma de ensinar, corrigir e avaliar um mesmo comportamento, dificultando a adoção de critérios uniformes e a comparação objetiva da evolução dos alunos (Salas, 2009).

Simuladores de direção transferem parte desse risco para um ambiente controlado, permitindo repetir manobras e erros sem expor o aluno ou terceiros ao trânsito durante a sessão virtual (Maurício, 2018). Sua contribuição pedagógica, contudo, depende da qualidade do cenário, da dinâmica veicular e dos critérios de avaliação (Santos, 2017). Entretanto, simulação e gestão administrativa frequentemente operam separadamente, exigindo transcrição manual dos resultados e dificultando a rastreabilidade das sessões e o uso de indicadores objetivos.

Diante desse cenário, este trabalho desenvolveu um sistema que integra cockpit físico, simulação 3D, avaliação automatizada e gestão desktop em um único fluxo de dados contínuo, permitindo que informações capturadas durante a prática sejam processadas, armazenadas e disponibilizadas de forma coerente entre os diferentes módulos da solução. O objetivo foi projetar, construir e verificar uma arquitetura capaz de reproduzir com fidelidade as operações essenciais do veículo, capturar em tempo real os comandos executados pelo aluno, identificar e registrar automaticamente ocorrências relevantes da condução e disponibilizar ao instrutor um histórico detalhado de desempenho, sem

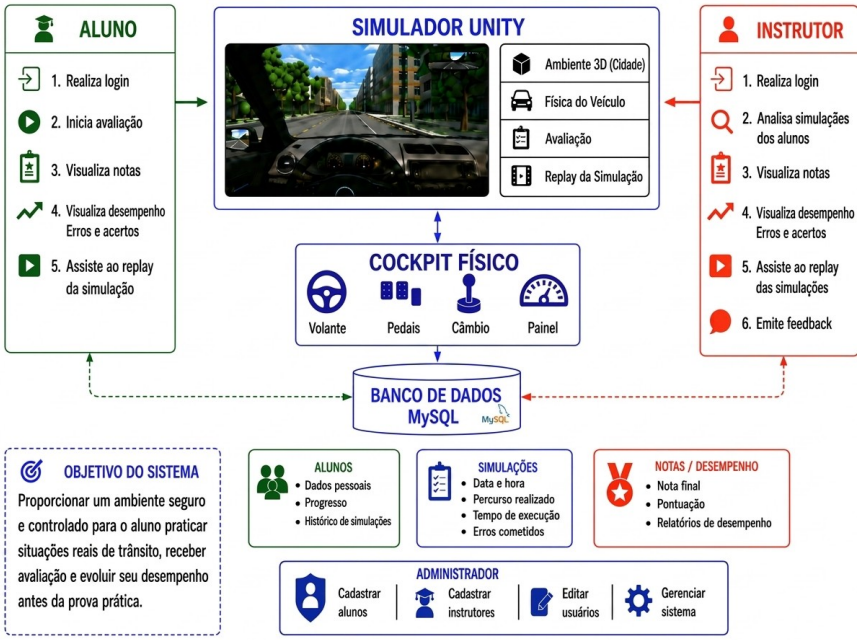
depender exclusivamente de observação manual ou de veículos reais para a etapa prática inicial, oferecendo segurança, rastreabilidade e flexibilidade durante o treinamento.

Metodologia

O estudo foi conduzido como desenvolvimento tecnológico aplicado (Gil, 2002), em etapas de levantamento de requisitos (Knapp, 2016), modelagem da arquitetura (Guedes, 2011), implementação e testes (Pressman, 2016). A solução foi dividida em três módulos: aplicação administrativa em C#/WPF (Windows Presentation Foundation) sobre .NET 10 (Stellman, 2007), simulador em Unity 2022.3.62f3 (Alves, 2019) e banco relacional MySQL (Milani, 2006). A aplicação organiza os perfis de administrador, instrutor e aluno, enquanto o cockpit reúne volante, pedais e câmbio conectados por USB. Os testes funcionais e de integração (Sommerville, 2011) verificaram a comunicação entre módulos, a resposta aos comandos do cockpit, as regras de avaliação e a persistência dos resultados, sem acesso direto da Unity ao banco de dados.

A Figura 1 sintetiza essa arquitetura: o cockpit físico envia os comandos ao simulador desenvolvido em Unity, responsável pelo ambiente 3D, pela física veicular e pela avaliação da condução; os resultados são gravados no banco de dados MySQL, que centraliza usuários, simulações e desempenho. A partir dele são apresentadas as visões de cada perfil — o aluno acompanha notas e replays das sessões, o instrutor analisa os alunos vinculados e emite feedback, e o administrador gerencia os cadastros e o funcionamento do sistema.

Figura 1 – Arquitetura e fluxo de dados do sistema desenvolvido



Fonte: Autores, 2026

Para iniciar uma atividade, a aplicação gera um manifesto JSON (JavaScript Object Notation) com identificação do aluno, modalidade e parâmetros da sessão. A Unity valida esse arquivo, executa o cenário e devolve outro JSON com duração, pontuação, erros e situação final. A aplicação confere a integridade do contrato e grava o resultado no MySQL; o simulador não possui acesso direto ao banco.

A dinâmica foi implementada em um Rigidbody — componente do Unity 3D responsável por simular física, aplicando forças, massa e gravidade a um objeto — com centro de massa rebaixado, e quatro WheelColliders — colisores especializados que simulam o comportamento físico das rodas, incluindo suspensão, atrito e contato com o solo — responsáveis por esterçamento dianteiro, tração traseira, aderência calculada pelo deslizamento e frenagem distribuída em 70% no eixo dianteiro e 30% no traseiro. O conjunto motopropulsor modela marcha neutra, seis marchas e ré, rotação de 800 a 6500 rpm, curva de torque, diferencial e embreagem progressiva capaz de desacoplar o motor e provocar seu apagamento sob carga. Esses elementos reproduzem princípios de aceleração, frenagem,

transferência de carga e interação pneu-pavimento, buscando maior aproximação ao comportamento veicular real (Alves, 2019; Gillespie, 2021).

A avaliação é iniciada pela tela "Simulações" do perfil do aluno, na qual ele pode escolher entre realizar um Test Drive, uma aula ou uma prova previamente designada pelo instrutor. Essa organização oferece liberdade para selecionar a atividade desejada no momento, embora aulas e provas pendentes devam ser concluídas dentro do prazo definido. O condutor em formação também pode repetir o processo de aprendizagem sem depender da presença contínua do instrutor e retornar a diferentes partes da simulação por meio de um sistema automático de checkpoints. Esse recurso permite retomar etapas específicas, revisar erros e repetir trechos quantas vezes forem necessárias, possibilidade inexistente no ambiente real e que favorece um aprendizado mais flexível, progressivo e dinâmico (Mendonça, 2021).

As aulas e provas são configuradas pelo próprio instrutor na aplicação, que define os parâmetros de cada atividade, como o tipo de exercício — por exemplo, "Baliza" — e características específicas, como "Tamanho da Vaga". O instrutor também acessa um minimapa dos cenários disponíveis, seleciona o ambiente desejado e traça com o mouse a rota que deverá ser percorrida pelo aluno durante a atividade. Esse trajeto passa a orientar a sequência esperada no simulador e pode ser acompanhado pelos checkpoints definidos no percurso. Por fim, o instrutor registra orientações necessárias para a conclusão correta da aula ou prova, posteriormente apresentadas e explicadas ao aluno pelo instrutor virtual desenvolvido, mantendo as instruções vinculadas à atividade configurada.

Em relação ao sistema de pontuação, o condutor em formação começa com 100 pontos, dos quais são descontadas ocorrências classificadas por gravidade, e reprova por evento eliminatório ou pontuação final igual ou inferior a 70. Para isso, foi desenvolvido um sistema de avaliação baseado em regras, utilizando BoxColliders — componentes do Unity 3D que definem volumes de colisão em formato de caixa, usados para detectar quando o veículo entra em zonas de infração — para delimitar essas áreas e registrar de forma consistente as infrações cometidas pelo aluno.

Resultados

O protótipo integrou os comandos do cockpit ao veículo virtual e concluiu o fluxo de uma sessão: seleção da atividade, execução na Unity, geração do resultado, validação do JSON e persistência no MySQL. A plataforma passou a concentrar cadastros, atribuições, histórico, pontuação, ocorrências, listagens e resumos inteligentes, reduzindo a transcrição manual entre a prática e o acompanhamento. Esse encadeamento permitiu que as informações produzidas na simulação chegassem à aplicação administrativa de forma estruturada, preservando a separação entre os módulos.

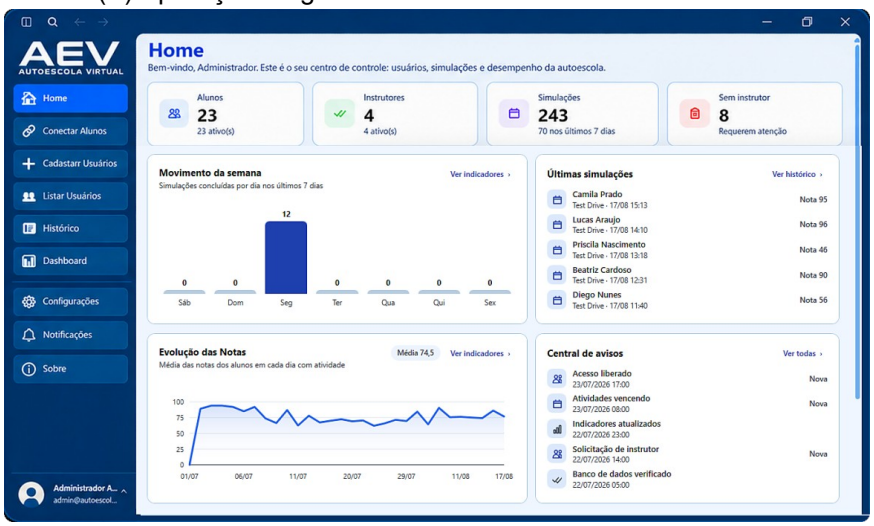
No ambiente 3D, o volante controla o esterçamento das rodas dianteiras; acelerador, freio e embreagem alteram torque, frenagem e relação de transmissão; e o câmbio altera as marchas. A resposta também inclui marcha lenta, corte de giro e apagamento do motor quando a embreagem é liberada inadequadamente, tornando a operação mais exigente que um controle veicular simplificado. Durante a execução, os comandos físicos foram refletidos no comportamento do veículo virtual, mantendo a correspondência entre a interação no cockpit e a simulação.

A Figura 2 reúne a visão interna do automóvel e a aplicação de gerenciamento. Durante a simulação, o aluno utiliza uma perspectiva em primeira pessoa, com volante, retrovisores, painel e demais elementos do veículo; na região inferior esquerda observa-se o painel de condução e, à direita, a contagem de pontos, permitindo acompanhar o desempenho durante a atividade (Figura 2A). Checkpoints verificam a sequência da rota e o afastamento do trajeto, enquanto o sistema de avaliação registra ocorrências e atualiza a pontuação para consulta posterior. Todo o processo é armazenado no banco de dados e posteriormente apresentado na aplicação por meio de indicadores e gráficos, como a média diária das pontuações ao longo do mês. A tela inicial concentra ainda indicadores de alunos, instrutores, simulações e alunos sem instrutor, além do movimento semanal, possibilitando analisar o desempenho geral da autoescola (Figura 2B). Figura 2 – Aplicação de gerenciamento e ambiente interno do simulador

(A) Ambiente interno do simulador durante a condução



(B) Aplicação de gerenciamento do sistema desenvolvido



Fonte: Autores, 2026

A Figura 3 registra a utilização do cockpit físico, composto por volante, pedais, câmbio, assento e painel, durante a condução no cenário virtual apresentado no monitor. A imagem evidencia o uso simultâneo dos dispositivos físicos e do ambiente 3D, mostrando como o usuário controla o veículo pelo cockpit enquanto acompanha visualmente a resposta do simulador.

Figura 3 – Usuário interagindo com o cockpit físico do simulador



Fonte: Autores, 2026

Em conjunto, os resultados confirmam o encadeamento técnico entre entrada física, simulação da dinâmica veicular, avaliação automatizada e armazenamento persistente, estruturando uma experiência de condução virtual com elementos presentes em um automóvel real. Ressalta-se, contudo, que esses resultados demonstram a viabilidade técnica do sistema e não constituem, isoladamente, medida de aprendizagem do aluno nem evidência de equivalência plena com um veículo real.

Discussão

A arquitetura desacoplada constitui uma vantagem técnica. Como somente a aplicação WPF persiste as informações, a Unity permanece concentrada na simulação e pode ser atualizada sem acesso direto às credenciais do banco (Serafim, 2012). Os manifestos JSON estabelecem um contrato verificável entre os módulos, reduzindo o acoplamento e favorecendo rastreabilidade, recuperação de falhas e auditoria das sessões. Essa separação também facilita a manutenção independente dos componentes e reduz a exposição desnecessária das credenciais de persistência.

No plano pedagógico, a repetição controlada, os checkpoints e o registro automático ampliam as condições para treino dirigido, em consonância com aplicações de simuladores de condução e com o uso de recursos lúdicos em contextos formativos (Mendonça, 2021). A prática virtual elimina a exposição ao trânsito durante aquela sessão e permite repetir atividades de forma padronizada; contudo, não substitui a prática supervisionada nem permite afirmar redução de acidentes ou ganho de aprendizagem sem estudos específicos.

O sistema de pontuação baseado em regras e zonas de infração favorece a aplicação repetível dos mesmos critérios entre sessões (Salas, 2009). Entretanto, sua validade depende da calibração das zonas, dos pesos atribuídos às ocorrências e dos eventos eliminatórios. A fidelidade da dinâmica veicular e a usabilidade ainda devem ser verificadas com medições e estudos envolvendo alunos e instrutores (Maurício, 2018).

Conclusão

O sistema desenvolvido atingiu o objetivo técnico de integrar cockpit físico, simulação veicular, avaliação automatizada e gestão das sessões em uma única arquitetura. O protótipo processa comandos de direção, transmissão e frenagem, registra ocorrências do percurso e entrega resultados estruturados à aplicação administrativa, permitindo o acompanhamento posterior por alunos, instrutores e administradores. A aplicação WPF ampliou o potencial de gestão ao centralizar cadastros, sessões, pontuações e indicadores produzidos durante as atividades.

Os resultados demonstram a viabilidade técnica da integração proposta e a reprodução de operações essenciais da condução, mas não comprovam equivalência plena com um veículo real nem efeitos sobre a aprendizagem. Entre as limitações identificadas estão o realismo gráfico e a necessidade de calibração mais rigorosa do modelo dinâmico e dos critérios de avaliação.

Como continuidade, recomenda-se aperfeiçoar o sistema de renderização, calibrar o modelo dinâmico com medições de um veículo de referência e realizar estudos com amostra definida de alunos e instrutores. Esses procedimentos permitirão quantificar fidelidade, usabilidade, aprendizagem e eventual contribuição para a segurança do treinamento.

Referências

ALVES, William Pereira. ***Unity: design e desenvolvimento de jogos*****.** 1. ed. Rio de Janeiro: Alta Books, 2019.

GIL, Antonio Carlos. ***Como elaborar projetos de pesquisa*****.** 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

GILLESPIE, T. D. ***Fundamentals of vehicle dynamics*****, revised edition.** Warrendale: SAE International, 2021.

GUEDES, Gilleanes T. A. **UML 2: *uma abordagem prática*.** São Paulo: Novatec, 2011.

KNAPP, J.; ZERATSKY, J.; KOWITZ, B. ***Sprint: o método usado no Google para testar e aplicar novas ideias em apenas cinco dias*****.** Rio de Janeiro: Intrínseca, 2016.

MAURÍCIO, Christine et al. **Efeito das linhas de centro e de bordo de uma rodovia sobre a velocidade praticada por condutores em simulador de direção imersivo.** Rio Grande do Sul: ANPET, 2018.

MENDONÇA, Marcos Barreto de; FREITAS, Alessandra Conde. **Uma experiência de concepção de jogos pedagógicos para redução de riscos de desastres.** *Revista Vértices*, [S. l.], v. 23, n. 1, p. 299–314, 2021. DOI: 10.19180/1809-2667.v23n12021p299-314.

MILANI, André. ***MySQL: guia do programador*.** São Paulo: Novatec, 2006.

PRESSMAN, Roger S. ***Engenharia de software: uma abordagem profissional*.** 8. ed. Porto Alegre: AMGH, 2016.

SALAS, E.; MILHAM, L. M.; BOWERS, C. A. **Training evaluation in the military: misconceptions, opportunities, and challenges.** Orlando: University of Central Florida, 2009.

SANTOS, M. I.; OLIVEIRA, P. T. M. S.; LAROCCA, A. P. C.; KABBACH JUNIOR, F. I. **Conceito, configuração e aplicação de um simulador de direção no Brasil: estudo de caso.** Transportes, Rio de Janeiro, 2017.

SERAFIM, V. da Silveira. ***Introdução à criptografia: funções criptográficas de hash***. 2012.

SOMMERVILLE, Ian. ***Engenharia de software*.** 9. ed. São Paulo: Pearson, 2011.

STELLMAN, Andrew; GREENE, Jennifer. ***Use a Cabeça! C#*.** Rio de Janeiro: Alta Books, 2007.

WERNECK, Alexandre Vieira. **Obstáculos na "Pista Livre": algumas considerações sobre a pragmática dos dispositivos da "Lei do Trânsito" no Rio de Janeiro.** *Antropolítica – Revista Contemporânea de Antropologia*, Niterói, 2020.