

DESENVOLVIMENTO E AVALIAÇÃO DE UM SIMULADOR DE REALIDADE VIRTUAL PARA MONITORAMENTO DE TÉCNICAS DE DIREÇÃO ECONÔMICA

Tales Nereu Bogoni

Departamento de Computação

UNEMAT – Universidade do Estado de Mato Grosso – Campus de Colíder

Márcio Sarroglia Pinho

Faculdade de Informática

PUCRS – Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul

RESUMO

Este trabalho apresenta o projeto de desenvolvimento e avaliação de um simulador de caminhão voltado à avaliação do uso de Técnicas de Direção Econômica. São descritas as técnicas de direção econômica e sua forma de monitoramento, bem como o processo de modelagem e construção de um ambiente virtual e dos dispositivos de interação utilizados no simulador. A simulação é realizada utilizando um ambiente virtual *desktop* com configuração de *hardware* similar a um caminhão real com o intuito de fornecer maior grau de imersão para o usuário. Através da realização de testes com motoristas e instrutores de direção econômica, pode-se perceber que o protótipo pode ser utilizado como uma ferramenta para avaliação de motoristas e que o sistema desenvolvido é capaz de captar grande parte das violações do uso de Técnicas de Direção Econômica detectadas por instrutores.

ABSTRACT

This paper presents the project of development and evaluation of a truck simulator aimed at assessing the use of Economic Driving Techniques. We describe the techniques for economic driving and the way they are monitored, as well as the process of modeling and creating a virtual environment and the interaction devices used in the simulator. The simulation is accomplished by using a virtual desktop environment with hardware configuration similar to that in a real truck, in order to provide the user with a higher level of immersion. By testing drivers and economic driving instructors, it was possible to observe that the prototype can be used as a tool for assessing drivers and that the system is able to perceive a great part of the violations in the use of Economic Driving Techniques during the simulation similarly to a human expert.

1. INTRODUÇÃO

Desde meados da década de 1950 houve um aumento progressivo no número de caminhões que circulam pelas rodovias brasileiras exigindo uma quantidade cada vez maior de profissionais qualificados para conduzi-los. Apesar disto, apenas recentemente, com a profissionalização das empresas de transporte e a grande evolução das tecnologias embarcadas nos caminhões, surgiram iniciativas para melhorar a qualificação dos motoristas. Estas iniciativas estão ligadas ao fato de que estes motoristas deixaram de ser meros condutores dos veículos e se tornaram peças-chave para o crescimento das empresas de transporte, pois a forma como estes conduzem os caminhões compõe uma parcela considerável da lucratividade da empresa

Para suprir a demanda de motoristas profissionais, que em 2009 chegou a apresentar um déficit de 90 mil vagas, foram implantados diversos centros de treinamento que buscam formar mão-de-obra através de cursos de qualificação para novos motoristas e cursos de reciclagem para os motoristas que já estão no mercado. Estes cursos são compostos de aulas teóricas e práticas, nas quais os motoristas recebem treinamento para dirigir corretamente um caminhão equipado com motor eletrônico e aprendem a manusear as tecnologias embarcadas nos caminhões.

Um dos assuntos abordados dentro dos programas de treinamento é a realização de viagens seguras e econômicas através da utilização de Técnicas de Direção Econômica. Este conceito está relacionado à adoção de técnicas de condução que proporcionam redução do consumo de

combustível, aumento da vida útil das peças, maior segurança ao motorista e respeito às normas de trânsito.

A avaliação do nível do aprendizado do motorista, no que tange ao uso adequado das técnicas de direção econômica, é realizada de forma subjetiva por instrutores que acompanham os motoristas em viagens experimentais. Esta metodologia de treinamento e avaliação, além de acarretar um alto custo financeiro, pode apresentar problemas na avaliação devido a diversos fatores, entre eles, fadiga do instrutor, mau relacionamento entre ele e o motorista e a pressão psicológica sofrida pelo motorista por estar sendo avaliado.

Com a finalidade de aprimorar o método de avaliação dos atuais programas de treinamento de Direção Econômica, este trabalho apresenta o processo de desenvolvimento e a avaliação de um simulador baseado em Realidade Virtual (RV), que busca identificar as violações que o motorista comete em uma viagem, fornecendo uma visão objetiva do comportamento do motorista.

A próxima sessão apresenta os conceitos necessários para a definição das Técnicas de Direção Econômica. As características das estradas brasileiras utilizadas para a criação do Ambiente Virtual (AV) são descritas na sessão 3. A sessão 4 descreve os passos para a construção do simulador. Na sessão 5, são apresentados os testes realizados para a avaliação do simulador e os resultados obtidos. Finalizando, a sessão 6, apresenta as conclusões e propostas de trabalhos futuros.

2. FATORES QUE INFLUENCIAM NA DIREÇÃO ECONÔMICA

A matriz de transportes brasileira está fortemente ligada ao transporte rodoviário de cargas. De acordo com Erhart e Palmeira (2006), a partir de dados obtidos junto a Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT), 58% das cargas são transportadas por meio rodoviário, fazendo com que o custo do frete das cargas encareça os produtos comercializados no País. Cabe ressaltar que mesmo com o alto custo dos fretes a margem de lucro das empresas de transporte vem sendo achatada com o aumento constante dos insumos utilizados nos veículos e a má conservação das rodovias.

Uma das alternativas para reduzir os custos do sistema de transporte é investir na redução do consumo de combustível e do desgaste de peças, pois estes custos correspondem à grande parte do preço final do frete. Wanke e Fleury (2006) afirmam que os gastos com combustíveis e lubrificantes, seguido das peças utilizadas na manutenção, são os principais responsáveis pelos elevados custos variáveis na formação do preço final do frete. Além disto, testes feitos pelo Programa Nacional de Racionalização do Uso dos Derivados de Petróleo e Gás Natural - CONPET (2008) concluíram que o consumo de combustível pode variar em até 30% dependendo da forma como o motorista conduz o veículo, indicando que o treinamento dos motoristas é de extrema importância para a redução dos preços dos fretes e, consequentemente, no aumento da lucratividade das empresas.

Diversos são os fatores que aumentam o consumo de combustível e desgaste de peças em um caminhão. Pesquisas apresentadas por Silveira (2003), Stodolsky *et al.* (2000) e Gaines *et al.* (2006), demonstram que o consumo está diretamente ligado à forma de condução do veículo e à correta manutenção do mesmo. Dentre os fatores que levam ao aumento do consumo de combustível e ao maior desgaste de peças destacam-se: excesso de velocidade, utilização incorreta das marchas, uso do ponto-morto e vícios de direção.

Com relação à velocidade de tráfego, Biochini (2002) destaca que o consumo de combustível pode aumentar em até 20% quando um veículo aumenta sua velocidade de 80 km/h para 100 km/h, além disto, a velocidade alta provoca aumento na temperatura dos pneus, o que aumenta seu desgaste, e está em desacordo com as leis de trânsito brasileiras o que pode acarretar em multas para o condutor. Outro reflexo do aumento da velocidade está no tempo de frenagem, uma vez que o sistema de freios será forçado excessivamente.

A manutenção da marcha adequada durante as viagens visa manter as Rotações por Minuto (RPM) do motor dentro da faixa econômica recomendada pelo fabricante do veículo, nesta faixa o consumo é menor e o motor realiza a força necessária para movimentar o veículo. A troca de marchas deve ser feita nos limites da faixa de direção econômica, fazendo com que o motor, ao ser acionado com a nova marcha, mantenha-se dentro da faixa econômica. Outro fator importante com relação ao uso adequado da marcha é apresentado por Stodolsky *et al.* (2000), suas pesquisas indicam que o uso de ponto-morto são grandes vilões no consumo de combustível. Além de ser perigoso no caso da necessidade de uma parada de emergência ou falta de freios, pois o motor trabalha sem controlar a tração, deixando o veículo livre.

Os vícios de direção são ações que o motorista realiza sem que haja a necessidade e muitas vezes o condutor nem percebe que está realizando tal ação, pois já se tornou automática. Os vícios mais comuns e seus efeitos são: (a) *trafegar com o pé sobre a embreagem*, provoca redução da vida útil do disco de embreagem em até 50%; (b) *acelerar durante a mudança de marcha ou ao desligar o veículo*, provoca consumo de combustível desnecessário e reduz a lubrificação dos pistões; (c) *“esquentar” o motor*, provoca consumo de combustível deixar o caminhão ligado e “esquentando”, a forma correta é logo que o ar de freio estiver cheio iniciar a movimentação.

Por fim, pode-se conceituar Direção Econômica como sendo a forma correta de conduzir um caminhão de acordo com as especificações técnicas de cada modelo e fabricante.

3. CARACTERÍSTICAS DAS RODOVIAS BRASILEIRAS

Como o objetivo deste projeto é desenvolver um simulador para ser utilizado por motoristas brasileiros buscou-se levantar dados das características das estradas brasileiras a fim desenvolver um AV que retratasse com fidelidade a realidade encontrada no Brasil. A construção de rodovias no Brasil segue normas estabelecidas pelo Departamento Nacional de Infra-estrutura e Transportes (DNIT), antigo Departamento Nacional de Estradas e Rodagem (DNER), além disto, o Conselho Nacional de Trânsito (CONTRAN), regulamenta os tipos de veículos de carga que podem circular pelas estradas.

3.1. Classificação das Rodovias

As rodovias são projetadas com base em um veículo de projeto (BRASIL, 1999), que classifica os veículos dentro de grupos com dimensões similares, no fluxo de veículos da região e no relevo do terreno onde é construída. As rodovias podem ser classificadas de acordo com critérios *técnicos* ou *funcionais*. Na classificação técnica levam-se em consideração os serviços que a rodovia deve oferecer e suas características geométricas. Na classificação funcional considera-se a necessidade de gestão, planejamento e construção da rodovia.

Para este projeto nos atemos mais a classificação funcional, que, segundo Lee (2000), pode ser separada em três Sistemas Funcionais: (a) *Sistema Arterial*, compreende rodovias com

grande volume de tráfego que propiciam alto nível de mobilidade, ligam cidades de grande porte e são projetadas para viagens longas; (b) *Sistema Coletor*, é composto por rodovias que operam com velocidades inferiores às arteriais, ligam as rodovias do Sistema Local ao Arterial, seu tamanho é inferior às rodovias Arteriais e possuem um misto das funções de mobilidade e de acesso; (c) *Sistema Local*, são rodovias de curta extensão que servem para conectar pequenas localidades ao Sistema Coletor, possuem pouca mobilidade e um pequeno volume de tráfego.

3.2. Geometria da Rodovia

O traçado de uma rodovia define a sua geometria e deve ser tratado como uma forma tridimensional, contínua, e de fluentes e gradativas mudanças de direção (BRASIL, 1999). Uma rodovia vista horizontalmente (visão planimétrica) é composta por tangentes e curvas e, quando vista verticalmente (visão altimétrica) é definida pelo relevo do terreno.

O relevo influencia na velocidade de tráfego dos veículos e, em alguns casos, exige a presença de faixas adicionais para proporcionar um melhor fluxo no trânsito. Este relevo pode ser classificado em *plano*, *ondulado* ou *montanhoso*. Um terreno é plano quando possui diferença de altitude igual ou inferior a 8%, nos terrenos ondulados a elevação é de 9% a 20% e, nos terrenos montanhosos a elevação é superior a 20% (LEE, 2000).

3.3. Hierarquia de Viagens

Segundo o DNIT (BRASIL, 1999) um roteiro de viagem de longa distância é composto por diversas etapas hierarquicamente distribuídas, conforme apresentado na Figura 1.

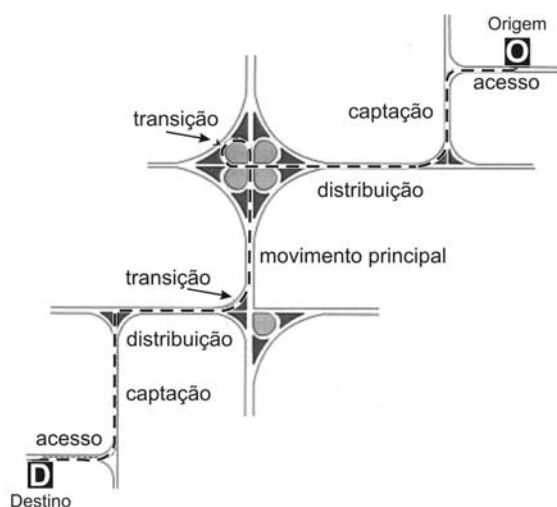


Figura 1 – Hierarquia de viagens

Neste modelo pode-se perceber que os trechos no início e fim do percurso são classificados como sendo de acesso, nos quais é predominante a presença de rodovias do Sistema Local. O segundo e penúltimo trecho da viagem ocorrem em uma via do Sistema Coletor, identificado como trecho de *captação*, no qual diversas vias de acesso conectam-se. A etapa central da viagem ocorre dentro das vias do Sistema Arterial, com maior volume de tráfego e empregando maiores velocidades, neste caso, têm-se os estágios de distribuição e transição, além de englobar as interseções, como por exemplo, trevos e viadutos.

3.4. Condições das Rodovias

Um retrato das condições das rodovias brasileiras é exposto pela Confederação Nacional do Transporte (CNT) e o SEST/SENAT (Serviço Nacional do Transporte/Serviço Nacional de Aprendizagem no Transporte), através do Relatório Geral de Pesquisa Rodoviária (CNT, 2010), no qual são apresentados dados referentes à qualidade do pavimento, da sinalização e da geometria de mais de 90.000 km de rodovias brasileiras, correspondendo a 13% da malha viária brasileira, estes dados estão sumarizados na Tabela 1.

Tabela 1 - Características das estradas brasileiras

Característica	Ótimo	Bom	Ruim
Pavimento	44,5%	42,4%	8,3%
Sinalização	19,9%	49,9%	30,2%
Geometria	4,5%	47,4%	48,1%

Os pavimentos considerados *ótimos* possuem perfeitas condições, sem a presença de buracos ou trepidação. Já os classificados como *bom*, apresentam os primeiros sinais de desgaste com trincas, remendos e ondulações, provocando trepidação, porém, sem buracos. Os trechos classificados como *ruins*, apresentam afundamentos e ondulações, com a presença de buracos (CNT, 2010).

No quesito sinalização, os trechos classificados como *ótimos*, possuem boa visibilidade das faixas horizontais e placas em boas condições. Já os trechos em que a sinalização é considerada *boa*, a pintura das faixas está desgastada ou de forma incompleta, porém, é possível identificá-las e as placas estão presentes em grande parte do trecho, porém oclusas por vegetação ou danificadas. Nos trechos classificados como *ruins*, a sinalização horizontal e vertical inexistente ou está seriamente danificada, comprometendo a segurança dos motoristas (CNT, 2010).

A geometria da rodovia é classificada como *ótima* quando não obriga a reduções de velocidade, possuindo predominância de trechos em retas em regiões planas ou onduladas. Quando o trecho é classificado como *bom*, obriga a redução de velocidade, possui predominância de curvas ou está em regiões onduladas e montanhosas com a presença de faixa adicional. Já a classificação *ruim*, indica que a velocidade do trecho é baixa com a presença de curvas acentuadas ou com regiões de terreno montanhoso sem a presença de faixa adicional (CNT, 2010).

4. CONSTRUÇÃO DO SIMULADOR

Para desenvolver um simulador de direção com propósito de avaliação de direção econômica deve-se levar em conta o grau de imersão necessário para que os usuários sintam-se dentro do AV. Neste contexto, o grau de imersão refere-se ao tipo de equipamento que o usuário utiliza para interagir com o AV, estes equipamentos têm por objetivo colocar o usuário “dentro” do AV (PINHO, 2002). Além disto, deve-se considerar o grau de realismo necessário para a realização das tarefas que são monitoradas. Pensando assim é necessário que o motorista ao utilizar o simulador interaja com equipamentos similares aos de um caminhão real e sinta-se livre para realizar os movimentos de interação com estes equipamentos da forma mais natural possível.

Utilizou-se o *software* de código aberto TORCS, *The Open Racing Car Simulator* (CHRISTOPHE, 2008), para ser a base do simulador. Nele é possível inserir rotinas de monitoramento de dados e adequação de novos dispositivos de entrada de dados.

A construção do simulador foi separada em 3 fases distintas: a modelagem do AV, o desenvolvimento da interface física para coleta de dados e, o monitoramento e análise dos dados.

4.1. Modelagem do AV

Para a etapa de modelagem do AV foi desenvolvido um trajeto a ser percorrido pelo usuário com características compatíveis com as estradas brasileiras, além de um modelo de caminhão que atenda as características comuns dos veículos nacionais utilizados em programas de treinamento de motoristas.

Na construção do percurso foram utilizados dados das estradas brasileiras, apresentadas na sessão 3. O percurso foi desenvolvido com base na hierarquia de viagens (sessão 3.3), atende a todas as condições de tipos de rodovias, de acordo com a classificação funcional (sessão 3.1). Além disto, a geometria da rodovia modelada contém todas as combinações descritas na sessão 3.2, incluindo terrenos planos, ondulados e montanhosos, com retas e tangentes. As condições da rodovia, com relação ao pavimento, foram atendidas com trechos de pavimento de qualidade ótima, ruim e boa, de acordo com o descrito na sessão 3.4. Além disso, foram inseridas situações que exigem que o motorista faça uso de técnicas de direção econômica, como por exemplo, percurso em perímetro urbano, cruzamentos, locais com velocidade reduzida, faixas de pedestres, lombadas tradicionais, lombadas eletrônicas, trevos e viadutos. Estes itens foram solicitados por instrutores de direção econômica do Instituto Serrano de Educação ao Transporte e Trânsito (ISETT), que acompanharam o desenvolvimento do projeto e forneceram as informações necessárias para a construção da lógica do simulador.

O principal objetivo da construção deste percurso foi o de mostrar a possibilidade de inclusão de grande quantidade de combinações de características para os trechos de rodovias, comprovando que percursos maiores e com características próprias podem ser desenvolvidas seguindo o modelo proposto no simulador.

Além da modelagem do percurso foi necessário desenvolver o painel de instrumentos (virtual) do caminhão que o motorista está guiando com os instrumentos necessários para que ele possa acompanhar a velocidade, as rotações e o status dos instrumentos básicos do caminhão. Durante a simulação a visão que o usuário possui do AV é apresentada na Figura 2. Nesta imagem são representadas algumas características da pista e outras do caminhão virtual, tais como: espelho retrovisor (A); placa de limite de velocidade (B); tempo de simulação (C); medidor de ar de freio (D); conta-giros (E); velocímetro (F); indicador do uso de caixa reduzida (G); indicador de uso de freio estacionário (H); indicador de uso de freio motor (I).

Um dos componentes mais importantes que o motorista deve levar em consideração enquanto está dirigindo para obedecer às normas das técnicas de direção econômica é o conta-giros. As informações apresentadas no conta-giros indicam o momento ideal da troca de marchas e a situação do consumo de combustível. A Figura 3 apresenta o conta-giros utilizado neste AV indicando cada uma das faixas em cores distintas e a nomenclatura utilizada neste trabalho para cada faixa.

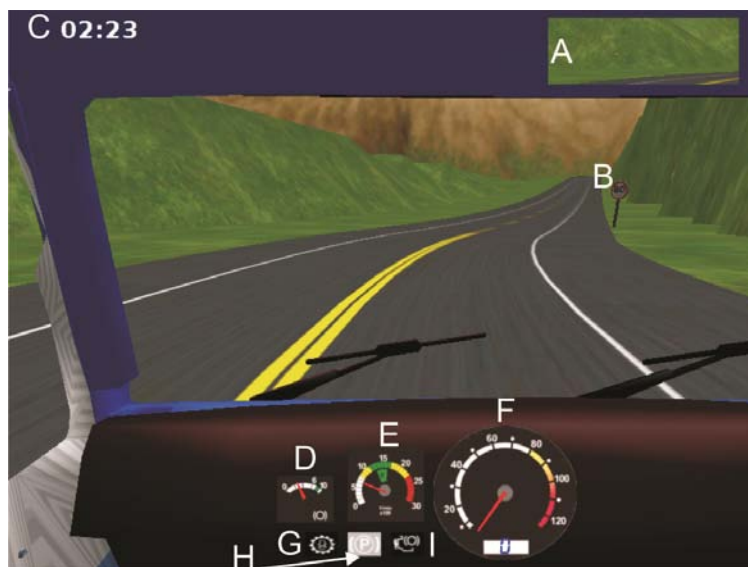


Figura 2 – Visão do motorista

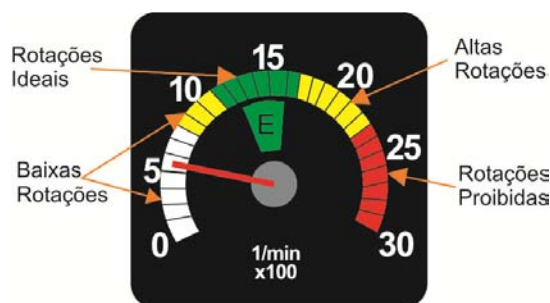


Figura 3 – Conta-giros

4.2. Dispositivos de Interação

Com o intuito de aumentar o grau de imersão do motorista foi desenvolvido um *cockpit*, cujo modelo é apresentado na Figura 4, com mecanismos similares aos de uma cabine de caminhão. O motorista interage com o sistema através da direção, pedais de acelerador, freio e embreagem, alavanca de marchas e acionadores de freio estacionário e de freio-motor. Todos estes dispositivos foram instrumentados com sensores, analógicos e digitais, para informar ao sistema qual seu estado, ou posição, durante a simulação.

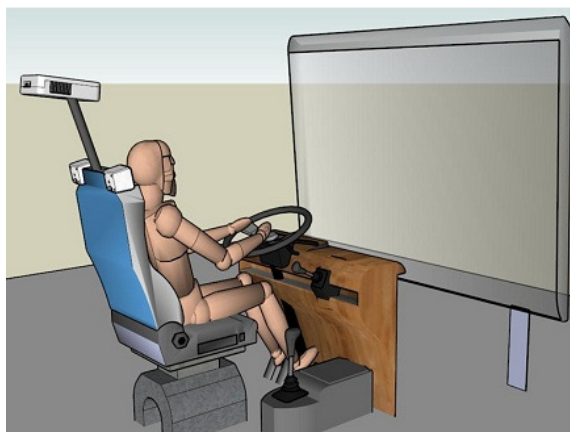


Figura 4 – Modelo físico do simulador

A direção é equipada com um sensor analógico, tipo potenciômetro, e um motor de redução, que permite ao motorista realiza até 5 voltas de giro para estressar toda a direção. Os pedais de freio, acelerador e embreagem também dispõe de potenciômetros para identificar a pressão exercida em cada um deles, além disto, todos são equipados com molas que buscam reproduzir a resistência oferecida pelo dispositivo real que está sendo simulado. O pedal de embreagem possui ainda um sensor de toque para identificar se o motorista está com o pé sobre ele.

A instrumentação do sistema de freios, além do sensor analógico presente no pedal de freio, utiliza sensores digitais acoplados nas manoplas localizadas no painel do *cockpit*. Seu objetivo é informar ao sistema o acionamento do freio-motor e do freio estacionário.

O câmbio de marchas é composto por uma alavanca com movimentação livre e possui uma grelha para guiar seus movimentos. Cada posição da grelha representa uma marcha, que é equipada por um sensor de toque que indica seu status. Além disto, a manopla possui um interruptor utilizado pelo motorista para mudar a caixa de marchas (*shift*) e outro para o acionamento da caixa reduzida. O esquema de marchas utilizado é apresentado na Figura 5.

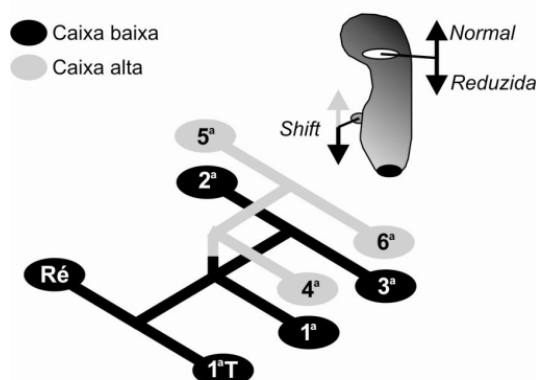


Figura 5 – Configuração das marchas

Para a visualização do AV foi utilizado um projetor multimídia com resolução de 800x600 *pixels* e taxa de atualização de aproximadamente 60 *frames* por segundo (FPS), caixas de som e tela de projeção com dimensões de 2,0 x 2,0m.

4.3. Monitoramento de dados

Este módulo recebe os dados dos dispositivos físicos instrumentados, faz a análise com base na posição do veículo no percurso e cada vez que o sistema percebe que o motorista violou alguma norma relacionada à direção econômica faz o registro de um evento indicando o tipo de violação percebida.

Todas as ações consideradas incorretas percebidas pelo simulador são armazenadas, para que ao final da simulação, o sistema emita um relatório final (Figura 6) contendo um resumo dos erros que o motorista cometeu durante a simulação. Dependendo do tipo de erro o importante é a quantidade de ocorrências, como por exemplo, a quantidade de vezes que o motorista trocou a marcha de forma incorreta, e, em outras ocorrências, o importante é a duração que o erro foi cometido, como por exemplo, por quanto tempo o motorista trafegou em velocidade acima da permitida.

Quesito	Quantidade de Ocorrências	Tempo (mm:ss)
Desrespeito ao limite de velocidade	01	00:08
Trafegar com rotações baixas	38	03:42
Trafegar com rotações altas	32	03:12
Trafegar com rotações muito altas	06	00:34
Arrancada incorreta	02	
Troca de marchas com rotações baixas	17	
Troca de marchas com rotações altas	25	
Troca de marchas sem o uso correto da embreagem	67	
Troca de marchas muito rápida	56	
Engate incorreto da marcha ré	00	
Engate incorreto da 1a. Trator	00	
Trafegar com o pé sobre a embreagem	02	00:08
Uso incorreto do freio estacionário	02	
Uso incorreto do freio motor	04	13:14
Trafegar com pouco ar de freio	01	00:04
Uso incorreto do ponto morto ou banguela	01	00:04
Freada brusca	03	
Trafegar fora da pista	06	01:24

Figura 6 – Relatório Final da Simulação

5. AVALIAÇÃO DO SIMULADOR

Para avaliar a qualidade do simulador desenvolvido, com o objetivo de utilizá-lo como ferramenta de treinamento e avaliação de motoristas, realizou-se um experimento empírico com uma amostra de 14 voluntários, divididos em dois grupos. O primeiro grupo foi composto por 6 instrutores de aulas práticas de direção econômica e o segundo com 8 motoristas de caminhão. Do grupo de motoristas, 75% identificaram-se como sendo *trainees* e 25% identificaram-se como sendo motoristas profissionais.

Com a avaliação do simulador buscou-se responder duas questões básicas:

- O simulador é capaz de identificar as mesmas ocorrências que um avaliador humano?
- O resultado emitido pelo simulador pode ser utilizado como material adicional para auxiliar os instrutores na avaliação de motoristas?

A seguir são detalhados os testes realizados e os resultados obtidos.

5.1. Testes com Motoristas

A realização dos testes com os motoristas contou com a presença de instrutores de direção econômica do ISETT, que foram previamente treinados para registrar no sistema as violações que percebiam que o motorista cometia durante o período de simulação. O objetivo da presença dos instrutores era o de criar parâmetros para a comparação entre os resultados identificados pelo simulador e aqueles identificados pelos instrutores. Todas as simulações

foram gravadas em vídeo para verificações futuras e avaliação dos pontos fracos do simulador.

Na primeira etapa dos testes era feita a adaptação do motorista aos dispositivos físicos do simulador. Para isto, o motorista conduzia um caminhão virtual em um percurso aproximadamente 2,7 Km de extensão, com características similares ao percurso utilizado nos testes de desempenho do motorista. O treinamento era encerrado quando o motorista julgava sentir-se confortável com o sistema e seus dispositivos.

Em seguida, o motorista iniciava o percurso de testes, realizando as tarefas que fossem solicitadas pelo avaliador do experimento. Todos os motoristas realizaram as mesmas tarefas nos mesmos locais. A finalidade destas tarefas era provocar situações em que o motorista deveria demonstrar conhecimento das Técnicas de Direção Econômica e que não estavam explicitadas no percurso, como por exemplo, paradas e caminhos a seguir dentro do mapa.

5.2. Testes com Instrutores

Da mesma forma que o grupo de motoristas, os instrutores passaram pelo processo adaptação ao simulador e guiaram pela pista, porém com objetivos diferentes, ou seja, eles deveriam verificar se o simulador captava as violações às Técnicas de Direção Econômica que os instrutores viam e em alguns casos provocavam propositadamente. Neste caso o simulador indicava na tela o tipo violação percebida para que o instrutor pudesse comparar com aquela que ele identificava.

Em seguida, os instrutores foram separados em dois grupos e cada grupo assistiu ao teste completo de um motorista e avaliou o relatório emitido pelo simulador (Figura 6), a fim de verificar se este pode ser utilizado como ferramenta de análise sobre a forma como o motorista dirige.

5.3. Resultados Obtidos

A primeira avaliação realizada teve como objetivo verificar se o simulador era capaz de captar as mesmas violações no uso das técnicas de direção econômica que o instrutor percebia durante o percurso. Para tanto, foram realizadas comparações entre a quantidade de ocorrências percebidas pelo instrutor e pelo sistema, além de analisar o momento em que estes eventos ocorreram, ou seja, verificar se o instrutor e o simulador identificaram as mesmas ações na mesma ocorrência.

Para realizar a comparação entre os dados dos dois modelos (simulador e instrutor) foi utilizada ANOVA para cada um dos quesitos avaliados. Neste caso o fator determinante foi a quantidade de ocorrências de cada um dos modelos sendo que os quesitos sem ocorrências detectadas foram excluídos da análise. Para todos os quesitos testados foi considerado um nível de significância de 5% ($\alpha=0,05$), ou seja, para que os resultados sejam considerados estatisticamente iguais o *p-value*, obtido através de ANOVA, deve ser superior ao valor de α . Os resultados são apresentados na Tabela 2.

Nos quesitos onde *p-value* é superior ao fator de significância α (#1 ao #10) a medida estatística indica que a diferença no número de violações detectadas pelo sistema e pelo instrutor não é significativa, podendo ser desprezada, fazendo com que possam ser considerados estatisticamente iguais. Nos quesitos em que isto não ocorre (# 11 ao #13) conclui-se que os valores são muito diferentes e não podem ser considerados como erros

aleatórios ocorridos nas amostras de teste, portanto não podem ser considerados estatisticamente iguais, indicando que o instrutor e o sistema estão em desacordo.

Tabela 2 – Resultados obtidos com a aplicação de ANOVA em cada quesito avaliado

#	<i>Quesito</i>	<i>p-value</i>
1	Desrespeito ao limite de velocidade	0,508
2	Trafegar com rotações baixas	0,705
3	Trafegar com rotações altas	0,147
4	Trafegar com rotações muito altas	0,713
5	Arrancada ou parada incorreta	0,165
6	Trafegar com o pé sobre a embreagem	0,522
7	Uso incorreto do freio estacionário	0,145
8	Uso incorreto do freio-motor	0,713
9	Freada brusca	0,207
10	Trafegar fora da pista	0,780
11	Uso incorreto do ponto morto ou banguela	0,049
12	Troca de marchas com rotações baixas	0,005
13	Troca de marchas com rotações altas	0,004

Para os quesitos em que os resultados não foram iguais, foi realizada uma revisão dos vídeos gravados durante a simulação comparando-os com as ocorrências percebidas pelo instrutor e pelo sistema, buscando motivos que levaram a tal diferença. Nos quesitos relacionados à troca de marchas (#12 e #13), basicamente a disparidade ocorre por uma diferença na forma de identificação das ações por parte do instrutor e do sistema. O primeiro realiza sua análise com base em sua experiência em um caminhão real que provoca trepidações, solavancos e sons diferenciados em cada situação, sem se fixar especificamente no controle das rotações do motor, que é o parâmetro utilizado pelo simulador, juntamente com o relevo da pista.

Com relação ao quesito de utilização incorreta de ponto morto (#11), percebeu-se na revisão dos vídeos, que o sistema identificava uma infração toda vez que o motorista errava a troca de marchas, fazendo com que o câmbio de marchas ficasse em ponto morto, enquanto o instrutor não considerava isto como sendo um erro do motorista e sim do simulador. Neste caso, pode-se dizer que o sistema detectava esta ocorrência de forma incorreta e necessita de melhorias.

A segunda questão a ser respondida pelos testes buscava verificar se o relatório emitido pelo simulador poderia ser utilizado como instrumento de avaliação. A partir dos dados coletados através de questionários respondidos pelos instrutores de direção econômica que utilizaram o simulador e analisaram os relatórios comparando com suas percepções durante os testes, comprovam que o relatório é uma ferramenta útil no processo avaliativo, uma vez que 100% instrutores confirmaram isto ao responder o questionário.

Entre as observações feitas pelos instrutores percebe-se que o sistema capta mais ações que o humano e com o relatório em mãos o instrutor pode julgar os dados com mais calma e de forma mais objetiva para a emissão do parecer sobre o motorista, podendo até mesmo indicar treinamentos específicos para a melhoria da capacidade do aprendiz, com base nos dados do relatório.

6. CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

Com os resultados obtidos a partir dos testes empíricos realizados pode-se comprovar que o simulador desenvolvido para este trabalho é capaz de identificar a maioria das violações às técnicas de direção econômica e que o relatório emitido pelo simulador pode ser utilizado como instrumento de avaliação dos motoristas que utilizam o simulador.

Para melhorar os resultados do simulador pretende-se alterar as configurações físicas dos dispositivos de entrada de dados utilizando uma cabine completa de caminhão e montá-la sobre uma plataforma que possa proporcionar movimentos. Com isto será possível que o motorista sinta a movimentação da cabine em curvas, trepidações, solavancos, subidas e descidas, tornando o ambiente de simulação mais parecido com o real, proporcionando maior sensação de presença aos usuários

Agradecimentos

Os autores fazem agradecimentos especiais ao ISETT e a Empresa Binotto Transportes por cederem os instrutores e espaço físico para a realização dos testes. Agradecemos também à Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de Mato Grosso (FAPEMAT) pelas bolsas de estudos cedidas ao pesquisador (296948/2010).

BIBLIOGRAFIA

- BIOCHINI, H. D. *Mais eficiência no uso de combustível*. Revista Transporte Moderno, n. 399, p. 51-52, 2002
- BRASIL. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. *Manual de projeto geométrico de rodovias rurais*. Rio de Janeiro, IPR. Publ, 1999. 195p.
- CHRISTOPHE GUIONNEAU ERIC ESPI. *Torcs, the open racing car simulator*. Disponível em < <http://torcs.sourceforge.net/> >. Acesso em 08 fev. 2008.
- CNT. *Pesquisa CNT de rodoviárias 2010*: relatório gerencial. Brasília: CNT:SEST:SNAT, 2010. 273 p.
- CONPET - PROGRAMA NACIONAL DE RACIONALIZAÇÃO DOS DERIVADOS DO PETRÓLEO E DO GÁS NATURAL. *Dirigir corretamente também diminui os custos*. Disponível em: <www.conpet.gov.br/comofazer/comofazer_int.php?segmento=&id_comofazer_serie=9>. Acesso em: 20 fev. 2008.
- ERHART, S., MAUCH PALMEIRA, E. *Análise do setor de transportes*. In: Observatorio de la Economía Latinoamericana, Número 71, 2006.
- GAINES, L.; VYAS, A.; ANDERSON, J. L. *Estimation of fuel use by idling commercial trucks*. In 85th Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, D.C. January 22–26, 2006.
- LEE, S. H. *Introdução ao projeto geométrico de rodovias*. Florianópolis: EDUFSC, 2000.
- PINHO, M. S. *Manipulação simultânea de objetos em ambientes virtuais imersivos*. 2002. 105f. Tese de doutorado. UFRGS, Porto Alegre – RS, 2002.
- SILVEIRA, G. L. da. *Monitoramento do consumo de combustível de veículos de transporte rodoviário de madeira utilizando computador de bordo*. 2003. 55 f. Dissertação de mestrado em ciência florestal. UFV, Viçosa – MG, 2003.
- STODOLSKY, F.; GAINES, L.; VYAS, A. *Analysis of technology options to reduce the fuel consumption of idling trucks*. 40 p. United States Department of Energy, The University of Chicago, 2000.
- WANKE, P.; FLEURY, P. F. *Transporte de cargas no Brasil*: estudo exploratório das principais variáveis relacionadas aos diferentes modais e às suas estruturas de custos. In: NEGRI de, J. A.; KUBOTA, L. C. *Estrutura e dinâmica do setor de serviços no Brasil*. Brasília: IPEA, 2006. cap. 12, p. 409-464.

Tales Nereu Bogoni. (tales@unemat.br)

UNEMAT – Universidade do Estado de Mato Grosso – Campus de Colíder

Márcio Sarroglia Pinho. (pinho@pucrs.br)

PUCRS – Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul