AURENICE DA CRUZ FIGUEIRA

**O USO DE FERRAMENTAS DE VISUALIZAÇÃO TRIDIMENSIONAL
NA DETECÇÃO DE DEFICIÊNCIAS EM PROJETO GEOMÉTRICO DE
VIAS**

São Paulo

2012

AURENICE DA CRUZ FIGUEIRA

**O USO DE FERRAMENTAS DE VISUALIZAÇÃO TRIDIMENSIONAL
NA DETECÇÃO DE DEFICIÊNCIAS EM PROJETO GEOMÉTRICO DE
VIAS**

Dissertação apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo
para obtenção do título de Mestre em
Engenharia

Área de Concentração: Informações
Espaciais

Orientadora: Prof. Dra. Ana Paula C.
Larocca

São Paulo

2012

Este exemplar foi revisado e alterado em relação à versão original, sob responsabilidade única do autor e com a anuência de seu orientador.

São Paulo, de maio de 2012.

Assinatura do autor _____

Assinatura do orientador _____

FICHA CATALOGRÁFICA

Figueira, Aurenice da Cruz

O uso de ferramentas de visualização tridimensional na detecção de deficiências em projeto geométrico de vias / A.C. Figueira. – ed. rev. -- São Paulo, 2012.

123 p.

Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Transportes.

1. Projeto geométrico 2. Visualização 3. Terceira dimensão 4. Rodovias 5. Vídeo 6. Simulação 7. Drive through I. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Transportes II. t.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho à minha família e
à saudosa cidade de Santarém.

AGRADECIMENTOS

O término deste trabalho parecia de longe uma possibilidade, tantos contratempos e modificações necessárias que quase me fizeram desistir. Mas palavras amigas e incentivadoras de todos, além de uma força espiritual constante ao meu lado, fez com que a conclusão desta etapa fosse ainda mais gratificante. Nesse momento, quero expressar e agradecer a todos que fizeram parte desta caminhada.

Ao meu bom Deus e minha protetora Nossa Senhora Aparecida, por me abençoar, iluminar e me proteger nessa vida corrida da “cidade grande”. Obrigada por atender minhas orações em meus momentos de fraqueza.

Aos meus pais, Lauro e Aurora, por sua incansável dedicação em todos os sentidos da minha educação: formação, religiosa e caráter. Devo a vocês tudo que sou e agradeço por todo o apoio de longe: as palavras de força de meu pai e orações de minha mãe.

À minha família de uma forma geral – irmãos, irmã, avós, tios (as), sobrinhos (a), cunhado (as), primo (as) - por proporcionar momentos de união e alegria nas épocas em que estive em Santarém para recarregar as baterias.

À Profa Ana Paula, mais que uma orientadora, amiga e incentivadora. Sua carreira acadêmica será sempre uma motivação para mim, sinto-me imensamente honrada por ter sido sua orientanda. Seu incentivo para não desistir e sua fé em minha humilde vontade foi imprescindível. Serei eternamente grata.

Ao Prof Denizar Blitzkow que me fez aprender e amar Geodésia, meu coração hoje tem a forma de um Geóide (risos), graças a tudo que aprendi. Fiquei encantada com todo o conhecimento que adquiri em todas as disciplinas.

Ao Prof Cintra e Profa Linda Lee pelas contribuições para a análise estatística, participação fundamental neste trabalho. Sem esse apoio sei que não conseguiria.

Aos colegas que ajudaram imensamente durante as disciplinas do mestrado esclarecendo dúvidas, em especial aos amigos Wagner Carrupt, Gabriel Nascimento e Márcia Galina.

Aos meus amigos de Santarém, que *on line* me acompanharam nesta etapa. Nossa amizade será eterna, a distância não diminui o carinho que sinto por todos.

Ao meu amigo e companheiro Luis Carlos, que mesmo não compreendendo a importância desta conquista, me apoiava a seu modo.

Aos alunos que participaram dos testes de visualização, meu muito obrigado.

À VETEC Engenharia Ltda pela dispensa para participação nas aulas e conclusão da dissertação. E os colegas de trabalho que auxiliaram em conversas e aconselhamentos para elaboração desta pesquisa.

À Tool S.A pela concessão de licença do software CLIP utilizado nesta pesquisa. À Equipe Técnica da Tool S. A. pelo apoio e esclarecimento no uso do programa.

A Universidade de São Paulo (USP) pela oportunidade oferecida a esta paraense em fazer parte do rol de alunos desta renomada instituição.

A todos que contribuíram de uma forma ou de outra para a esta vitória.

*“Se você é capaz de tremer de indignação a
cada vez que se comete uma injustiça no
mundo, então somos companheiros”.*

Ernesto Guevara de la Serna

RESUMO

A utilização de tecnologias de visualização tridimensional aplicada à área de Transportes tem contribuído não só para avaliar o impacto de um projeto de rodovia na região de seu entorno, mas também, no desenvolvimento e estudo dos elementos do próprio projeto geométrico. A pesquisa busca avaliar o potencial do uso de ferramentas de visualização tridimensional (3D) na detecção de deficiências de coordenação entre os alinhamentos horizontal e vertical de um projeto rodoviário. A avaliação foi conduzida por meio de testes com grupos de indivíduos (estudantes do curso de Engenharia Civil – sem experiência na área de desenvolvimento de projeto geométrico de rodovias). Estes indivíduos avaliaram trechos de vias em duas situações distintas – com correta coordenação dos alinhamentos verticais e horizontais e posteriormente com distorção desta coordenação. Foi utilizado um software aplicativo na área de projeto geométrico de vias terrestre que permite criar um vídeo do *drive through* da via em questão. Em seguida os avaliadores responderam a um questionário que auxiliou a interpretar os resultados acerca da percepção de deficiências no traçado com a visualização 3D do projeto. Os resultados obtidos foram satisfatórios para o experimento realizado, o que leva a acreditar na possibilidade da introdução dessas ferramentas como parte do curso de engenharia civil, para auxiliar o egresso a desenvolver a habilidade de visualização espacial voltada para a área de projeto geométrico.

Palavras-chave: projeto geométrico; visualização; 3D; rodovia, vídeo-simulação; drive through.

ABSTRACT

The use of three-dimensional visualization technologies applied in the field of transport has contributed not only to assess the impact of a highway project in the region of their surroundings, but also in the development and study of the geometric elements of the project itself. The research seeks to assess the effectiveness of visualization tools-dimensional (3D) in the detection of poor coordination between the horizontal and vertical alignment of a road project. The evaluation will be conducted by testing groups of individuals (students of civil engineering course - no experience in the development of geometric design of highways). These individuals evaluated stretches of roads in two different situations - with proper coordination of horizontal and vertical alignment and then with distortion of this coordination. We used a software application in the geometric design of roads that allows you to create a video drive through of the route in question. Then the evaluators responded to a questionnaire that helped interpret the results on the perception of disability in stroke with 3D visualization of the project. The results were satisfactory for the experiment which leads to believe in the possibility of introducing these tools as part of the civil engineering course, to assist the graduates to develop the skill of spatial visualization focused on the area of geometric design.

Palavras-chave: geometric design, visualization, 3D, highway, video simulation, drive through

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	14
1.1	OBJETIVO	16
1.2	JUSTIFICATIVA.....	16
1.3	ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO.....	17
2	PROJETO GEOMÉTRICO DE VIAS	19
2.1	COORDENAÇÃO DOS ALINHAMENTOS HORIZONTAL E VERTICAL.....	22
2.2	DISTÂNCIA DE VISIBILIDADE.....	31
2.3	PROJETO GEOMÉTRICO AUTOMATIZADO	35
3	VISUALIZAÇÃO EM TRANSPORTES.....	39
3.1	PERCEPÇÃO VISUAL E VISUALIZAÇÃO	41
3.2	TÉCNICAS DE VISUALIZAÇÃO.....	44
3.2.1	APRESENTAÇÕES BI-DIMENSIONAIS	45
3.2.2	FOTO SIMULAÇÃO.....	46
3.2.3	VISTAS <i>WIREFRAME</i> EM PERSPECTIVA.....	47
3.2.4	RENDERIZAÇÃO SIMPLES DA TRIANGULAÇÃO.....	48
3.2.5	<i>DRIVE THROUGH</i> COM RENDERIZAÇÕES SIMPLES.....	49
3.2.6	<i>DRIVE THROUGH</i> ALTAMENTE RENDERIZADOS	51
3.2.7	ANIMAÇÃO COMPUTADORIZADA.....	52
3.2.8	SIMULAÇÃO DE TRÁFEGO	54
3.2.9	SIMULADORES DE CONDUÇÃO	56
4	VISUALIZAÇÃO COMO FERRAMENTA EM PROJETO GEOMÉTRICO DE VIAS	61
5	MATERIAIS E MÉTODOS.....	69
5.1	MATERIAIS.....	69
5.1.1	LABORATÓRIO	69
5.1.2	PROGRAMAS COMPUTACIONAIS	69
5.1.3	VÍDEOS	70
5.1.4	QUESTIONÁRIOS.....	71
5.2	METODOLOGIA	71
5.2.1	GRUPOS	71
5.2.2	TRECHOS.....	74
5.2.3	CONFIGURAÇÕES DOS VÍDEOS	79
5.2.4	APLICAÇÃO DOS TESTES	83

6 ANÁLISE ESTATÍSTICA E RESULTADOS.....	86
6.1 DESCRIÇÃO DA AMOSTRA	86
6.2 ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	87
6.3 Descritiva	88
6.4 Teste Qui Quadrado de Independência	88
6.5 Correção de Yates	91
6.6 Teste Exato de Fisher	92
6.7 RESULTADOS.....	92
7 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS.....	102
7.1 CONCLUSÕES	102
7.2 SUGESTÕES PARATRABALHOS FUTUROS	106
8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	108
APÊNDICE A – Questionário de Avaliação de Recursos de Visualização	112
APÊNDICE B – Termo de Consentimento Livre e Esclarecimento	113
APÊNDICE C – Relatórios dos Alinhamentos Horizontal e Vertical dos Trechos	114
APÊNDICE D – Interface para Aplicação dos Testes	119
APÊNDICE E – Tabela de Distribuição do Qui Quadrado (χ^2).....	123

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Etapas para definição de geometria de rodovia	21
Figura 2 – Os vértices das curvas horizontais e verticais coincidem.....	24
Figura 3 – Falta de coordenação. Os vértices de alinhamento não coincidem com os pontos de inflexão do outro.....	24
Figura 4 – Combinação antiestética e perigosa. A reversão ocorre no vértice da curva vertical.	25
Figura 5 – Percepção visual da curvatura horizontal segundo ângulo agudo.	25
Figura 6 – Efeito de Separação ou Absurdo Ótico	26
Figura 7 – Combinação que gera abaulamentos na pista.	26
Figura 8 – Perspectivas de “Mergulho” na Reta.....	27
Figura 9 – Perspectivas de “Mergulho” Profundo.....	28
Figura 10 – Perspectivas de “Mergulho” Profundo na Curva.	28
Figura 11 – Vista em perspectiva de “Saltos” em estradas.....	29
Figura 12 – Vista em perspectiva de “Saltos” com Deflexão.....	30
Figura 13 – Distância de Visibilidade de Parada.....	32
Figura 14 – Arquivo CADD 2D e visualização renderizada.....	45
Figura 15 – (a) Foto simulação de condições existentes e (b) condições propostas	46
Figura 16 – Vista Wireframe em Perspectiva	47
Figura 17 – Renderização simples da triangulação.....	49
Figura 18 – Drive-through com renderização simples.	50
Figura 19 – Verificação de distância de visibilidade utilizando visualização.	50
Figura 20 – Apresentação de <i>Drive through</i> altamente renderizado.	51
Figura 21 – Outro Exemplo de <i>Drive through</i> altamente renderizado.	52
Figura 22 – Animação computadorizada de interseção.	53
Figura 23 – Animação computadorizada do Projeto da Ponte Santos Guarujá.....	54
Figura 24 – Simulador de tráfego para análise da interseção.	55
Figura 25 – Análise de interseção e comportamento de pedestres.....	55

Figura 26 – Simulador de Condução CRISS: a) Mesa para construção e implementação dos cenários do simulador; b) Exemplo de condução no simulador.	56
Figura 27 – Simulador de Condução NTNU/SINTEF – Vista Lateral	57
Figura 28 – Sistema de visualização do simulador de condução NTNU/SINTEF	58
Figura 29 – Resumo esquemático sobre os componentes do simulador – adaptado pela autora	59
Figura 30 – Exemplo de saída de vídeo com legenda.	60
Figura 31 – Exemplo de mergulho em curva vertical com início não visível	65
Figura 32 – Coordenação não desejável – efeito de separação ou absurdo ótico	66
Figura 33 – Coordenação não desejável – ondulação em tangente ou efeito tobogã	67
Figura 34 – Ferramenta de análise Amostragem pertencente ao Excel.....	73
Figura 35 – Planta, perfil e perspectiva do trecho A.....	75
Figura 36 - Planta, perfil e perspectiva do trecho 1.....	75
Figura 37 – Deficiência no Trecho 1: salto.	76
Figura 38 - Planta, perfil e perspectiva do trecho B.....	76
Figura 39 - Planta, perfil e perspectiva do trecho 2.....	77
Figura 40 – Deficiência no Trecho 2: mergulho.....	77
Figura 41 - Planta, perfil e perspectiva do trecho C.	78
Figura 42 - Planta, perfil e perspectiva do trecho 3.....	78
Figura 43 – Opções de Representação 3D do software CLIP.....	79
Figura 44 – Textura e cor da pista.....	80
Figura 45 – Textura e cor dos taludes.....	80
Figura 46 – Cor do Terreno	81
Figura 47 – Cor do Céu.....	81
Figura 48 – Configurações do percurso do software CLIP.....	82
Figura 49 – Composição final de texturas e cores utilizadas nos vídeos.	83
Figura 50 – Aplicação dos testes de visualização no Laboratório de Tecnologia e Informação em Transportes (LTIT), do Departamento de Engenharia de Transportes da Escola Politécnica da USP.....	85

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Grupos e Trechos correspondentes a avaliar nos testes.	73
Tabela 2 – Trechos por extensão e tempo de execução.....	78
Tabela 3 – Tamanho da amostra por gênero.	86
Tabela 4 – Tamanho da amostra por grupo.	87
Tabela 5 – Tabela de contingência dos resultados por gênero.....	92
Tabela 6 – Informações dos avaliadores.....	93
Tabela 7 – Tabela dos acertos e erros x dirige com frequência.	93
Tabela 8 – Tabela de contingência dos trechos A, B e C.....	96
Tabela 9 – Tabela de contingência dos trechos 1, 2 e 3.	96
Tabela 10 – Tabela de contingência dos trechos Certos x Certos	99
Tabela 11 – Tabela de frequência dos trechos Errados x Errados.....	99
Tabela 12 – Tabela de frequência dos trechos Certos x Errados.....	100
Tabela 13 – Tabela de frequência dos trechos Errados x Certos.....	101
Tabela 14 – Relatório de Alinhamento Horizontal – Trecho A.....	114
Tabela 15 – Relatório de Alinhamento Vertical – Trecho A.....	114
Tabela 16 – Relatório de Alinhamento Horizontal – Trecho B.....	115
Tabela 17 – Relatório de Alinhamento Vertical – Trecho B.....	115
Tabela 18 – Relatório de Alinhamento Horizontal – Trecho C	116
Tabela 19 – Relatório de Alinhamento Vertical – Trecho C.....	116
Tabela 20 – Relatório de Alinhamento Horizontal – Trecho 1	116
Tabela 21 – Relatório de Alinhamento Vertical – Trecho 1	116
Tabela 22 – Relatório de Alinhamento Horizontal – Trecho 2	117
Tabela 23 – Relatório de Alinhamento Vertical – Trecho 1	117
Tabela 24 – Relatório de Alinhamento Horizontal – Trecho 1	118
Tabela 25 – Relatório de Alinhamento Vertical – Trecho 1	118

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Resultado dos testes por Trecho.	94
Gráfico 2 – Resultado dos testes das Combinações do Trecho A.	97
Gráfico 3 – Resultado dos testes das Combinações do Trecho B.	98
Gráfico 4 – Resultado dos testes das Combinações do Trecho C.	98
Gráfico 5 - Resultados dos testes de visualização por resultado.	101

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

2D	Referente a duas dimensões
3D	Referente a três dimensões
4D	Referente a quatro dimensões
AV	Ambiente Virtual
AVI	Audio Video Interlave
CAD	Computer Aided Design
CNT	Confederação Nacional de Transportes
CRISS	Inter–University Research Center for Road Safety
DNER	Departamento Nacional de Estradas de Rodagem
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
DTMR	Department of Transport and Main Roads
FLH	Federal Lands Highway
FoV	Field of View
GIS	Geographic Information System
HVEI	Human Virtual Environment Interaction
IHSDM	Interactive Highway Safety Design Model
MDT	Modelo Digital de Terreno
NCDOT	North Carolina Department of Transportation
RGB	Sistemas de cores RGB (Red, Green, Blue)
RV	Realidade Virtual
TVCG	Transactions on Visualization and Computer Graphics

1 INTRODUÇÃO

A utilização de tecnologias de geração de imagem em computador aplicada à área de Transportes tem contribuído não só para a visualização em três dimensões (3D) das interferências que um projeto de via rural pode causar na região de seu entorno, mas também, no desenvolvimento e estudo dos elementos do próprio projeto geométrico que precisam ser adequados à topografia e documentos normativos.

A adoção do conceito de visualização aplicada a projetos de rodovias pelas agências americanas é fruto de reflexões promovidas pelo *National Surface Transportation Policy and Revenue Study Commission*, nos Estados Unidos. Estas reflexões estão apoiadas nos questionamentos de como esta ferramenta pode auxiliar a visão futura do sistema de transportes dos Estados Unidos, frente a uma necessidade por melhores dados e ferramentas de análise para auxiliar profissionais da área, que encontram dificuldades em entrever a coordenação dos elementos do traçado de um projeto de rodovia. Mais a frente, passou a servir de apoio às entidades governamentais – se as obras que estão em fase de projeto não puderem ser visualizadas, passa a ser mais difícil calcular o valor dos investimentos financeiros necessários e estimar impactos ambientais (MANORE, 2007; DOUG et al. 2006; SUZUKI et al., 2004).

Entretanto, quase uma década se passou desde as primeiras investidas das Agências de Transportes Americanas na utilização das tecnologias de visualização tridimensional em projetos viários e ainda são poucos os trabalhos, inclusive os acadêmicos, que efetivamente as aplicam. Essas tecnologias continuaram a evoluir em um ritmo considerável e hoje podem ser complementadas com ferramentas e técnicas de renderização, animação e interações multimídia – ambientes imersivos. Um ambiente virtual imersivo é cenário tridimensional dinâmico armazenado em computador e exibido através de técnicas de computação gráfica, em tempo real, de tal forma que faça o usuário acreditar que está imerso neste ambiente. O ambiente não-imersivo, por sua vez, caracteriza-se quando o usuário é transportado parcialmente ao mundo virtual, através de uma janela (monitor ou projeção, por exemplo), mas continua a sentir se predominantemente no mundo real. (KÜHN; HENDRIK, 2010; TORI et al., 2006, PINHO; REBELO, 2006).

A aplicação dessas tecnologias em projetos de vias terrestres, notadamente no Brasil, ainda está defasada em relação aos seus pares nas áreas de Engenharia Aeroespacial, Arquitetura, Engenharia Automotiva quando se trata da adoção de ferramentas de visualização tridimensional no auxílio à concepção de projetos.

Particularmente em relação à concepção de projetos viários, no âmbito público ou privado, quase que em sua totalidade, ainda são realizados utilizados programas computacionais que trabalham em ambiente bidimensional (2D). A concepção do projeto geométrico de uma rodovia tem seus elementos apoiados nas três dimensões e desenvolve-se em três fases distintas: (1) projeção do alinhamento horizontal (traçado em planta) definindo a geometria que representa a via – denominada eixo; (2) projeção do alinhamento vertical (perfil), denominado greide e (3) a definição da seção transversal que personaliza a via, fornecendo as características da plataforma como: largura de pista, acostamento, canteiro central e outros elementos.

Como os usuários estão expostos a imagens tridimensionais durante a condução dos veículos, passa a ser interessante e mais próximo da realidade do motorista, calcular o desenvolvimento do projeto com a junção das três fases acima mencionadas, associado à visualização 3D, desde o início do projeto (KÜHN; JHA, 2010).

A utilização de ferramentas para visualização resulta em projetos tridimensionais valiosos para a formação de estudantes de engenharia auxiliando-os a desenvolver habilidades espaciais além de auxiliar a compreender as implicações visuais das combinações dos elementos em plano e perfil (GARRICK; JANIKULA, 2002)

Estes procedimentos, no entanto, ainda caminham lentamente, pois comercialmente e academicamente, as aplicações das ferramentas de visualização apenas para efeito de estética e apresentação dos projetos superam substancialmente as aplicações técnicas com vistas ao desenvolvimento do projeto geométrico, na maioria a utilização de novas ferramentas – o que exige necessariamente um novo estudo do programa computacional; muitas vezes também computadores mais robustos.

1.1 OBJETIVO

O objetivo principal desta pesquisa é avaliar o potencial das ferramentas de visualização, como vídeo simulações (*drive-through*) do percurso de trechos de vias, na detecção de deficiências em projeto geométrico de rodovias no que tange a coordenação entre alinhamento horizontal e vertical e, por conseguinte distância de visibilidade de parada.

Partindo desta premissa, os objetivos específicos são:

- Desenvolver instrumentos para realização dos testes de visualização como: questionários, drive through de vias e interface de apoio;
- Avaliar a contribuição para o ensino de projeto geométrico de estradas.

1.2 JUSTIFICATIVA

Conforme citado anteriormente, os projetos geométricos de rodovias são concebidos, tradicionalmente em 2D e em três etapas distintas: projeção horizontal, vertical e seção transversal.

A coordenação dos alinhamentos horizontal e vertical é que indicará o grau de conforto e segurança do motorista ao dirigir, sendo satisfatório projetar rodovias que não reporte a sensação de se percorrer com o veículo um trecho com ondulações próximas (efeito tobogã) ou ocorrência de trechos sequências com interrupção da visibilidade da característica geométrica entre eles.

A identificação de deficiências na coordenação dos alinhamentos é uma etapa laboriosa, e até mesmo o projetista comete enganos, identificados apenas após a implantação e uso da via, fator que onera o custo social da obra (CNT, 2010).

Embora a utilização de programas computacionais paramétricos 2D permitam que se faça uma análise dinâmica das diversas alternativas, uma vez que é possível acompanhar a alteração do terreno existente conforme o alinhamento horizontal é

alterado, o procedimento de coordenação entre os alinhamentos, em linhas gerais, é feito com base num diagrama planimétrico, que indica o início e fim de cada curva, dos trechos em tangente e são comparados com o alinhamento vertical do projeto, levando em consideração também os volumes de terra movimentados.

A disponibilidade de programas computacionais com ferramentas de visualização tridimensional pode contribuir de forma eficaz para a identificação e até mesmo eliminar as deficiências de coordenação dos alinhamentos dos projetos de vias, isso motiva o desenvolvimento e aplicação dessa pesquisa.

Espera-se chegar a resultados que mostrem as vantagens de utilizar as ferramentas de visualização 3D e estimulem outras pesquisas e profissionais da área de Engenharia de Transportes a incorporar fortemente o uso destes softwares em projetos geométrico de vias.

1.3 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

O trabalho foi estruturado em 7 capítulos, da forma a seguir:

Capítulo 1 – apresenta a introdução e a justificativa para o desenvolvimento do trabalho, seus objetivos e organização estrutural;

Capítulo 2 – destina-se a apresentação de conceitos referentes às fases do projeto geométrico, deficiências relacionadas à coordenação entre os alinhamentos, distância de visibilidade e projeto geométrico automatizado;

Capítulo 3 – abrange o uso de visualização em transporte, dando ênfase à percepção visual e técnicas de visualização;

Capítulo 4 – apresenta a revisão bibliográfica da aplicação de visualização em projeto geométrico;

Capítulo 5 – descreve o planejamento dos testes de visualização, com descrição das etapas envolvidas;

Capítulo 6 – apresenta as análises estatísticas dos resultados dos testes de visualização;

Capítulo 7 – engloba as conclusões deste trabalho e as sugestões para trabalhos futuros.

Por fim, são apresentadas as referências bibliográficas que embasaram esta pesquisa.

2 PROJETO GEOMÉTRICO DE VIAS

A concepção de uma estrada define-se como um ciclo de fases que se inter-relacionam, que vai desde o projeto até a sua implantação.

De maneira simplificada, a elaboração de um projeto geométrico envolve etapas que seguem orientações técnicas e normas em vigor no país para definir as características básicas da estrada como capacidade de tráfego, número de pistas, largura da faixa de rolamento, largura de acostamento, velocidade de projeto, sendo que em função desta são limitados valores como rampa máxima, raio mínimo, superelevação máxima, etc.

Atualmente, a maioria dos projetos rodoviários parte de uma superfície de terreno, onde o projetista determina um traçado inicial que representa uma primeira aproximação da projeção do eixo da estrada sobre o plano horizontal. Concluído o estudo de traçado, são definidas as fases de alinhamento horizontal e vertical.

O projeto de alinhamento horizontal compõe-se por retas denominadas tangentes, conectadas por curvas de concordância.

As normas para projeto geométrico de vias consideram que o projeto ideal deve buscar se adequar à topografia da região de forma a projetar curvas com maior desenvolvimento possível, ligadas por pequenas retas com espirais de transição. As grandes tangentes devem ser evitadas por apresentarem grande rigidez geométrica, pouco adaptadas às diversas formas da paisagem. As longas retas tornam-se monótonas por sua previsibilidade, um convite ao excesso de velocidade e favorece o ofuscamento à noite (DNER, 1999).

Nas orientações alemãs, o comprimento máximo das tangentes em metros é limitado a 20 vezes a velocidade de projeto em quilômetros por hora. E o comprimento mínimo deve corresponder a cerca de quatro a seis vezes a velocidade da rodovia. (SMITH; LAMM, 1994).

As curvas de concordância são formadas por dois tipos: curvas circulares e curvas de transição. A circular é a curva básica de concordância e pode ser simples ou composta.

As curvas de transição são de raio variável que se intercalam entre a tangente e a circular ou entre dois raios de curvas compostas e tem por finalidade passar gradativamente do raio infinito de uma reta para o raio finito de uma curva circular, assegurando conforto e segurança reduzindo incômodos da variação brusca da aceleração centrífuga.

Após a definição dos elementos planimétricos de projeto, a fase seguinte constitui-se da definição dos elementos geométricos segundo o plano vertical.

O greide tem certa analogia com o alinhamento horizontal, pois ambos são constituídos por retas e curvas. Os trechos retos são denominados greides retos e os trechos curvos são as curvas de concordância vertical. O greide reto é definido por sua declividade, que é a tangente do ângulo que faz com a horizontal. Normalmente é expressa em percentagem.

A função das curvas verticais é concordar as tangentes verticais dos greides. Normalmente, são adotadas parábolas do 2º grau. Essas parábolas são definidas pelos parâmetros de curvatura K , que traduz a taxa de variação da declividade longitudinal na unidade do comprimento estabelecido pela velocidade.

Estabelecidos os elementos geométricos longitudinais da estrada, eixo e greide, a etapa seguinte é definir os elementos da seção transversal.

Segundo a definição do DNER (Departamento Nacional de Estradas de Rodagem) atualmente denominado Departamento Nacional de Infraestrutura e Transportes (DNIT), a seção transversal da rodovia, representa o alinhamento superficial que conforma transversalmente a rodovia, incluindo a pista, acostamentos, plataforma e taludes, até a interseção com o terreno natural. Resulta da interseção do plano vertical perpendicular ao eixo da superfície do corpo estradal contido entre os limites de terraplenagem (DNER, 1999).

As seções transversais são fundamentais para a construção da estrada e desenvolvimento do modelo. Elas são utilizadas para formar a superfície superior do pavimento, valetas, taludes, arredondamento, sarjetas e meio fio. Sendo representadas a cada 20 metros (estaca) e em pontos de mudança brusca da geometria (pontos notáveis), sendo neste caso representada por uma estaca fracionária. As seções podem ser em corte, em aterro ou mista.

A Figura 1 resume as etapas necessárias para a elaboração de um projeto de vias.

Figura 1 – Etapas para definição de geometria de rodovia

A representação do projeto geométrico por meio de um conjunto de desenhos – planta, perfil longitudinal e seções transversais – normalmente é o suficiente para a definição da estrada a ser executada. Entretanto, esse tipo de representação não permite ao projetista uma perfeita visualização do projeto.

Uma boa execução dos alinhamentos horizontal e vertical é necessária, contudo é importante que a combinação entre eles gere uma estrada tecnicamente agradável, que se encaixe perfeitamente na topografia tornando-se componente do ambiente.

A problemática da estrada relativa à coordenação entre os alinhamentos vertical e horizontal implica ainda sobre a continuidade e a distância de visibilidade, resultando em problemas de segurança. (JANIKULA; GARRICK, 2002).

As recomendações do Departamento Nacional de Infraestrutura e Transportes (DNIT) – responsáveis por fornecer os critérios das características físicas e geométricas (DNER, 1999) – ressaltam que a coordenação dos alinhamentos verticais e horizontais deve ser buscada desde o início dos estudos de traçado, sendo aperfeiçoado em etapas posteriores do projeto, evitando assim alterações que possam ser onerosas caso a rodovia já esteja implantada.

2.1 COORDENAÇÃO DOS ALINHAMENTOS HORIZONTAL E VERTICAL

Os alinhamentos horizontal e vertical estão entre os mais importantes elementos de projeto permanentes da rodovia e não devem ser estudados de forma independente, pois as combinações indevidas podem afetar a estética, a eficiência operacional e a segurança em trechos da via. A falta dessa coordenação pode agravar eventuais deficiências do traçado do perfil, ou mesmo anular aspectos favoráveis de um ou outro, se considerados isoladamente.

O bom resultado do projeto de estrada utilizando o método tradicional implica na experiência e visão do projetista. O usuário da estrada vê a rodovia como uma mudança tridimensional contínua, e caso o projetista não leve em consideração esse ponto de vista, não poderá apreciar a forma como o projeto aparecerá para o usuário da estrada.

Caso o condutor tenha uma visão reduzida e distorcida da estrada, devido combinações desfavoráveis de curvas horizontais e verticais, pode resultar em descontinuidade aparente no alinhamento, embora os projetos horizontal e vertical separadamente estejam cumprindo o disposto nas normas. Essas combinações

podem mascarar para o condutor uma mudança de alinhamento horizontal ou mesmo uma curva côncava profunda o suficiente para esconder um perigo significativo.

Erros de condução normalmente são causados por erros de julgamento do condutor sobre o curso real da estrada. Estes erros resultam da sobreposição de elementos dos alinhamentos horizontal e vertical causando uma inconsistência no alinhamento da estrada, confundindo a percepção visual do condutor (MERTIZANIS; HATZI, 2011).

É explícita dentro das normas geométricas nacionais e internacionais a importância da análise a partir da perspectiva da visão do motorista, por ser a única representação de perspectiva servível para a avaliação de uma estrada do ponto de vista de trânsito (DER-SC, 2000).

As normas e diretrizes para projeto geométrico de rodovias (DNER, 1999; DER-SP, 2006; AASHTO, 2004, LAMM et.al., 1999) fazem recomendações para se alcançar não apenas os níveis de segurança satisfatórios, mas também padrões de estética considerados agradáveis aos motoristas.

Contudo, a abordagem alemã exposta em Highway Design and Traffic Safety Engineering Handbook para alinhamento tridimensional é a que apresenta o processo mais eficaz e confiável no que diz respeito às tarefas de projeto prático, pois faz uma análise da estrutura tridimensional resultante da composição dos alinhamentos horizontal e vertical, associados aos elementos da seção transversal. Diferenciando os casos individuais de boa composição e situações a evitar na definição do projeto geométrico. Dentre os órgãos brasileiros o Departamento de Estradas e Rodagem de Santa Catarina (DER-SC) baseia suas diretrizes na norma alemã.

Basicamente as considerações que devem ser seguidas, a fim de evitar estabelecer coordenações indesejáveis entre os alinhamentos, obedecem um padrão nas normas para projeto geométrico de vias.

Curvas verticais e horizontais devem se superpor, as horizontais iniciando preferencialmente um pouco antes das verticais, para não somar em um só local duas descontinuidades do traçado e ainda “anunciar” a curva vertical, guiando

oticamente o motorista. Os vértices das tangentes das curvas verticais e horizontais devem aproximadamente coincidir (Figura 2).

Figura 2 – Os vértices das curvas horizontais e verticais coincidem.

Fonte: DNER, 1999 - Adaptado pela autora.

Figura 3 – Falta de coordenação. Os vértices de alinhamento não coincidem com os pontos de inflexão do outro.

Fonte: DNER, 1999 - Adaptado pela autora.

Tangentes curtas entre curvas horizontais, no topo de uma curva vertical convexa, dificultam a percepção da segunda curva (Figura 4).

Figura 4 – Combinação antiestética e perigosa. A reversão ocorre no vértice da curva vertical.

Fonte: DNER, 1999 - Adaptado pela autora.

Figura 5 – Percepção visual da curvatura horizontal segundo ângulo agudo.

Fonte: DNER, 1999 - Adaptado pela autora.

Curvas circulares curtas entre tangentes aparecem como uma quebra ótica, quando vista de uma distância longa. Sendo assim, orienta-se o uso de curvas longas entre as tangentes (SMITH; LAMM, 1994).

Figura 6 – Efeito de Separação ou Absurdo Ótico

Fonte: DER-SP, 2006.

Quando o traçado no plano horizontal segue uma curta elevação do terreno sem que haja ocultamento visual ocorrem os abaulamentos. A sequência de abaulamentos leva a ondulações da pista. A impressão causada pelos abaulamentos e pela ondulação da pista se intensifica com o aumento da largura desta, sendo muito perigoso no trânsito noturno, sob a luz dos faróis (Figura 7).

Figura 7 – Combinação que gera abaulamentos na pista.

Fonte: DER-SC, 2000 – Adaptado pela autora.

Curvas horizontais, não devem ter seu início coincidente com pontos baixos de greide, ao final de longas descidas, pois essa característica pode resultar tanto em uma aparência distorcida do traçado, impedindo a percepção da continuidade da curva, quanto favorecendo situações perigosas decorrentes do natural aumento da velocidade, com a necessidade de diminuir na curva.

Se o traçado seguir as elevações do terreno de tal modo que ocorram trechos parciais de ocultamento visual, surge a impressão de “mergulho”, resultante de seqüências de curvas verticais convexas e côncavas se alternando. As Figuras 8, 9 e 10 ilustram exemplos de mergulho em reta, mergulho profundo e mergulho profundo em curva.

Figura 8 – Perspectivas de “Mergulho” na Reta.

Fonte: DER-SC, 2000.

Figura 9 – Perspectivas de “Mergulho” Profundo.

Fonte: DER-SC, 2000.

Figura 10 – Perspectivas de “Mergulho” Profundo na Curva.

Fonte: DER-SC, 2000.

O uso de planta e perfil como uma ferramenta de visualização ajuda a transmitir o significado de “mergulho”, mas exige que o observador imagine o panorama atual da estrada e como o alinhamento mudaria ao atravessar o espaço de condução (JANIKULA; GARRICK, 2002). Situação que é facilitada com perspectivas e simulações 3D.

Caso o traçado tenha característica oscilante mais intensa, surge então a impressão de “saltos” (Figura 11), resultado da inversão da ordem dos elementos geométricos da situação anterior. O motorista pode então se enganar com relação ao percurso verdadeiro do traçado e em relação ao tráfego com sentido contrário. Estas situações apresentam grande perigo, principalmente nas manobras de ultrapassagem.

Figura 11 – Vista em perspectiva de “Saltos” em estradas.

Fonte: DER-SC, 2000.

Figura 12 – Vista em perspectiva de “Saltos” com Deflexão.

Fonte: DER-SC, 2000.

Estes erros típicos de projeto, particularmente aqueles relacionados aos aspectos de segurança, como mergulhos em pontos cegos ou curvos, podem ser detectados através de imagens em perspectiva, e serem eliminados através da alteração de elementos do alinhamento horizontal ou vertical (KUHN, 2005).

A análise destas imagens é qualitativa e subjetiva. Porém, um parâmetro calculável que pode complementar esta avaliação e que influencia diretamente o tempo de reação do condutor em situações inesperadas diz respeito à distância de visibilidade, tratado de forma mais abrangente no próximo item.

2.2 DISTÂNCIA DE VISIBILIDADE

Um dos fatores mais importantes para a segurança e eficiência operacional de uma rodovia é a sua capacidade de proporcionar boas condições de visibilidade aos motoristas que por ela trafegam. Através da distância de visibilidade o motorista, utilizando-se da visão, tem condições de captar as informações sobre a via, interpretá-las e tomar decisões a tempo e com segurança.

A visibilidade é limitada pelas mudanças de direção e declividade ao longo de sua extensão, especialmente pelas curvas horizontais nos trechos em corte e pelas curvas verticais convexas, sendo que o motorista deverá dispor de visibilidade, em planta e perfil, para que possa frear o veículo ante a presença de um obstáculo.

Em um projeto rodoviário consideram-se basicamente as distâncias de visibilidade de parada e as de ultrapassagem, determinadas em função da velocidade diretriz e traduzem os padrões de visibilidade a serem proporcionadas ao motorista, de modo que este não sofra limitações visuais diretamente vinculadas às características geométricas da via e possa controlar o veículo a tempo, tanto para pará-lo, interromper ou concluir uma ultrapassagem em condições aceitáveis de conforto e segurança.

Define-se como Distância de Visibilidade de Parada a distância mínima que um motorista médio, dirigindo com a velocidade V um carro médio em condições razoáveis de manutenção, trafegando em uma rodovia pavimentada adequadamente conservada, em condições chuvosas, necessita para parar com segurança após avistar um obstáculo na rodovia. (DNER, 1999)

Esta distância mínima é composta pela distância percorrida pelo veículo durante o tempo de percepção e de reação (D_1) e a distância de frenagem efetiva (D_2).

Figura 13 – Distância de Visibilidade de Parada

Fonte: Site topografiageral.com.br - Adaptado pela autora.

Baseando-se em experiências, a AASHTO recomenda o uso de 1,5 segundos para o tempo de percepção e 1,0 segundos para a reação de frenagem, sendo o tempo total de percepção e reação igual a 2,5 segundos. Vale ressaltar, que as normas alemãs adotam como tempo total o valor de 2,0 segundos.

Sendo assim:

$$D_1 = V \times t \Rightarrow 2,5 \times V$$

$$D_1 = 2,5 \times V(m/s) \Rightarrow 2,5 \times \frac{V(km/h)}{3,6} \Rightarrow 0,7 \times V$$

Onde:

V = velocidade diretriz ou velocidade média de viagem, em km/h

Para se calcular a distância percorrida durante a frenagem, a energia cinética do veículo no início da frenagem é anulada pela força de atrito ao longo da distância de frenagem. Assim resulta em:

$$D_2 = \frac{V^2}{255 \times f}$$

Levando-se em conta o efeito das rampas é usada a equação:

$$D_2 = \frac{V^2}{255 \times (f + i)}$$

Assim, temos para a distância de parada:

$$D_p = D_1 + D_2$$

$$D_p = 0,7 \times V + \frac{V^2}{255 \times (f + i)}$$

Onde:

D_p = distância de visibilidade de parada, em m;

V = velocidade diretriz ou velocidade média de viagem, em km/h

f = coeficiente de atrito que exprime a atuação do processo de frenagem, considerando a eficiência dos freios e o atrito entre os pneus e pista, para o caso de pavimento molhado, com rugosidade normal, em condições superficiais razoáveis, e não especialmente lamacento ou escorregadio.

i = greide, em m/m (positivo no sentido ascendente e negativo caso descendente).

Exemplo:

$$D_p = 0,7 \times 60 + \frac{60^2}{255 \times (0,34 + 2,5)} = 81m$$

Em publicação anterior o DNIT (1999) afirma que em dias chuvosos os motoristas dirigem com velocidade inferior à velocidade diretriz. Com isso, a distância de visibilidade de parada exigida corresponde à velocidade média, designada como valores mínimos e os valores da velocidade diretriz de projeto denominava-se valores desejados.

Estudos recentes constataram que a diferença entre as velocidades de veículos trafegando sobre pavimentos secos (Velocidade Diretriz) dos que trafegam sobre pavimentos molhados (Velocidade Média) não deve ser considerada. Por essa razão a AASHTO assume que a velocidade inicial a considerar para a distância de visibilidade de parada é a velocidade diretriz da rodovia. (DNIT, 2010)

O campo visual deve ser mantido livre, portanto, todos os obstáculos que prejudiquem a visibilidade até a altura da linha de visão devem ser permanentemente evitados a exemplo de taludes, muros de arrimo, veículos estacionados, defensas em áreas de entrada, etc.

A capacidade de percepção visual humana é limitada. Obstáculos na pista precisam ter um tamanho mínimo para que possam ser vistos e reconhecidos a partir de certa distância. Essa percepção mínima depende da capacidade visual humana, das qualidades óticas do obstáculo e da pista, assim como das circunstâncias de luminosidade e condições climáticas. Obstáculos grandes demais podem não ser observados em tempo hábil ao ser locomover a uma velocidade determinada (DER-SC, 2000).

As normas alemãs fazem uso do termo altura de um ponto de visada e não altura de um ponto de obstáculo, considerando que mesmo havendo as distâncias de visibilidade de parada exigidas ao longo do projeto, não se pode assegurar o reconhecimento de pequenos obstáculos. E esta altura do ponto de visada varia em função da velocidade de projeto.

O Manual de Projeto Geométrico de Rodovias Rurais (DNER, 1999) determina a altura dos olhos do motorista em relação ao plano da pista de 1,10 metros e menor altura de um obstáculo de 0,15 metros. A AASHTO (2004) sugere 1,07 metros como sendo a altura dos olhos do motorista e 1,30 a altura do veículo que se aproxima no sentido oposto.

Devido à redução das alturas dos veículos há uma tendência de adotar a altura média dos olhos do motorista de 1,07 metros determinados pela AASHTO, sendo assim o DNIT em recente publicação sugere a utilização de 1,08 metros como a altura dos olhos do motorista em relação à superfície da Pista e 0,60 metros como a menor altura de um obstáculo que o obrigue a parar (DNIT, 2010).

Distâncias adequadas de visibilidade são um elemento crítico na operação segura da rodovia. A utilização de modelos tridimensionais permite ao projetista analisar as questões de segurança a partir de diferentes perspectivas, melhores do que na elaboração tradicional 2D, e mais importante, a partir da perspectiva do usuário final, seja motorista, ciclista ou pedestre. Entre as vantagens está a análise aprimorada de distância de visibilidade de parada linear ou ponto a ponto, distância de

ultrapassagem, interseções e tomadas de decisão direcional (TAYLOR; MOLER, 2010).

Os softwares atuais permitem medir as distâncias de visibilidade de forma contínua ao longo da via e a visibilidade em vias de acesso, além de pontos que gerem dúvidas ou conflito. Animações do trecho (*Drives Through*) podem ser gerados automaticamente exibindo as distâncias visualmente durante o percurso.

2.3 PROJETO GEOMÉTRICO AUTOMATIZADO

A utilização da tecnologia no projeto geométrico implica em mudanças no processo de desenvolvimento do projeto; este se torna mais explícito e modularizado (em função dos programas) e, quando bem implementado, produz maior confiança quanto a prazos, custos e qualidade.

Embora o processo de projeto automatizado seja semelhante ao método convencional, a velocidade de produção aumenta, bem como aumenta o número de hipóteses e soluções possível de serem testadas. Dada essa facilidade, diminui o esforço na busca de uma solução otimizada e podem ser testadas alternativas que seriam inviáveis no método tradicional devido ao dispêndio em termos de cálculo envolvido, e principalmente, dos prazos de conclusão. (CALLISPERIS, 2003)

Por outro lado, surge a necessidade de familiarizar o projetista com o novo processo de forma a otimizar o tempo do engenheiro junto ao sistema direcionando o foco para tomadas de decisões baseados nos resultados fornecidos.

Os avanços tecnológicos e o mercado competitivo levaram as empresas de engenharia a introduzir os sistemas computacionais na elaboração do projeto, inicialmente utilizando sistemas CAD para realizar os desenhos e plantas. A evolução dos sistemas tendeu ao nível paramétrico incluindo ferramentas de visualização, otimizando o projeto como um todo. Além de possibilitar a análise de estudos de traçados variados, que possam minimizar os impactos ambientais e custos finais de projeto.

Existem vários programas que calculam, analisam e desenham os projetos de estradas, utilizando alinhamentos escolhidos pelo projetista. Embora com uma tecnologia avançada, os projetos informatizados continuam usando a representação gráfica tradicional para definir a estrada, ainda que, alguns programas, além dos desenhos tradicionais, executam perspectivas que auxiliam muito na visualização do projeto.

Na maioria dos projetos, projetistas experientes, dispondo de planta e perfil dos trechos, conseguem com razoável facilidade visualizar o comportamento tridimensional da estrada. Em casos a parte, como em interseções, onde várias vias se interligam através de ramos complexos, ou em locais de topografia acidentada, a falta de uma visão global pode criar dificuldade ao projetista. Nestas situações, faz-se necessário uso de visualizações complementares, como perspectivas, modelos físicos, drive-through, simulações, etc. Permitindo ao projetista um modelo que é atualizado continuamente para que sejam realizadas análise até o projeto final.

A Federal Highway Administration (FHWA) desenvolveu um sistema de ferramentas de análise para avaliar a segurança das alternativas de projetos em um ambiente CAD. Inicialmente lançado para estradas rurais de pista dupla, o Interactive Highway Safety Design Model (IHSDM) é uma ferramenta de apoio à decisão que fornece estimativas de segurança e desempenho operacional de projeto de rodovias, além de verificar se os parâmetros de projetos estão de acordo com as normas de projeto. Atualmente, o IHSDM inclui seis módulos de avaliação: Previsão de Acidentes, Coerência de Projeto, Análise de Interseção, Análise dos Critérios de Projeto e Análise de Desempenho Condutor/ Veículo.

Acredita-se que muitos problemas relacionados com a segurança que ocorrem no processo de projeto de rodovias são devidos à incapacidade de um projetista ler o projeto da perspectiva do motorista. O projetista é limitado a trabalhar em um ambiente bidimensional que não apresenta uma visualização de como o produto final irá ficar e como ele irá operar com veículos reais (PANIATI; TRUE, 1996)

A ferramenta de Análise de Desempenho Condutor/ Veículo do IHSDM fornece ao projetista a capacidade de avaliar a consistência do projeto, através de modelos de consistência que geram um perfil de velocidade e/ou uma carga de trabalho do motorista para um projeto, e modelos dinâmicos de veículos que permitem ao projetista selecionar o tipo de velocidade do veículo e obter um *feedback* sobre o

potencial de aceleração e capotamento lateral. Essas ferramentas permitem que o projetista localize a inconsistência e identifique potenciais áreas problemáticas para os tipos de veículos (como rampas com grande potencial de substituição de alta aceleração ou comprimentos insuficientes de pistas de desaceleração).

Usando uma abordagem de realidade virtual o projetista é capaz de interagir com uma imagem tridimensional do projeto, e avaliar inconsistências que podem afetar o desempenho do motorista. Esta revisão visual combinada com dados gerados pela combinação de condutor/ veículo irá proporcionar ao projetista uma compreensão mais clara, tanto dos impactos das decisões do projeto como desempenho do motorista.

O FHWA continua a refinar o IHSDM baseando-se em testes e *feedback* dos usuários. Os relatórios dos resultados obtidos encontram-se disponíveis para consulta em seu website.

No mercado já existem softwares com a capacidade de gerar imagens em perspectiva e também vídeos que simulam o percurso de condução ao longo da via projetada.

Visualizações tridimensionais de projetos de rodovias tornaram-se comum entre os departamentos de transportes dos Estados Unidos para uso em reuniões públicas. No entanto, essas imagens são criadas *off-line* e não disponíveis em tempo real. É necessário fornecer ao projetista a capacidade de obter uma visualização tridimensional do projeto real, identificar áreas problemáticas e de forma interativa corrigir os problemas.

Na Grécia, a Universidade Técnica Nacional de Atenas desenvolveu um software para projeto de estradas denominado H11, que tem a capacidade de executar todas as tarefas relacionadas a concepção de estradas, além de criar perspectivas tanto para um projeto novo ou uma rodovia existente. O software em questão permite que o operador realize as análises do projeto, utilizando configurações personalizáveis para a escolha da norma utilizada, dentre as quais a norma alemã, americana, australiana e grega (MERTZANIS; HATZI, 2011).

Uma das características mais úteis do sistema H11 é a possibilidade de observar o projeto final em perspectiva a partir do ponto de vista do condutor ou de qualquer ponto do espaço selecionado pelo operador. Estas vistas em perspectiva permitem

detectar possíveis deficiências do alinhamento tridimensional, em relação à segurança rodoviária e estética.

No entanto, para que a visualização consiga alcançar o objetivo que se propõe é necessário compreender as relações entre a percepção visual e os produtos resultantes das técnicas de visualização.

3 VISUALIZAÇÃO EM TRANSPORTES

Os avanços tecnológicos transformaram tanto a forma como a informação é gerada, bem como é apresentada, resultando em imagens de alta qualidade com mais facilidade de produção e exibição de forma mais interativa.

Há grande variedade de métodos de visualização e de produtos disponíveis, como simulações e representações, cada uma aplicável a uma situação específica e com custos diferentes. No entanto, uma visualização "complexa e cara" não garante uma melhor compreensão ou eficácia. Além disso, o que é complexo e caro agora, pode se tornar comum daqui a alguns anos, pois a tecnologia gráfica continua a evoluir rapidamente.

Com o intuito de padronizar e auxiliar os projetistas alguns departamentos de transportes elaboraram diretrizes e normas para orientar o projetista na escolha de técnicas de visualização em projetos de rodovias, associando os tipos de visualização em função do tempo disponível, custos e objetivos do projeto. Dentre os quais destacam-se a Federal Lands Highway (FLH) e North Carolina Department of Transportation (NCDOT) dos Estados Unidos e o Department of Transport and Main Roads (DTMR) de Queensland, Austrália.

No passado, a utilização de técnicas de visualização de projeto era limitada a projetos complexos e grandes devido ao alto custo e de computação. O avanço do poder computacional e disponibilidade de software de baixo custo moderado, no entanto, faz ferramentas de visualização de design mais acessíveis aos projetistas (ARMSTRONG; GILSON, 2008).

Na década de 60, na Austrália, são descritos usos de modelos físicos como apoio ao projeto de estradas do Queensland Department of Main Roads (SLATER; RAHMANN apud COX, 2006). Usando o princípio de uma maquete, foram utilizados papelões sobre pinos fixados a uma determinada altura para dar o alinhamento vertical, segundo o plano de alinhamento horizontal definido.

Nos Estados Unidos, os Departamentos de Transportes (DOT's) tem experiências com o uso de tecnologias de visualização aplicada a transportes, contudo ainda não

conseguiram chegar a um consenso para a criação de diretrizes que rejam a utilização da visualização em projetos viários.

Atualmente, a WFLHD (Western Lands Federal Highway Division) divisão que pertence a FHWA (Federal Highway Administration) e o NPS (National Park Service), estão trabalhando em conjunto na reabilitação da Rodovia Going-to-the Sun, um marco da engenharia civil no Glacier National Park, em Montana (ARMSTRONG; GILSON, 2008). O objetivo do projeto é integrar a visualização para abordar as questões de projeto e comunicação com as partes interessadas, avaliando o papel desta tecnologia em relação à complexidade do projeto. No Departamento de Transportes da Califórnia (CALTRANS), o controverso Projeto Devil's Slide em San Mateo teve sucesso utilizando visualização para ajudar o projeto e aprovações. Nos últimos 50 anos, o projeto foi estudado, desenhado e redesenhado. Inicialmente com o intuito de convencer a Comissão Costeira da Califórnia a avançar com o projeto, os recursos visuais (rendering incorporados com fotografias) tornaram-se parte do processo do projeto. Após várias mudanças solicitadas, o projeto foi finalmente aprovado (NCHRP, 2006) e concluído em 2011.

Recomenda-se que a visualização seja utilizada o mais cedo possível no processo de planejamento do projeto a fim de detectar e corrigir eventuais problemas. Esta ferramenta pode ser utilizada para avaliar uma série de questões, incluindo (DTMR, 2010):

- Aparência da estrada;
- Distância de visibilidade;
- Depressões ocultas;
- Percepção das curvas;
- Percepção de retornos necessários nas intersecções;
- Geometria que pode induzir alguns motoristas ao erro;
- Manter a visibilidade evitando distrações;
- Aparência da estrada a partir de um ponto de vista de fora da estrada – por exemplo, para verificar como a estrada pode interferir na paisagem;
- Visualização de eventuais conflitos entre o entorno e a estrada proposta.

3.1 PERCEPÇÃO VISUAL E VISUALIZAÇÃO

A visualização por intermédio das representações visuais fornece apoio cognitivo através dos vários mecanismos que exploram as vantagens da percepção humana, assim como a rapidez de processamento visual. No entanto, a forma como os humanos percebem e reagem ao resultado da visualização, ou seja, às imagens geradas, influenciam fortemente o seu entendimento sobre os dados. Sendo assim, fatores humanos podem contribuir significativamente no processo de visualização e devem ter papel importante no projeto e na construção de ferramentas de visualização (ALEXANDRE; TAVARES, 2007)

A visualização explora principalmente o sentido humano que possui maior aptidão para captação de informação temporal: a visão. Além de ser o primeiro componente do sistema sensorial, a visão é o sentido adquirido mais rapidamente pelo cérebro e possui ainda a capacidade de paralelismo, isto é, mesmo tendo a atenção focada num determinado ponto de uma cena visual, o que circunvizinha, num raio bastante grande, também é alvo do sistema de visão.

Tory et al. (2004) compararam cenários 2D/3D juntos e separadamente através de testes empíricos. Os resultados mostraram que os cenários 3D são mais eficazes para navegação, posicionamento relativo e compreensão das idéias em cenários complexos, ao passo que os 2D apresentam a vantagem da precisão em medições, por exemplo. Ainda complementam que os cenários 3D apresentam melhor desempenho em cenários com temas integrados, que é o caso da situação que será testada neste trabalho – a geometria do projeto da via rural, a região do entorno (MDT do relevo) e percepção das falhas da geometria pelos indivíduos que serão testados.

É importante avaliar a interação homem e ambiente virtual (HVEI – Human Virtual Environment Interaction) para que os ambientes virtuais sejam eficazes e cumpram seu potencial. A capacidade e as limitações dos usuários muitas vezes determinam a eficácia dos mundos virtuais.

Segundo Stanney et. al (1998), a utilização da tecnologia de Ambientes Virtuais (AV) em uma determinada tarefa só é justificada se o uso melhorar o desempenho de

tarefas quando transferidas para o mundo real, pois estes potencializam a percepção sensorial do ser humano, processamento de informações ou capacidade cognitivas. Algumas tarefas que podem se beneficiar com o uso de ambientes virtuais são as que envolvem visualização tridimensional, interatividade em tempo real, imersão, *feedback* multisensorial.

Um aspecto importante que influencia o desempenho em ambientes virtuais são as diferenças de usuários. Essas diferenças, de forma simplificada, podem ser no nível de entrada (ex. distância inter-pupilar), na execução da tarefa (ex. estilos de percepção ou cognitivo) e saída (ex. desempenho do usuário).

Outra característica que os projetistas de interface devem se adaptar ao projetar interfaces é o nível de experiência do usuário, ou expert versus novato (DIX et al., 1993; EBERTS, 1994; EGAN 1998 apud STANNEY, 1998). Observou-se que especialistas e novatos têm diversas capacidades e requisitos que podem não ser compatíveis, sendo assim, os sistemas devem ser adaptáveis a essas diversas necessidades. Estudos apontam que o nível de experiência influencia a habilidade com que os usuários interagem com ambientes virtuais e o modo com que os usuários representam mentalmente um ambiente virtual ao longo do tempo. Essas diferenças podem afetar a complexidade da navegação em um AV (Ambiente Virtual) e o desempenho de referência dos usuários.

A idade é outro fator que pode afetar o HVEI. Pesquisas mostram que a idade é influente na determinação do grau de dificuldade de um usuário irá experimentar em um sistema de aprendizagem (EGAN, 1988 apud STANLEY, 1998). Quanto mais complexo for um sistema, mais influente são os efeitos da idade, particularmente se as informações dos diferentes canais sensoriais deve ser integrado. Contudo, a maneira com que a idade do usuário influencia o desempenho em um sistema ainda não foi totalmente compreendido.

Indivíduos com alta habilidade espacial possuem aguda sensibilidade para detalhes visuais, esboçam ideias graficamente e facilmente se orientam no espaço tridimensional.

Com relação aos gêneros, as diferenças de desempenho em atividades que utilizam cognição espacial são bem relatadas na literatura, mas ainda fracamente compreendidas. Os resultados mostram uma vantagem dos indivíduos do sexo

masculino em relação ao feminino (GORSKA; SORBY; LEOPOLD, 1998, GEARY et. al, 2000; SORBY, 2001; GORSKA; JUSCAKOVA, 2003 apud SEABRA, 2009), no entanto deficiência de visualização espacial ocorrem com frequência em ambos os sexos.

Tory e Moller (2004) fazem uma revisão metodológica de artigos publicados na revista IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics (TVCG), ressaltando a influência dos fatores humanos, que podem contribuir significativamente para o processo de visualização, desempenhando um papel importante na concepção e avaliação de ferramentas de visualização. Várias iniciativas de investigação começaram a explorar os fatores humanos em visualização, em especial em projeto baseado em percepção, incluindo as condições de iluminação, acuidade visual, cor, etc.

Bertin e Beyond (apud GARRICK et. al., 2005) afirmam que a “visualização é uma função conjunta da computação gráfica e percepção”. Para que a visualização alcance seus objetivos é necessário compreender o sistema de percepção humana. A exibição precisa ser projetada para aproveitar as capacidades e superar as limitações do sistema perceptivo.

A forma como é interpretada uma tela depende da concepção dos dados, nossa formação e experiências anteriores. As pessoas podem interpretar a mesma imagem visual de forma diferente.

Além dos fatores humanos, apresentar as entidades tridimensionais em ambiente bi-dimensional, também é um problema. A solução desta questão encontra-se nos métodos de projeção. Uma projeção nada mais é do que uma representação bidimensional de um objeto tridimensional. Existem várias técnicas e tipos de projeção, cada uma delas adequada a um tipo de aplicação. A mais importante é a projeção perspectiva, pois simula a projeção feita pelo olho humano quando este capta a imagem de um objeto (ROS, 2001).

Com relação à perspectiva em si, um de seus elementos mais importantes é o chamado *ponto de fuga*. O ponto de fuga é um ponto situado no infinito, no qual as paralelas de um objeto se encontram.

Pesquisas também avaliam o uso de jogos de simulações para identificar possíveis efeitos devido à familiaridade com a condução virtual. (CANTISANI; VITO, 2011).

A fim de melhor compreender a percepção visual, Friedhoff e Benzon (apud GARRICK et.al 2005) dividiram o processamento visual em consciente e pré-consciente. Na percepção visual, a mente consciente recebe informações após ter em sido processadas pelo sistema visual pré-consciente.

A análise dos dados representados em uma tabela é um processo consciente, ao passo que reconhecer os mesmos dados em um gráfico invoca um processo pré-consciente, que é mais fácil e rápido que o processo consciente.

Sendo assim, as propriedades visuais que são processadas pela visão pré-consciente podem ser usadas para ressaltar características importantes da imagem. Dentre essas propriedades visuais: cor, cintilação, tamanho, textura, largura e brilho foram relacionadas com a visão pré-consciente.

Estudos concluem que técnicas avançadas de visualização e simulações do ambiente rodoviário podem revelar algumas relações entre parâmetros do projeto de estrada e aspectos comportamentais importantes para a criação de sistemas de transportes mais seguros (ZAKOWSKA, 2011).

3.2 TÉCNICAS DE VISUALIZAÇÃO

Dentre as ferramentas e técnicas avançadas disponíveis para a produção de visualizações, podemos dividir em bidimensionais, que abrangem desde técnicas em 2D, composição com o movimento de software de gráficos, modelagem 3D, renderização, animação em tempo real, modelos interativos, bem como a junção de várias técnicas para compor uma visualização. Além de algumas ferramentas emergentes e inovadoras como os simuladores de condução (GARRICK, 2005; TRB, 2006; DTMR, 2010).

3.2.1 APRESENTAÇÕES BI-DIMENSIONAIS

Dados CADD bidimensionais, gráficos e fotografias podem ser aplicados a uma variedade de aplicações visuais (Figura 14). A maioria das reuniões e consultas públicas dependem de gráficos 2D para transmitir tudo, desde a demografia até os orçamentos. Esta ferramenta visual pode ser a saída para meios de impressão, desenvolvimento web ou apresentações multimídia eletrônica. Modelos gráficos bidimensional podem combinar modelos geométricos (também chamados de gráficos vetoriais), as imagens digitais (também conhecidos como gráficos raster), o texto para ser compor, funções matemáticas, e muito mais. Esses componentes podem ser modificados e manipulados por transformações geométricas 2D, tais como translação, rotação e escalamento. Simulações bidimensionais ou foto-montagens podem ser muito eficientes e eficazes em alguns projetos.

Porém, é importante reconhecer que a manipulação de imagens é tipicamente utilizada para renderização, não sendo baseadas em elementos geométricos com precisão e o resultado da imagem necessariamente não reflete o projeto final (GARRICK et al, 2005)

Figura 14 – Arquivo CADD 2D e visualização renderizada.

Fonte: TRB, 2006

3.2.2 FOTO SIMULAÇÃO

Foto simulação é a combinação de elementos do projeto proposto com fotografias reais do terreno. Um ponto importante é que a imagem 3D é definida com precisão geométrica.

Uma vez que a renderização 3D foi criada, pode ser incorporada em uma fotografia existente usando um pacote de edição de fotos (Figura 15). O objetivo da foto simulação é educar o observador e, ao mesmo tempo, criar uma composição perfeita, através da computação gráfica na imagem. Foto simulação pode dar o realismo que o público em geral e os projetistas esperam ver em recursos visuais.

a)

b)

Figura 15 – (a) Foto simulação de condições existentes e (b) condições propostas

Fonte: TRB, 2006

3.2.3 VISTAS WIREFRAME EM PERSPECTIVA

A vista *wireframe*¹ em perspectiva pode ser produzida rápida e facilmente na maioria dos aplicativos de projetos de estrada em 3D. Essas exibições podem ser utilizadas para verificar as aparências dos alinhamentos e verificar a combinação de curvas horizontais e verticais. Perspectivas *wireframe* também podem ser usadas para verificar como a estrada se encaixa no terreno a partir de pontos de vista fora da estrada, bem como na estrada. Como pode ser observado na Figura 16, as perspectivas *wireframe*, mesmo com a supressão da linha escondida, a aparência final é muito "bruta" e podem ser difíceis de interpretar, devido a aparência final.

Figura 16 – Vista Wireframe em Perspectiva

Fonte: DTMR, 2010

¹ Um modo de exibição no qual as superfícies são apresentados com os seus contornos, e os elementos por trás superfícies são exibidos como se a superfície não existisse, a aparência é de uma estrutura de arame.

3.2.4 RENDERIZAÇÃO SIMPLES DA TRIANGULAÇÃO

Renderização é a utilização de um processamento digital qualquer para se obter um produto final. É um termo aplicado a modelagem 2D e 3D.

Para renderizar uma cena é necessário, entre outras coisas, definir um tipo de textura para os objetos existentes, sua cor, transparência e reflexão, localizar um ou mais pontos de iluminação e um ponto de vista sob o qual os objetos serão visualizados. Ao renderizar, o programa calcula a perspectiva do plano, as sombras e a luz dos objetos, convertendo os símbolos gráficos num arquivo visual, obtendo imagens foto realísticas em vídeo (animação 3D) ou uma imagem em perspectiva.

Renderizações² simples podem ser usados para melhorar a interpretação e o realismo do modelo de projeto. A habilidade de sombreamento e iluminação de um modelo de triangulação é um processo automático. A exibição resultante ajuda o projetista a analisar o projeto e como ele se adapta ao terreno existente, a exemplo da Figura 17

² Processamento de uma imagem de modelo 3D que se parece mais realista do que uma imagem wireframe. Inclui linha oculta e sombreamento da superfície.

Figura 17 – Renderização simples da triangulação.

Fonte: DTMR, 2010

3.2.5 *DRIVE THROUGH* COM RENDERIZAÇÕES SIMPLES

Um *walk through* ou *drive through*, fornece a capacidade de mover-se através de um ambiente virtual tridimensional e observar o conteúdo do ambiente a partir de um determinado ponto de visão ou de altura acima do solo. Esta facilidade pode ser o resultado de uma seqüência de animação onde, o caminho, o ponto de visão e direção dos olhos foram pré-definidos, ou pode ser o resultado do controle do usuário em tempo real, sobre os parâmetros.

Além de produzir renderizações simples da triangulação com vista do modelo a partir de um ponto fixo, os projetistas também têm a vantagem de analisar o projeto do ponto de vista do motorista utilizando ferramentas *drive through* (Figura 18). Esta ferramenta é útil na verificação da distância de visibilidade, e como as estruturas podem afetar visibilidade e a aparência da estrada. Também ajuda a destacar os

casos em que a geometria da estrada ou recursos junto à estrada podem enganar ou confundir os condutores (Figura 19).

Drive through também podem ser criados seguindo outras sequências do eixo rodoviário.

Figura 18 – Drive-through com renderização simples.

Fonte: DTMR, 2010

Figura 19 – Verificação de distância de visibilidade utilizando visualização.

Fonte: DTMR, 2010

3.2.6 *DRIVE THROUGH* ALTAMENTE RENDERIZADOS

Drive throughs totalmente renderizados fornecem uma representação realista da pista e do terreno circundante do ponto de vista do condutor. Este tipo de apresentação proporciona ao espectador uma idéia realista de como a rodovia construída ficará.

Padrões de textura renderizados devem ser aplicados, juntamente com a criação de sinalização horizontal e características dos dispositivos de segurança e sinalização. Geralmente este tipo de trabalho requer módulos de software adicionais ou aplicações de software de visualização dedicados. Algumas destas aplicações dedicadas também oferecem a possibilidade de incluir os veículos em movimento na estrada durante a reprodução do *drive through*..

Os custos e treinamento para utilização desses softwares ainda são muito caros e demandam tempo para produção do *drive through* final.

Figura 20 – Apresentação de *Drive through* altamente renderizado.

Fonte: DTMR, 2010

Figura 21 – Outro Exemplo de *Drive through* altamente renderizado.

Fonte: DTMR, 2010

3.2.7 ANIMAÇÃO COMPUTADORIZADA

A animação computadorizada é a arte de criar imagens em movimento utilizando computadores. É um domínio da área de computação gráfica e animação. Cada vez mais, animações renderizadas por computador são criadas por meio de computação gráfica 3D, apesar da computação gráfica 2D ainda ser amplamente usada.

Essencialmente, animação por computador é uma série de representações de computador que são conectados entre si. Antigamente, restrições de tempo era um fator importante ao se decidir pela utilização de animação por computador, pois esse processo consome tempo. Os sistemas computacionais devem gerar todas as representações necessárias para criar uma animação, e leva 30f/seg, ou seja 30 frames (renderizações) para gerar um 1s de animação por computador (TRB, 2006).

O processo de animação envolve a modelagem, texturização, iluminação e efeitos especiais. Uma vez que a visualização é produzida, o produto final vai para a pós-

produção e pode ser exportado via meios de impressão ou um "arquivo" adequado para reprodução em computador ou DVD.

A animação computadorizada é uma imagem completamente sintética, baseada na modelagem matemática de todos os elementos da cena. (GARRICK; et al, 2005). O nível de detalhe depende da complexidade do modelo 3D. Na maioria das vezes a produção de uma animação é muito cara, pois requer equipamento de alto desempenho e pessoal qualificado e especializado.

Uma possível dificuldade atribuída à animação como ferramenta de visualização é o realismo, pois o ambiente criado digitalmente não pode apresentar todos os detalhes reais da estrada, como paisagismo, desenvolvimento que se apresenta à margem da estrada e da sensação de dirigir. Contudo, a animação é indispensável para visualização de trechos rodoviários ainda não construídos. (JANIKULA; GARRICK, 2002).

Figura 22 – Animação computadorizada de interseção.

Fonte: VETEC Engenharia Ltda.

Figura 23 – Animação computadorizada do Projeto da Ponte Santos Guarujá.

Fonte: VETEC Engenharia Ltda.

3.2.8 SIMULAÇÃO DE TRÁFEGO

Simuladores de tráfego são geralmente utilizados para investigar efeitos operacionais do projeto geométrico proposto, podendo ser utilizado para analisar rotatórias, planejamento de alternativas, interseções semaforizadas (Figura 24), comportamento dos pedestres (Figura 25), além de suporte de decisão no projeto como um todo.

Há muitos pacotes de software disponíveis que realizam simulação de circulação de tráfego e comportamento para auxiliar no planejamento e projeto. Estes softwares podem produzir uma apresentação visual do comportamento do tráfego na maioria das situações no âmbito da rede rodoviária.

Esta tecnologia não é utilizada para apresentação ao público, pois se destina a avaliar dados técnicos, sem preocupação com o produto final.

Figura 24 – Simulador de tráfego para análise da interseção.

Fonte: DTMR, 2010

Figura 25 – Análise de interseção e comportamento de pedestres.

Fonte: DTMR, 2010

3.2.9 SIMULADORES DE CONDUÇÃO

A tecnologia mais moderna utilizada para avaliar a consistência geométrica de um traçado é apresentado por Bella e D'Agostini (2010). Trata-se de um simulador de condução em realidade virtual denominado Inter-University Research Center for Road Safety (CRISS), que é um simulador de condução com base-fixa interativa, composto por quatro computadores em rede que processam as equações de movimento e geram as imagens. As interfaces de hardware incluem volante, pedais e um câmbio de marchas montadas em um veículo real, além de reproduzir os sons de motor. A cena de condução é projetada em três telas, uma na frente do veículo e duas de cada lado tendo um campo de visão de 135 graus (Figura 26). Todo o sistema oferece uma simulação muito realista e permite gravar vários parâmetros relacionados com as condições de deslocamento do veículo em intervalos de tempo espacial. O modelo foi adaptado para funcionar em tempo real e tem sido amplamente validado.

Figura 26 – Simulador de Condução CRISS: a) Mesa para construção e implementação dos cenários do simulador; b) Exemplo de condução no simulador.

Fonte: Bella e D'Agostini (2010)

Outro experimento utilizando o simulador de condução, tanto para pesquisas educacionais como aplicada é o desenvolvido no “Norwegian Centre for Studies of Road User Behaviour” (Centro Norueguês de Estudos do Comportamento do

Usuário de Estradas) uma parceria entre o grupo SINTEF e a universidade norueguesa NTNU (Norwegian University of Science and Technology).

O simulador fornece um ambiente totalmente imersivo composto por um carro Renault Scenic modelo 1997 com sistema de movimento de 3 eixos, sistema de vibração do corpo do carro, sistema de som de 4 canais e 5 canais de informação visual proporcionam o campo de visão. O volante é equipado com um motor de torque que dá feedback de força. Contém ainda um banco de dados visuais, com mais de 800 km de cenários de tráfego com diversas estradas, como auto-estradas, vias urbanas e rurais. Além disso, uma série de modelos de terreno de estrada e níveis de atrito diferentes estão disponíveis, como: neve, chuva, asfalto, cascalho, etc Os cenários de tráfego simulado incluem carros autônomos capazes de aceleração, frenagem e ultrapassagem de outros veículos.

O sistema de visualização utiliza PCs baseados em tecnologia Intel (R) Tecnologia Xeon, equipados com placa gráfica NVIDIA Quadro 5000. Os projetores frontais são NEC LT 240K (Tecnologia DLP, 2000 ANSI lumen) e os projetores traseiros DAVIS DLX 650 (Tecnologia DLP, 650 ANSI lumen). O tamanho de cada tela é de 2,4 metros de altura e 3,1 metros de largura. A resolução das imagens é 1400x1050 pixels. As imagens das três telas da frente são projetadas a partir da parte traseira do veículo e prevê um FoV de 180° na horizontal e FoV de 47° na vertical. As imagens das duas telas atrás do veículo são projetadas da frente e oferecem um FoV de 90° na vertical e FoV de 47 ° na vertical, cada um (Figura 27 e Figura 28).

Figura 27 – Simulador de Condução NTNU/SINTEF – Vista Lateral

Fonte: Site da NTNU – <http://www.ivt.ntnu.no/bat/vs/kjoresim/pics.htm> (2011)

Figura 28 – Sistema de visualização do simulador de condução NTNU/SINTEF

Fonte: Site da NTNU – <http://www.ivt.ntnu.no/bat/vs/kjoresim/pics.htm> (2011)

O simulador está usando o SCANeR Studio que é um software que cria os cenários e ferramentas de monitoramento usados no simulador. As ferramentas de cenário estão localizados no computador do .

No simulador do carro estão acopladas três câmeras para gravar o que acontece durante a condução. Uma câmera captura a cena visual (na frente da direção), uma câmera capta o rosto do condutor, e um é montado no teto na parte de trás e à direita do condutor capturam a instrumentação do carro e as mãos do motorista.

Todas as câmeras são mixadas usando um ~~Multiplexer~~ Vídeo MUX (Multiplexer), resultando em uma imagem. Com o uso de uma unidade controladora de superposição controlada pelo PC Video-Texto (ver Figura 29), as legendas são adicionadas ao vídeo.

Figura 29 – Resumo esquemático sobre os componentes do simulador – adaptado pela autora

Fonte: Site do SINTEF– <http://www.sintef.no> (2011)

Os arquivos de log do registro dos dados no simulador fornece uma taxa de 20 Hz de variáveis relevantes, tais como: posição (x, y, z), velocidade, motor RPM, uso de pedais (freio, acelerador e embreagem), uso e luzes (luz baixa ou alta, seta indicadora), distância a outros veículos, etc. Outra informação importante armazenada é o número do quadro (frame), dessa forma é mais fácil ver o arquivo de log com base nas informações encontradas na imagem de vídeo.

O resultado da combinação das imagens captadas (vista da cena, face do motorista e vista da instrumentação do carro) e as legendas adicionadas como: dados de data, hora, velocidade, frame é exibida na Figura 30.

Figura 30 – Exemplo de saída de vídeo com legenda.

Fonte: Site do SINTEF– <http://www.sintef.no> (2011)

Este conceito de simulador de condução abre a possibilidade de adicionar ainda mais cabines ao simulador, e a NTNU e SINTEF já planejam adicionar cabines especiais para deficientes motores, enquanto considerações futuras incluem cabine de ônibus (SINTEF, 2011).

Novos fluxos de trabalho envolvendo modelagem 3D e visualização de projeto estão complementando e podem substituir muitas das abordagens de elaboração de projeto centradas em 2D, praticadas há décadas (TAYLOR; MOLER, 2010).

4 VISUALIZAÇÃO COMO FERRAMENTA EM PROJETO GEOMÉTRICO DE VIAS

A visualização é uma representação simulada de propostas de melhorias de transporte e seus impactos sobre o ambiente de maneira suficiente para transmitir ao leigo toda a extensão das melhorias (NCHRP, 2006). Esta definição também é atribuída ao termo Visualização de Projeto (VP) utilizada pelo Federal Lands Highway Division (FLH).

Visualização utiliza uma variedade de diferentes tecnologias, como a fotografia, a fotogrametria, imagem digital, Sistemas de Informação Geográfica (SIG), aplicações CAD e computação gráfica, para criar exibições simuladas das melhores propostas.

Os níveis de visualização devem ser identificados e levados em consideração durante o processo de delimitação do âmbito do projeto, que ocorre nos estágios iniciais de planejamento do projeto.

Ao contrário da modelagem 2D, a visualização incluir parâmetros que projetistas possam analisar as combinações de alinhamento horizontal e vertical e elementos da seção transversal, projetos de interseção e performance de tráfego (TAYLOR; MOLER, 2010).

Há alguns anos atrás, as técnicas de visualização eram onerosas e altamente especializadas, aplicáveis somente a projetos grandes e controversos. Atualmente, com a acessibilidade a equipamentos modernos e disponibilidade de softwares com ferramentas de visualização integradas, essa atividade tornou-se rotineira dentro dos Departamentos de Transportes internacionais, também em projetos de médio e pequeno porte. A evolução dessas tecnologias está se tornando mais acessível para os usuários de transporte.

A capacidade de visualizar é essencial para os engenheiros e projetistas para imaginar, perceber, apresentar e transmitir conceitos do projeto e detalhes técnicos. Antes do desenvolvimento da visualização computadorizada, engenheiros e projetistas visualizavam a cena em suas mentes (HAN et al, 2005).

Ao contrário da visualização tradicional baseada em papel, a visualização informatizada cria recursos 3D no computador e exhibe este ambiente virtual através do monitor do computador.

A visualização permite compreender mais claramente as informações técnicas complexas e, no mínimo, deve fornecer informações suficientes para apresentar a diferença entre as alternativas propostas e as condições existentes. Isso pode incluir propostas de projeto com alternativas como o número de vias, impactos ambientais, a estética da rodovia, questões de distância de visibilidade, entre outras.

No ensino, as ferramentas de visualização do projeto resultando em projetos tridimensionais seriam muito valiosas para a formação de estudantes de engenharia a pensar em 3D e melhorar a compreensão das implicações em combinar visualmente os elementos específicos de planta e perfil (JANIKULA; GARRICK, 2002).

Geralmente há uma razão para fazer uso de técnicas de visualização, sejam no sentido de entender a concepção do projeto verificando possíveis problemas de alinhamento para assim conduzir alterações ou apresentá-lo à opinião pública. A razão pela qual a visualização está sendo produzida determine os níveis de detalhes e realismo que serão necessários, bem como os tipos de vistas que serão produzidos e localização da câmera. Por exemplo, uma vista aérea de um modelo seria útil para explicar layouts e questões de planejamento, enquanto uma vista no nível do olho humano daria uma visão mais experimental da influência contextual.

Vários autores ressaltam a importância da avaliação do projeto geométrico a partir do ponto de vista do condutor (HAN et al., 2005; KUHN, 2006).

Além de oferecer uma melhor compreensão de como um projeto irá funcionar, bem como da aparência final do projeto é essencial não só para o processo de consulta pública, mas também para os projetistas e planejadores do projeto. Projetistas estão confiando mais em técnicas de vídeo digital para melhorar a compreensão de seus projetos e para comunicar mais eficazmente com as partes interessadas.

Estudos comparativos entre visualizações com vistas 2D e 3D (TORY et al., 2006) mostram que os dois estilos de exibição são eficazes para diferentes tarefas. Notou-se que vistas 2D são frequentemente usadas para estabelecer relações precisas auxiliando em decisões e ações específicas, enquanto vistas 3D são utilizadas para

obter uma compreensão qualitativa e apresentar idéias a outras pessoas, como por exemplo, durante tarefas como orientação e posicionamento de objetos em relação a outras, a vista 3D pode ajudar a obter uma compreensão global do espaço.

Sendo assim os modelos CAD são normalmente apresentados sob vários aspectos, simultaneamente, com vistas ortográficas 2D (usados para a edição precisa e a medição de grandezas) complementado por uma ou mais pontos de vista oblíquo (para auxiliar na compreensão da estrutura 3D).

Outros estudos e experimentos realizados por pesquisadores (SANDO et al., 2009) avaliaram a eficácia de percepção de visualizações 3D utilizando interações controladas pelo usuário, animações e vistas estáticas combinadas 2D com 3D. Para algumas tarefas, especialmente aquelas que exigem posicionamento preciso em relação ao espaço 3D, conjuntos de projeções 2D ou fatias e vistas 3D têm se mostrado benéficas se comparadas a visualizações 3D estáticas. No entanto, a utilização deste recurso depende da capacidade espacial, sugerindo que vistas 2D e 3D combinadas pode não ser adequado para todos os usuários. No entanto, um estudo recente concluiu que a animação era mais importante que a interação.

Hobson et al. (2009) agrupam os diversos tipos de produtos visuais em quatro categorias – programas com base CAD/GIS, renderização, animação e interação multimídia. O programa computacional 3D/CAD é a base do programa que será utilizado nesta pesquisa, apresentado no Capítulo de Materiais e Métodos. Ele permite representar em 3D os dados espaciais do modelo digital do projeto e do modelo digital do terreno a ele associado. Embora a maioria dos programas computacionais voltados para projeto de vias terrestres já tenham embutido as ferramentas de renderização (caracterização dos dados espaciais por meio de cores, texturas e iluminação), os autores a consideram como outra categoria que pode incluir a fotografia digital para atribuir o efeito realístico do ambiente nos projetos.

A animação, por sua vez, é apresentada nos tipos de animação 3D, 4D e vídeo-simulação. A animação permite a visualização de diversos pontos de vista da câmera – no caso desta pesquisa será adotado o ponto de vista do condutor do veículo –; iluminação próxima da realidade do ambiente, detalhamento do ambiente com diversos objetos (carros, árvores, postes de iluminação, sinalização horizontal e vertical da via, etc). A animação 4D difere da 3D pela inclusão da relação espaço/tempo. Já a vídeo-simulação é apresentada como a associação do projeto

em 3D e sua visualização completa por uma câmera que o percorre em toda a extensão e com boa cobertura da região de entorno.

Outro recurso apresentado é a interação multimídia, que permite ao usuário interagir com o projeto através de navegação, obtendo resultados em tempo real – ambiente imersivo. Os autores ressaltam que cada etapa complementar para uma visualização mais realista do projeto está diretamente ligada ao aumento do custo dos hardwares associados.

Haeberling (2005) discorre sobre as variáveis de projeto que podem afetar a navegação em mapas 3D e apresenta nomenclatura e definição para elas – modelagem, simbolização e visualização. O trabalho contribui, ainda, para definir o modelo de terreno mais adequado para a visualização do traçado do projeto, Também alerta para importância do ângulo de visão do traçado.

Zimmermann e Roos (2001) apresentam critérios quantitativos para avaliar espacialmente o alinhamento do projeto de uma rodovia, bem como um método para representação e controle do projeto. Alguns critérios foram considerados como a distância de visibilidade, o desaparecimento parcial da estrada da visão do condutor, a qualidade e distorção da visão, que são adotados de forma eficiente somente quando os alinhamentos – horizontal e vertical – são analisados em conjunto. Os autores também destacam que para uma perfeita análise do projeto, a visualização espacial de determinados elementos do projeto não pode estar prejudicada, o que indicaria, necessariamente, a existência de uma deficiência na geometria do mesmo. Menciona, por exemplo, o caso em que o início das curvas côncavas não é visualizado do ponto de vista do motorista (Figura 31).

Figura 31 – Exemplo de mergulho em curva vertical com início não visível

Fonte: Zimmermann (2001)

Os autores fazem também uma relação com a questão de segurança – no caso de alinhamentos não coordenados, o traçado pode passar para o motorista inexperiente e ou imprudente a falsa sensação de que o trecho permite, por exemplo, desenvolver altas velocidades e ultrapassagens, contribuindo para a maior ocorrência de acidentes. Assim, afirmam que a coordenação espacial dos alinhamentos de uma rodovia é um critério importante para o projeto da via, no entanto, é pouco levado em conta na concepção prática do projeto, no dia-a-dia, em decorrência da inércia dos projetistas em relação às ferramentas de visualização e até mesmo custo elevado do hardware requerido.

Janikula e Garrick (2002) desenvolveram modelos realistas e dinâmicos com o intuito de ilustrar os conceitos que afetam a aparência e a coordenação entre os alinhamentos horizontal e vertical de uma estrada. Os modelos criados basearam-se em dados do Sistema *Photologging* do Departamento de Transportes de Connecticut. Este sistema consiste de pequenos vídeo cliques da rodovia tomados a partir da perspectiva do pará-brisa de um veículo acoplado com subsistemas de vídeo e analisador automático de estrada (ARAN) composto por giroscópio e sensores de ultrassom. Com este sistema é possível capturar além de imagens da estrada, dados geométricos como curvatura horizontal e declividade da pista, bem como características do pavimento. As imagens de vídeo da pista foram acopladas com gráficos mostrando o alinhamento horizontal e vertical correspondente da estrada.

Kühn e Jha (2006) também destaca que as deficiências no alinhamento tridimensional são normalmente resultado de uma falta de harmonia dos alinhamentos horizontal e vertical durante o processo de concepção clássica. Elas podem levar a acidentes nas rodovias de pista única e, portanto, comprometer a segurança rodoviária. Quando o início de uma curva horizontal do alinhamento é escondido do motorista por um vértice e ao mesmo tempo a continuação da curva é visível a uma distância além do vértice da curva vertical, ocorre o efeito de separação ou absurdo ótico (Figura 32). Situações em que o motorista ao longe visualiza ondulações não é desejável tanto pela estética quanto pelas dificuldades de drenagem e consequentemente pelo aspecto de segurança (Figura 33).

Figura 32 – Coordenação não desejável – efeito de separação ou absurdo ótico

Fonte: Kühn e Jha (2006), adaptado pela autora.

Figura 33 – Coordenação não desejável – ondulação em tangente ou efeito tobogã

Fonte: Kühn e Jha (2006), adaptado pela autora.

A fim de evitar eventuais lacunas no esquema de três dimensões, desde a fase de concepção, uma avaliação com base em imagens de perspectiva é necessária com o auxílio dos critérios de avaliação qualitativa e verificação de fatores quantitativos segundo esses mesmos autores. Se os critérios qualitativos são usados, estes só podem ser avaliados a partir da imagem em perspectiva. Os critérios qualitativos mencionados são: equilíbrio e coordenação das três dimensões do alinhamento; verificação das deficiências do alinhamento (mergulhos, saltos, ziguezague, efeito tobogã); percepção do ponto de vista do condutor.

Há poucos anos, a utilização de técnicas de visualização de projetos viários era limitada devido ao alto custo do hardware. O avanço do poder computacional, diminuição do tamanho e custo dos componentes e disponibilidade de softwares de custo moderado, passou a tornar as ferramentas de visualização e projeto mais acessíveis aos profissionais da área. Embora disponíveis no mercado, ainda não são utilizadas amplamente na concepção do projeto de rodovias, tendo maior aplicação como meio criador de maquete eletrônica – porém não apropriada no projeto real.

Essas etapas podem ser desenvolvidas, associadas à criação de maquetes eletrônicas dinâmicas apoiadas em softwares de renderização e Realidade Virtual

(RV). Realidade virtual é uma interface avançada para aplicações computacionais, que permite ao usuário navegar e interagir, em tempo real, com um ambiente tridimensional; no caso, projetos de vias terrestre, gerados por computador. Também é viável ser utilizado quando em modelo não–imersivos, por necessitar apenas de um monitor.

5 MATERIAIS E MÉTODOS

Nesta etapa serão apresentados os materiais utilizados e os procedimentos realizados no desenvolvimento da pesquisa. O material é listado abaixo e a metodologia descrita nos itens seguintes.

5.1 MATERIAIS

5.1.1 Laboratório

Os alunos foram submetidos aos testes no Laboratório de Tecnologia da Informação em Transportes do Departamento de Transportes da Escola Politécnica da USP. Atualmente é composto por 20 computadores dispostos em 4 filas.

Os computadores são do tipo *desktop* compostos por Processador Core 2 Duo, 4 Gb de memória RAM, hard disk de 320 Gb, placa de vídeo NVidia, sistema operacional Windows XP, monitor LCD, teclado e mouse.

5.1.2 Programas Computacionais

A elaboração dos testes contou com o auxílio de um programa aplicativo para a elaboração do projeto geométrico de vias terrestre que possui módulo de visualização 3D. O programa CLIP, da empresa TOOL SA, foi cedido gratuitamente ao Departamento de Engenharia de Transportes da Escola Politécnica da USP. O CLIP é um software de projeto de estradas, que utiliza conceitos de alinhamento tridimensional e paramétrico, ou seja, as alterações realizadas em planta ou perfil se refletem em todo o projeto e vistas.

Este software dispõe de um módulo 3D, no qual é possível realizar um percurso (*drive through*) da estrada projetada, bem como integrar a cartografia e ortofoto da área em projeto. Durante o percurso da via é possível visualizar o *drive through* a partir da velocidade específica de projeto ou velocidade obtida em função dos elementos da geometria. O sistema permite ainda especificar em caso de condução automática se esta é lenta, normal ou rápida. Em qualquer dos casos é permitido posicionar a altura do observador, a distância ao eixo ou bordo da rodovia e a altura do objeto perceptível. Estes parâmetros são utilizados na determinação da distância de visibilidade e distância de parada, considerando todos os aspectos normativos.

Para facilitar a execução dos testes foi criada uma interface executável em Power Point, que direciona o avaliador ao seu grupo e, por conseguinte aos vídeos que avaliará. Além disso, utilizou-se o visualizador Power Point Viewer a fim de evitar conflitos entre as versões de produção da interface e a instalada nos computadores.

A análise estatística utilizou-se dos recursos do programa Excel, com ênfase no suplemento Análise de Dados que dispõe de ferramentas e funções para o tratamento estatístico.

5.1.3 Vídeos

Foram elaborados 6 (seis) vídeos com o *drive through* de cada trecho, sendo os trechos A, B e C corretos pois apresentam boa coordenação entre os alinhamentos horizontal e vertical, bem como distância de visibilidade dentro da norma. Já nos trechos 1, 2 e 3 foram inseridas distorções propositais criando assim problemas na coordenação entre alinhamento horizontal e vertical e por conseguinte na distância de visibilidade. Os arquivos multimídia foram exportados no formato Audio Video Interlave (AVI) – que faz parte da tecnologia do sistema operacional. O tamanho dos arquivos varia em função da extensão dos trechos. Estes arquivos foram inseridos em uma interface elaborada em Power Point para facilitar a condução dos testes.

5.1.4 Questionários

O questionário de avaliação (Apêndice A) foi elaborado com perguntas objetivas, sendo composto por duas partes. Na primeira parte são feitos questionamentos sobre nível de experiência em relação a conhecimento de projeto geométrico, especificando se o avaliador é estudante ou projetista, sexo, experiência com atividades envolvendo visualização tridimensional (jogos, filmes, etc), se o avaliador é condutor de veículo e se dirige com frequência, além de conhecimento teórico sobre coordenação de alinhamento horizontal/ vertical e distância de visibilidade.

Na segunda parte, o avaliador deve fazer sua análise em relação ao trecho, e informar se o trecho apresenta ou não apresenta problemas no que se refere à coordenação entre alinhamento horizontal e vertical ou distância de visibilidade.

5.2 METODOLOGIA

A metodologia de teste consiste em associar a visualização 3D de trechos de projeto através de vídeos e questionários. Os resultados finais foram tabulados em planilha Excel e analisados.

5.2.1 Grupos

Participaram da pesquisa graduandos regularmente matriculados e cursando a disciplina de Projetos de Infra Estrutura de Vias de Transportes Terrestres (PTR–2378) que objetiva familiarizar o aluno com os conceitos e metodologias básicas para o detalhamento de projetos de infra Estrutura de Vias de transportes. Esta disciplina é ofertada semestralmente no Departamento de Transportes da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (USP) com uma carga horária de 60 horas.

O curso aborda assuntos relativos ao sistema de transporte rodoviário e ferroviário, seguindo o conteúdo a seguir:

- Componentes dos Sistemas de Transportes
- Fases de elaboração de Projeto Viário
- Noções sobre Classificação Funcional e Técnica de Vias
- Veículos de projeto. Noções sobre o comportamento dos motoristas. Noções básicas sobre o fluxo de tráfego, desempenho e capacidade viária.
- Conceitos gerais, considerações teóricas e práticas para os projetos planialtimétrico e altimétrico de vias urbanas, rodovias e ferrovias. Elementos de seção transversal.
- Interseções e faixas auxiliares de tráfego.
- Terraplenagem: cálculo de volumes, diagrama de massas, orientação para movimentação, Notas de serviços.
- Noções sobre modelos computacionais para projeto geométrico.

A turma selecionada para os testes compôs-se de 98 (noventa e oito) alunos com início letivo em agosto de 2011 e conclusão de suas atividades em dezembro de 2011. Na época de realização dos testes, os estudantes já haviam cumprido a carga horária completa, entre atividades teóricas e práticas, tendo sido ministrado o assunto de coordenação entre alinhamento horizontal e vertical.

Durante os testes os alunos não foram informados sobre o objetivo da atividade para que não houvesse influência sobre suas escolhas. Porém, foram informados sobre o anonimato de dados pessoais e uso dos mesmos para o estudo. Para tanto, um “Termo de Esclarecimento e Consentimento Livre” foi incorporado à pesquisa (Apêndice B).

Os indivíduos foram divididos em nove grupos de forma aleatória e imparcial, utilizando ferramenta de análise disponível no programa de planilha eletrônica – Excel, denominada amostragem.

Definiram-se os grupos, a partir da lista de matrícula classificada em ordem alfabética e numerada em ordem sequencial. Fez-se a seleção de 10 indivíduos por grupo, através da função amostragem. Selecionou-se a entrada de dados que

corresponde à matriz de alunos, o método de amostragem aleatório retornando 10 amostras, especificando um local para a saída dos alunos sorteados. À medida que os indivíduos eram sorteados, estes eram excluídos da matriz principal.

Figura 34 – Ferramenta de análise Amostragem pertencente ao Excel.

Foram criadas nove agrupamentos dos trechos combinados em pares, adotando-se o critério de que cada indivíduo avalie um trecho correto e outro com falha. Em seguida realizou-se o sorteio para determinar a combinação de trechos pertencente a cada grupo. Para esta tarefa utilizou-se a função Amostragem, usada anteriormente. Sendo assim cada grupo sorteado avalia dois trechos e 30 indivíduos avaliam o mesmo trecho em combinações diferentes.

A Tabela 1 apresenta o resultado dos sorteios dos trechos correspondentes a cada grupo.

Tabela 1 – Grupos e Trechos correspondentes a avaliar nos testes.

Grupos	Trechos a Avaliar	
G 1	C	2
G 2	C	1
G 3	B	1
G 4	B	3
G 5	B	2
G 6	A	1
G 7	A	2
G 8	A	3
G 9	C	3

5.2.2 Trechos

O ponto de partida para um projeto viário é o terreno e com a utilização de softwares de projeto viário automatizados, os modelos digitais de terreno (MDT) tornaram-se peças fundamentais na concepção do projeto.

O modelo digital de terreno deve ser gerado a partir de levantamentos topográficos, elementos vetorizados, dados fotogramétricos, mapas digitais, dentre outros.

Neste trabalho o modelo digital de terreno foi criado a partir de mapa digital 3D utilizado na disciplina PTR-2378 em atividades práticas, sendo composto por dados cartográficos digitalizados (curvas de níveis, pontos cotados, sistema viário, etc) que foram convertidos para o formato de arquivo cartográfico (KAR) aceito pelo software CLIP.

Apesar de a cartografia ter sido utilizada na disciplina, a escolha se deveu ao fato dos alunos não terem acesso à visualização 3D da área, pois durante a execução do trabalho prático em sala de aula, o software os limita a projetarem no espaço bidimensional.

Com o software CLIP criaram-se três alinhamentos horizontais com dois greides cada. Os alinhamentos horizontais foram combinados com primeiro greide e em seguida combinado com o segundo greide. Associando à seção transversal resultou nos trechos A e 1. O mesmo procedimento é realizado para os trechos B e 2; e trechos C e 3, totalizando seis combinações. Sendo assim, os trechos foram pareados e organizados da seguinte forma: trechos A e 1, trechos B e 2 e trechos C e 3.

Os trechos A, B e C apresentam correta coordenação entre alinhamento horizontal e vertical, enquanto que nos trechos 1, 2 e 3 foram inseridas distorções propositais no perfil vertical, causando deficiência entre os alinhamentos e, por conseguinte, apresentando problemas na distância de visibilidade. Os relatórios dos alinhamentos horizontal e vertical de todos os trechos são relacionados no Apêndice C.

Os trechos A (Figura 35) e 1 (Figura 36) possuem uma extensão de 1517 metros.

Figura 35 – Planta, perfil e perspectiva do trecho A.

No perfil do Trecho 1 (Figura 36) é possível visualizar a presença de sequência de curvas côncavas e convexas gerando uma condição desfavorável e prejudicial a visão do motorista similar a um salto, devido ao ocultamento parcial do percurso (Figura 37).

Figura 36 - Planta, perfil e perspectiva do trecho 1.

Figura 37 – Deficiência no Trecho 1: salto.

Os trechos B (Figura 38) e 2 (Figura 39) compõem-se em uma extensão de 917 metros.

Figura 38 - Planta, perfil e perspectiva do trecho B.

No greide do trecho 2 (Figura 39) a curva horizontal é mascarada na inflexão da curva convexa, não dando condições ao motorista de avaliar o direcionamento do percurso, criando uma condição perigosa (Figura 40).

Figura 39 - Planta, perfil e perspectiva do trecho 2.

Figura 40 – Deficiência no Trecho 2: mergulho.

O trecho C (Figura 41) possui extensão de 522 metros e o trecho 3 (Figura 42) com 680 metros de extensão, sendo o único com percurso no sentido inverso do eixo, apresenta boa coordenação entre os alinhamentos, contudo existe problema na distância de visibilidade.

Figura 41 - Planta, perfil e perspectiva do trecho C.

Figura 42 - Planta, perfil e perspectiva do trecho 3.

Na Tabela 2 são apresentadas as extensões dos trechos com seus respectivos tempos de execução de vídeo.

Tabela 2 – Trechos por extensão e tempo de execução.

Trechos	Extensão (m)	Tempo de Execução
A	1517	1m 31s
B	917	55s
C	522	32s
1	1517	1m 30s
2	917	52s
3	680	36s

5.2.3 Configurações dos Vídeos

No software configurou-se as opções a utilizar na renderização dos vídeos, como texturas, cores, visibilidade, distância máxima de visão e textos de informações que serão exibidos durante o percurso, quilometragem, velocidade de percurso, zoom de visualização e nome do trecho (Figura 43).

Figura 43 – Opções de Representação 3D do software CLIP.

As cores basearam-se no sistema RGB (*Red, Green, Blue*), aplicação comum em telas de computador onde cada pixel na tela pode ser representado no computador com valores para vermelho, verde e azul, reproduzindo nos displays com fidelidade. Propriedades como saturação e brilho não foram especificados, por não representar diferenças significativas.

A pista foi definida com textura de asfalto em cor cinza claro, conforme exibido na Figura 44, essa combinação faz com que haja uma melhor aparência das linhas de bordo, que não podem ser alteradas para uma cor como amarela, por exemplo.

Figura 44 – Textura e cor da pista

Partindo do princípio de visão pré-consciente e tomando como base situações supostamente presenciadas pelos avaliadores, a exemplo de viagens em rodovias definimos as texturas e cores a serem utilizadas no *drive through*. No entanto, em um projeto rodoviário, normalmente os taludes de corte e aterro são projetados com cobertura em grama para evitar erosões. Na visualização a ser exibida nos testes, optamos por adotar taludes similares a terra sem grama, criando um contraste maior com a pista, com o intuito de ressaltar o percurso a ser visualizado.

Nos taludes foi utilizada a textura areia com cor bege claro, conforme Figura 45.

Figura 45 – Textura e cor dos taludes

O software ainda apresenta opção para definir as cores de terreno e céu; contudo não inclui opção para textura desses elementos. Sendo assim, as cores adotadas foram escolhidas sempre com a intenção de criar um contraste com a pista e não desviar a atenção do avaliador (Figura 46 e Figura 47).

Figura 46 – Cor do Terreno

Figura 47 – Cor do Céu.

Outra opção a ser configurada para geração dos arquivos de vídeo, refere-se aos parâmetros para definição do percurso (Figura 48). Conforme descrito anteriormente, a AASHTO adota atualmente a altura do observador em 1,07m e a altura do objeto

de visibilidade de 0,60m portanto por segurança utilizou-se os mesmos parâmetros. Para velocidade de percurso adotou-se uma velocidade automática de 60Km/h com simulação de condução normal, no sentido crescente do alinhamento horizontal.

Figura 48 – Configurações do percurso do software CLIP.

A Figura 49 apresenta a composição resultante das combinações de textura e cores escolhidas e parâmetros para o percurso do trecho.

Figura 49 – Composição final de texturas e cores utilizadas nos vídeos.

Após a definição dos elementos geométricos e especificação dos parâmetros de cor, textura e dados do percurso, criou-se a vista tridimensional que possibilita percorrer o trecho a partir do ponto de vista do motorista e exportar este percurso (*drive through*) para um arquivo multimídia no formato *Audio Video Interlave* (AVI) – que faz parte da tecnologia do sistema operacional, independente do software.

5.2.4 Aplicação dos testes

Para aplicação dos testes foi desenvolvida uma interface (Apêndice D) para facilitar o direcionamento do aluno aos vídeos dos trechos de cada grupo. Esta interface foi elaborada no programa Power Point e em todas as telas foram disponibilizados botões de navegação, posicionados na parte inferior, dando a possibilidade do participante finalizar o teste ou retornar à tela inicial.

Ao clicar no botão correspondente ao seu grupo, o avaliador é direcionado aos trechos a serem analisados. No término da avaliação, ao clicar no botão Fim, a interface é reiniciada e está pronta para o próximo avaliador.

Para evitar problemas de compatibilidade com versões de aplicativos, foi instalado em cada máquina o visualizador Power Point Viewer que permite utilizar arquivos elaborados em versões recentes sem que haja a necessidade de instalação do software.

Antes da aplicação dos testes os alunos receberam orientações de procedimentos a serem adotados durante a avaliação como: composição do questionário de avaliação e atenção ao marcar o trecho avaliado corretamente, o tempo de duração de 10 minutos para realização do teste; havendo necessidade, o avaliador poderia rever o vídeo sendo necessário apenas clicar sobre o mesmo; a importância de assistir somente aos vídeos que pertenciam ao grupo do avaliador; caso ocorressem paradas durante a exibição dos vídeos, este tipo de ocorrência não deveria ser considerado como falha no projeto, mas problemas devido à placa de vídeo; caso houvesse falha em algum computador o avaliador deveria informar ao pesquisador para substituição da máquina. Porém, foram registrados apenas dois problemas de travamento de máquina, e os alunos foram realocados para conclusão dos testes.

A avaliação foi realizada por dois grupos simultaneamente, sendo dispostos em filas alternadas para que não houvesse influência do avaliador ao lado. Para efeito de controle das atividades todo o teste foi registrado em vídeo, contudo as informações coletadas não foram incorporadas a presente pesquisa, pois tinham apenas o intuito de inibir condutas inadequadas durante a realização dos testes.

O tempo de realização dos testes foi cronometrado para que não excedesse o tempo limite de 10 minutos. Os indivíduos realizaram o teste de avaliação dos trechos em 04 minutos em média, o que leva a crer que a maioria assistiu ao vídeo de cada trecho apenas uma vez.

Figura 50 – Aplicação dos testes de visualização no Laboratório de Tecnologia e Informação em Transportes (LTIT), do Departamento de Engenharia de Transportes da Escola Politécnica da USP.

6 ANÁLISE ESTATÍSTICA E RESULTADOS

Este capítulo relata o resultado de testes do uso de ferramentas de visualização na detecção de deficiências em projeto geométrico, utilizando *drive through's* de trechos projetados, avaliados por estudantes.

6.1 DESCRIÇÃO DA AMOSTRA

Inicialmente, a amostra seria composta pela totalidade de alunos inscritos na disciplina com 98 estudantes. Porém, devido à desistência durante o curso, faltas e outros contratemplos, participaram da pesquisa 82 estudantes, sendo 62 homens e 20 mulheres, todos numa faixa etária similar, informação que não foi relevante nesta avaliação.

De posse dos testes, foram verificados quais seriam relevantes para o estudo em questão, sendo descartados apenas 3 questionários equivalente a 3,7% da amostra, não prejudicando a análise final do trabalho. Os critérios utilizados para descarte dos testes foram: o participante não preencheu todas as questões da primeira etapa do questionário ou o participante não marcou no lugar indicado os trechos avaliados.

A amostra final distinta por gênero é apresentada na tabela a seguir.

Tabela 3 – Tamanho da amostra por gênero.

Gênero	Qtde	Percentual
Masculino	61	77%
Feminino	18	23%
Total	79	100%

Em virtude das desistências durante o curso e não comparecimento no teste de visualização, alguns grupos não obtiveram a quantidade prevista de participantes, que seria de 10 pessoas por grupo. Sendo assim, os nove grupos formados são compostos em média por 9 pessoas.

Tabela 4 – Tamanho da amostra por grupo.

Trechos Avaliados	Qtde de Participantes
A e 1	10
A e 2	8
A e 3	10
B e 1	8
B e 2	9
B e 3	9
C e 1	7
C e 2	9
C e 3	9

Apesar da disponibilidade de apenas uma turma para a realização dos testes, acredita-se que o tamanho da amostra é adequado para a análise dos resultados obtidos.

6.2 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os questionários foram tabulados em planilha do Excel e com base nos dados coletados, hipóteses foram testadas: (1) o resultado da avaliação dos trechos independe do gênero; (2) os resultados da avaliação dos trechos não é influenciada pelo fato de dirigir com frequência; (3) a taxa de acertos dos trechos corretos é igual; (4) a taxa de acertos dos trechos com deficiências é igual; (5) a taxa de acertos das combinações dos trechos é igual; (6) a taxa de erros independe da combinação de trechos avaliada; (7) a probabilidade de errar o trecho com deficiência independe de acertar o trecho correto; (8) a probabilidade de acertar o trecho com deficiência independe de errar o trecho correto.

Para responder a estes questionamentos, análises descritivas e testes foram realizados.

6.3 Descritiva

Frequência relativa e absoluta, onde a frequência absoluta está associada ao número de vezes que um valor da variável é citado, e a frequência relativa é determinada em porcentagem, através da relação entre a frequência absoluta da variável e o somatório dos valores citados.

6.4 Teste Qui Quadrado de Independência

Nesta pesquisa o teste Qui Quadrado foi utilizado para analisar a relação de dependências entre as variáveis avaliadas.

Qui Quadrado, simbolizado por χ^2 , é um teste de hipóteses que se destina a encontrar um valor da dispersão para duas variáveis nominais, e avaliar a associação existente entre variáveis qualitativas.

É um teste não paramétrico, ou seja, não depende de parâmetros populacionais, como média e variância.

O princípio básico deste método é comparar proporções, isto é, as possíveis divergências entre as frequências observadas e esperadas para certo evento.

Evidentemente, pode-se dizer que dois grupos se comportam de forma semelhante se as diferenças entre as frequências observadas e as esperadas em cada categoria forem muito pequenas, próximas à zero. Portanto, o teste é utilizado para verificar se a frequência com que um determinado acontecimento observado em uma amostra se desvia significativamente ou não da frequência com que ele é .

Karl Pearson propôs a seguinte fórmula para medir as possíveis discrepâncias entre proporções observadas e esperadas:

$$\chi^2 = \sum [(o - e)^2 / e]$$

Onde:

o = frequência observada para cada classe,

e = frequência esperada para aquela classe.

Note-se que $(o - e)$ = desvio (d), portanto a fórmula também pode ser escrita como:

$$\chi^2 = \sum (d^2 / e)$$

Percebe-se que as frequências observadas são obtidas diretamente dos dados das amostras, enquanto que as frequências esperadas são calculadas a partir destas.

É importante notar que o desvio $d = (o - e)$ é a diferença entre a frequência observada e a esperada em uma classe. Quando as frequências observadas são muito próximas às esperadas, o valor de χ^2 é pequeno. Mas, quando as divergências são grandes $(o - e)$ passa a ser também grande e, conseqüentemente, χ^2 assume valores altos.

Duas hipóteses podem se testadas:

- Hipótese nula: As frequências observadas **não são** diferentes das frequências esperadas. Não existe diferença entre as frequências (contagens) dos grupos. Portanto, não há associação entre os grupos;
- Hipótese alternativa: As frequências observadas **são** diferentes das frequências esperadas, portanto existe diferença entre as frequências. Portanto, há associação entre os grupos.

É necessário obter duas estatísticas denominadas χ^2 calculado e χ^2_c tabelado (Tabela de χ^2_c para consulta no Apêndice E).

As frequências observadas são obtidas diretamente dos dados das amostras, enquanto que as frequências esperadas são calculadas a partir destas. Assim, o χ^2 calculado é obtido a partir dos dados experimentais, levando-se em consideração os valores observados e os esperados, tendo em vista a hipótese. Já o χ^2 tabelado depende do número de graus de liberdade e do nível de significância adotado.

A tomada de decisão é feita comparando-se os dois valores de χ^2 :

- Se χ^2 calculado $>$ ou $= \chi^2_c$ tabelado: Rejeita-se H_0 .
- Se χ^2 calculado $< \chi^2_c$ tabelado: Aceita-se H_0 .

Quando se consulta a tabela de χ^2_c observa-se que é determinada uma probabilidade de ocorrência daquele acontecimento.

Portanto, rejeita-se uma hipótese quando a máxima probabilidade de erro ao rejeitar aquela hipótese for baixa (α baixo) ou, quando a probabilidade dos desvios terem ocorrido pelo simples acaso é baixa.

O nível de significância (α) representa a máxima probabilidade de erro que se tem ao rejeitar uma hipótese.

O número de graus de liberdade (G.L.), nesse caso é assim calculado:

G.L. = número de classes - 1

É evidentemente, que quanto maior for o valor do χ^2 mais significativa é a relação entre a variável dependente e a variável independente.

Em casos em que se deseja verificar se uma característica se distribui igualmente entre os sexos, ou em classes sociais, ou em diferentes grupos raciais, ou em grupos etários, ou em localizações geográficas.

Note-se que não existe um modo de calcular os esperados. Nesses casos constrói-se uma tabela de contingência.

Sendo assim, as hipóteses a serem testadas são:

- Hipótese nula (H_0): Não há associação entre os grupos, ou seja, as variáveis são independentes.
- Hipótese alternativa: Há associação entre os grupos, ou seja, as variáveis são dependentes.

A frequência esperada em cada classe é calculada pela multiplicação do total de sua coluna, pelo total de sua linha, dividindo-se o produto pelo total geral da tabela (N).

$E = \text{total marginal da linha} \times \text{total marginal da coluna} / \text{total (N)}$

O número de graus de liberdade, quando os dados estão em tabela de contingência é assim calculado:

G.L. = número de linhas - 1 x número de colunas - 1

A tomada de decisão é feita da mesma forma, comparando-se dois valores de χ^2 , calculado e tabela.

6.5 Correção de Yates

Ao aplicar o teste de χ^2 supõe-se que o tamanho das amostras seja "grande", mas em situações práticas, o valor de χ^2 calculado é aproximado, pois se utiliza de amostras de tamanho finito e o valor da frequência observada só assume valores inteiros.

Quando se obtém um valor de χ^2 significativo, mas nota-se que a amostra é pequena e/ou que a frequência esperada em uma das classes é pequena (tipicamente, quando for menor que 5) a fórmula de obtenção de χ^2 poderá produzir um valor maior que o real.

Alguns autores, entre eles Ronald Fisher, recomendam que o teste de χ^2 pode ser usado se o número de observações em cada célula da tabela for maior ou igual a 5 e a menor frequência esperada for maior ou igual a 5.

Em caso contrário, em cada classe deve ser utilizada a correção de Yates:

$$\chi^2 = \sum [(|o - e| - 0,5)^2 / e]$$

Evidentemente, não é preciso usar a correção de Yates se o valor de χ^2 obtido for menor que χ^2_c , pois o novo valor será menor que o primeiro, continuando a não ser significativo.

Apesar do assunto ser controverso, de modo geral, usa-se a correção de Yates quando:

- o valor de Qui Quadrado obtido é maior que o crítico e
- o valor de N é menor que 40 ou
- há pelo menos uma classe com número de esperados menor que 5.

6.6 Teste Exato de Fisher

Em amostras pequenas o erro do valor de χ^2 é alto e, portanto, o teste não é recomendável.

Ronald Fisher apresentou outro teste que permite calcular a probabilidade de associação das características que estão em análise, ou seja, a probabilidade de tais características serem independentes, quando o número total de dados é pequeno.

De modo geral, usa-se o Teste exato de Fisher quando:

- o valor de $N < 20$ ou
- $20 < N < 40$ e a menor frequência esperada for menor que 5.

A análise do teste de Fisher é feita como a de χ^2 .

6.7 RESULTADOS

Para testar as hipóteses formuladas fez-se necessário analisar a relação de independência entre os resultados obtidos e variáveis diferentes, comparando as frequências observadas e esperadas. Utilizou-se o teste do Qui Quadrado de independência considerando um intervalo de confiança de 95% ($\alpha = 5\%$).

Para o teste de **hipótese nula 1**, foram analisados os dados apresentados na Tabela 5, dispostos pelo resultado de cada trecho avaliado por gênero, sem levar em consideração a combinação avaliada.

Tabela 5 – Tabela de contingência dos resultados por gênero.

Sexo	ACERTOS		ERROS		Total Observada
	Observada	Esperada	Observada	Esperada	
Masculino	89	84,9	33	37,1	122
Feminino	21	25,1	15	10,9	36
Total	110		48		158

Com base nos dados acima o χ^2 é igual a 2,81 e o valor crítico para $\alpha = 5\%$ com grau de liberdade 1, é de $\chi^2_c = 3,84$. Sendo $\chi^2 < \chi^2_c$ aceita-se a hipótese nula 1 concluindo que o gênero não influencia o resultado obtido na avaliação dos trechos.

Na primeira parte do questionário, as informações coletadas a cerca dos avaliadores tem o intuito de verificar a influência de determinados comportamentos sobre o resultado da avaliação, caso houvesse discrepância entre os alunos como, por exemplo, que a experiência em visualização facilitasse os acertos durante os testes. No entanto, conforme resultados dispostos na Tabela 6 a amostra não apresentou relevante diferença entre os grupos. Com destaque apenas para o grupo que dirige e não dirige com frequência, com 76% do total da amostra alegar dirigir com frequência.

Tabela 6 – Informações dos avaliadores.

Informações dos Avaliadores	Sim	%	Não	%
Experiência de Visualização	75	95%	4	5%
Condutor de Veículo	69	87%	10	13%
Dirige com frequência	60	76%	19	24%
Conhecimentos de Coordenação Alinhamento Horizontal e Vertical	70	89%	9	11%
Conhecimentos de Distância de Visibilidade	77	97%	2	3%

Para o teste de **hipótese nula 2** avaliou-se a possibilidade dos resultados obtidos terem associação entre os avaliadores que dirigem ou não dirigem com frequência, independente dos trechos avaliados e quantidade de acertos das avaliações. A Tabela 7 apresenta os resultados das frequências observadas e esperadas utilizadas para análise de independência.

Tabela 7 – Tabela dos acertos e erros x dirige com frequência.

Dirige com Frequência?	ACERTOS		ERROS		Total Observada
	Observada	Esperada	Observada	Esperada	
SIM	91	83,5	29	36,5	120
NÃO	19	26,5	19	11,5	38
Total	110		48		158

De acordo com os dados acima χ^2 é igual a 9,11 e o valor crítico para $\alpha = 5\%$ com grau de liberdade 1, é de $\chi^2_c = 3,84$. Sendo assim, rejeita-se a hipótese nula 2 concluindo que há influência o fato do avaliador dirigir ou não dirigir com frequência.

Em seguida, analisaram-se os trechos independentes de suas combinações para averiguar uma possível relação entre os acertos e erros resultantes das avaliações.

O Gráfico 1 ilustra o desempenho do teste de visualização por trecho, enfatizando os acertos e erros durante a avaliação. Em uma análise quantitativa, dentre os trechos corretos, o trecho **A** obteve mais acertos e entre os trechos com deficiência, o trecho **3**, foi o que se destacou em número de acertos. Em relação aos trechos com mais erros: o trecho **C** foi o que apresentou pior desempenho entre os corretos e o trecho **2** entre os com deficiência no projeto.

Gráfico 1 – Resultado dos testes por Trecho.

Para o teste de **hipótese nula 3** fez-se necessário analisar a relação de dependência entre os acertos e erros dos trechos corretos. A

Tabela 8 apresenta as frequências observadas e esperadas dos trechos corretos (A, B e C).

Tabela 8 – Tabela de contingência dos trechos A, B e C.

Trechos	ACERTOS		ERROS		Total Observada
	Observada	Esperada	Observada	Esperada	
A	24	19,5	4	8,5	28
B	18	18,1	8	7,9	26
C	13	17,4	12	7,6	25
Total	55		24		79

Com base nos dados acima o χ^2 é igual a 7,10. Porém, ainda que a amostra seja maior que 40, um dos resultados da tabela apresenta valor menor que 5, então é feita a Correção de Yates, obtendo-se o $\chi^2 = 5,62$. O valor crítico para $\alpha = 5\%$ com grau de liberdade 2, é de $\chi^2_c = 5,99$.

Como χ^2 é maior que χ^2_c , rejeita-se a hipótese nula 3 e portanto não há dependência da taxa de acertos dos trechos corretos..

Para a **hipótese nula 4**, o teste Qui Quadrado é aplicado apenas aos trechos com erros para avaliar a dependência dos resultados.

A Tabela 9 de contingência apresenta as frequências observadas e esperadas para os trechos com deficiência na geometria.

Tabela 9 – Tabela de contingência dos trechos 1, 2 e 3.

Trechos	ACERTOS		ERROS		Total Observada
	Observada	Esperada	Observada	Esperada	
1	18	17,4	7	7,6	25
2	14	18,1	12	7,9	26
3	23	19,5	5	8,5	28
Total	55		24		79

A partir dos dados apresentados o χ^2 é igual a 5,20. Neste caso, não houve necessidade da Correção de Yates, pois o menor valor observado é igual a 5. O valor crítico para $\alpha = 5\%$ com grau de liberdade 2, é de $\chi^2_c = 5,99$. Conclui-se que a hipótese nula 4 não pode ser rejeitada, havendo uma relação de dependência entre os erros e acertos e o trecho avaliado.

A próxima análise teve como objetivo verificar as combinações dos trechos avaliadas pelos participantes. Os resultados são apresentados nos gráficos 2, 3 e 4 que ilustram os desempenhos dos grupos.

Como todos os participantes avaliaram dois trechos, definiu-se uma legenda com o seguinte critério:

- **Todos:** equivalem aos participantes que acertaram os dois trechos;
- **Nenhum:** participantes que não acertaram nenhum trecho;
- **Acertou T1:** os participantes acertaram somente o primeiro trecho, ou seja, o trecho correto;
- **Acertou T2:** os participantes acertaram somente o segundo trecho, ou seja, o trecho que apresenta deficiências.

Em uma análise quantitativa, entre as combinações formadas a partir do trecho A, levando em consideração a quantidade de acertos, a combinação dos trechos A e 3 foi a que obteve melhor resultado.

Gráfico 2 – Resultado dos testes das Combinações do Trecho A.

Nas combinações do trecho B, a que mais se destacou foram os trechos B e 3, obtendo maior número de acertos e menos erros em relação aos demais.

Gráfico 3 – Resultado dos testes das Combinações do Trecho B.

Na análise das combinações obtidas do trecho C, a que apresentou melhor desempenho foram os trechos C e 1, com mais acertos e menos erros durante a avaliação.

Gráfico 4 – Resultado dos testes das Combinações do Trecho C.

De posse desses resultados, as próximas hipóteses testadas se referem às combinações utilizadas durante os testes, analisando uma possível dependência entre as combinações e os resultados obtidos.

Para o teste de **hipótese nula 5** foram analisados os dados da Tabela 10 com os resultados do teste de visualização onde os participantes identificaram perfeitamente os trechos corretos e com deficiência, avaliando se a taxa de acertos independe da combinação avaliada.

Tabela 10 – Tabela de contingência dos trechos Certos x Certos

Trechos	1		2		3		Total
	Observ.	Esperada	Observ.	Esperada	Observ.	Esperada	Observ.
A	7	7,1	5	5,3	8	7,6	20
B	4	5,3	5	4,0	6	5,7	15
C	5	3,6	2	2,7	3	3,8	10
Total	16		12		17		45

O valor do χ^2 é igual a 1,57 e o valor crítico para $\alpha = 5\%$ com grau de liberdade 4, é de $\chi^2_c = 9,49$. Apesar de existir valores observados menores que 5, não aplicamos a Correção de Yates pois o novo valor de χ^2 corrigido tende a ser menor que o primeiro.

Com isso, aceita-se a hipótese nula 5 concluindo que não há dependência entre os acertos e as combinações testadas.

A seguir é feita a análise dos resultados em que todos os participantes erraram os dois trechos avaliados durante o teste de visualização.

Neste caso, entre os valores observados encontram-se valores zero, sendo assim, é aplicado o Teste Exato de Fisher para testar a **hipótese nula 6**, com o intuito de avaliar se a taxa de erros independe da combinação avaliada.

Tabela 11 – Tabela de frequência dos trechos Errados x Errados

Trechos	Observadas			Total
	1	2	3	
A	0	1	1	2
B	2	2	1	5
C	1	4	2	7
Total	3	7	4	14

Com base nos dados acima o valor do $P_{(\text{calculado})}$ é igual a 5,24%, como esse valor é maior que $\alpha = 5\%$ então admite-se que os resultados obtidos são independentes das combinações realizadas, embora a variação da probabilidade resultante seja muito pequena. Analisando quantitativamente, a única combinação que não apresentou erros na avaliação foram os trechos A e 1, pode-se atribuir ao fato de que a falha de coordenação entre os alinhamentos esteja bem evidente e de fácil detecção através do *drive through* do trecho 1. Ressaltando, que o trecho A é par do trecho 1, ou seja no trecho 1 foi alterado o greide, inserindo falha entre os alinhamentos.

Para o teste de **hipótese nula 7**, são analisados os resultados obtidos na Tabela 12 onde os participantes avaliaram corretamente somente o trecho correto (A, B e C) e erraram a análise do segundo trecho (1, 2, 3).

Tabela 12 – Tabela de frequência dos trechos Certos x Errados

Trechos	Observadas			Total
	1	2	3	
A	2	2	0	4
B	1	2	0	3
C	1	1	1	3
Total	4	6	1	10

A partir dos dados apresentados obteve-se o valor do $P_{(\text{calculado})}$ igual a 8,57%, sendo este valor maior que $\alpha = 5\%$, com isso rejeita-se a hipótese nula 7 admitindo-se a relação entre os resultados e as combinações é casual, não havendo dependência. Porém, devido a amostra avaliada é muito pequena, não é significativa o suficiente para afirmação de independência entre os resultados e a combinação dos trechos avaliados.

Na próxima análise, a **hipótese nula 8** é testada para averiguar a dependência entre os resultados dos participantes que erraram o primeiro trecho (A, B ou C) e avaliaram corretamente o segundo trecho (1, 2 ou 3).

Tabela 13 – Tabela de frequência dos trechos Errados x Certos.

Trechos	Observadas			Total
	1	2	3	
A	1	0	1	2
B	1	0	2	3
C	0	2	3	5
Total	2	2	6	10

O valor obtido do $P_{(\text{calculado})}$ é igual a 4,76%, sendo este valor menor que $\alpha = 5\%$ assim, a hipótese de independência é rejeitada nesse caso. Embora a diferença entre a probabilidade calculada e a crítica ser muito pequena.

Ao fazer uma análise quantitativa, pode-se perceber que nesta combinação de resultados, o trecho 3 foi o que obteve mais acertos e o trecho C o que mais resultou em erros.

A partir de uma análise geral dos resultados observou-se que 57% (45 indivíduos) avaliaram corretamente os dois trechos, representando um bom desempenho no resultado final dos testes de visualização.

Gráfico 5 - Resultados dos testes de visualização por resultado.

7 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

7.1 CONCLUSÕES

No projeto de rodovia, as estradas são geralmente definidas por um conjunto de geometrias, ou seja, horizontal, vertical, e seções transversais. A fim de evitar possíveis erros de projeto geométrico causados por processamento separado e posterior sobreposição dos planos, ferramentas de visualização como vista em perspectivas ou *drive throughs* podem ser utilizadas para analisar a combinação resultante destes elementos.

Sendo assim, a motivação para esta pesquisa conduziu à realização de um teste de visualização, utilizando *drive through* de trechos para avaliar o uso de ferramentas de visualização na detecção de falhas na coordenação entre os alinhamentos horizontal e vertical.

A decisão de utilizar *drive through* para os testes se deu ao fato do software CLIP, disponibilizado para a pesquisa, gerar percursos de projetos processando os dados de alinhamento horizontal, vertical e seção transversal sobre o modelo digital de terreno do ponto de vista do condutor, de forma prática e instantânea. Dando a possibilidade de exportação para um arquivo independente, em formato AVI. Esta interface permitiu realizar todos os testes em aproximadamente duas horas, com intervalos entre os grupos.

Em primeiro lugar, avaliou-se a relação entre os resultados e o gênero do participante. A análise concluiu que não há associação entre o resultado obtido na avaliação dos trechos e o gênero do avaliador. Este resultado contradiz estudos apresentados na literatura, contudo, esta situação pode ser atribuída ao fato do público feminino diferenciado que participou dos testes. As alunas de engenharia têm uma visão mais abrangente no que tange o assunto projeto geométrico, e isto pode ter contribuído para os resultados positivos em relação a gênero.

Outro fator analisado consistiu em verificar a influência dos resultados em relação ao fato do participante dirigir ou não com frequência. A análise mostrou que o resultado

dos testes pode ter sido influenciado por esta variável, pois as frequências esperadas se afastam das observadas. Esta condição era de se esperar visto que o nível de experiência na direção é um fator a ser considera relevante durante uma avaliação do percurso do trecho.

As demais hipóteses levaram em conta os resultados dos testes, independente da combinação avaliada, analisando os trechos com boa coordenação (A, B e C) e em seguida os trechos com deficiência (1, 2 e 3).

Os resultados decorrentes da avaliação dos trechos com boa coordenação mostraram que não há associação entre resultados (acertos ou erros) e o trecho avaliado. Analisando a frequência de acertos entre os três, o trecho A obteve o maior número de acertos e o trecho C o menor número de acertos.

Ao analisar os resultados trechos com deficiência na coordenação (1, 2 e 3) ocorre a mesma situação obtida anteriormente ao avaliar os trechos com boa coordenação. Os cálculos resultantes rejeitam a hipótese de que haja uma associação entre os resultados de acertos e erros em relação ao trecho avaliado. Observando as a frequência de acertos entre os três, o trecho 3 obteve o maior número de acertos e o trecho 2 o menor número de acertos.

Dentre o número de acertos dos trechos com deficiência, esperava-se que o trecho 1 obtivesse **maior** número de acertos por apresentar deficiência na coordenação entre os alinhamentos, com um efeito de mergulho logo no início da visualização e que o trecho 3 apresentasse **menor** número de acertos, pois apresenta problema na distância de visibilidade, que não é fácil de detectar através da visualização, principalmente por ter sido omitido o texto que destacava ao longo do percurso o valor da distância de parada. Dentre as possíveis explicações para este resultado pode-se pensar que talvez a combinação de trechos avaliada tenha influenciado os resultados.

Outra questão verificada tratou dos resultados obtidos em relação às combinações avaliadas, analisando-os separadamente por tipos de acertos: certo x certo (acertou os dois trechos), errado x errado (não acertou nenhum trecho), certo x errado (acertou o primeiro trecho e errou o segundo) e errado x certo (errou o primeiro trecho e acertou segundo).

Analisando os resultados dos acertos entre os trechos com boa coordenação e os acertos entre os trechos com deficiência, constatou-se que não há associação entre os acertos e as combinações dos trechos, concluindo-se que os desvios não são significativos, portanto, não existe uma combinação ideal entre os trechos que conduza a um melhor desempenho durante a avaliação.

As próximas três análises levaram em consideração a probabilidade de associação entre os resultados e trechos avaliados.

Analisando os erros resultantes da avaliação entre as combinações de trechos, admite-se que não há associação entre os erros da avaliação e as combinações analisadas, deduzindo que ocorreu uma casualidade nos resultados. Analisando quantitativamente, a única combinação que não apresentou erros na avaliação foram os trechos A e 1, pode-se atribuir ao fato de que a falha de coordenação entre os alinhamentos esteja bem evidente e de fácil detecção através do *drive through* do trecho 1. Ressaltando, que o trecho A é par do trecho 1, ou seja no trecho 1 foi alterado o greide, inserindo falha entre os alinhamentos.

Na análise seguinte avaliaram-se os resultados em que os participantes consideram certo o primeiro trecho, mas identificaram como errado o segundo trecho. Com base na probabilidade obtida pode-se afirmar que a associação entre os resultados é casual, não havendo relação entre o resultado e a combinação avaliada.

Na última hipótese foram avaliados os resultados em que os participantes consideraram errado o primeiro trecho e avaliaram como certo o segundo trecho. A probabilidade resultante destes dados conduz a afirmar que os resultados obtidos não foram casuais. Pode-se perceber ainda que nesta combinação de resultados, o trecho 3 foi o que obteve mais acertos e o trecho C o que mais resultou em erros.

No entanto, as amostras disponíveis para as hipóteses que analisaram os resultados de “certo x errado” e “errado x certo” foram pequenas, contendo apenas 10 resultados em cada, não sendo significativas para embasar a rejeição ou aceitação das hipóteses formuladas. Adicionalmente, como o questionário de avaliação dispunha de apenas duas alternativas, os participantes teriam 50% de chance de acertar caso optasse por utilizar uma única resposta para os dois trechos.

Não se pode afirmar que o indivíduo “chutou” a avaliação dos trechos, mas existe esta possibilidade, que pode ser atribuída à falta de comprometimento em relação a

sua participação na pesquisa, influenciando desta forma os resultados. Este tipo de comportamento pode estar vinculado ao fato de não haver uma obrigatoriedade na participação dos testes, ou não haver uma contribuição relevante para o conceito final de aprovação na disciplina.

De modo geral, pode-se afirmar que esta pesquisa aponta para resultados satisfatórios na detecção de falhas no projeto geométrico utilizando ferramentas de visualização, visto que mesmo não tendo acesso a nenhuma outra informação a respeito do projeto avaliado, 57% dos participantes avaliaram corretamente os trechos combinados. Supõe-se que a disponibilidade de outras informações que complementasse a análise, da mesma forma que é realizado em um projeto real, contribuiria para um melhor resultado no desempenho dos testes de visualização.

Acredita-se ainda que este tipo de ferramentas de visualização possa ser utilizado para o ensino e demonstração de conceitos de projeto geométrico de vias. A visualização do *drive through* pode se incorporada como ferramenta didática importante nesta atividade. Neste ponto, o software CLIP tem vantagem em relação ao desempenho da técnica utilizada, visto sua facilidade na utilização do programa e geração do produto final.

O perfil atual dos graduandos de engenharia civil, em especial da Escola Politécnica da USP que participaram da pesquisa, mostra que a maioria já teve contato com equipamentos que fazem uso de visualização tridimensional, como jogos eletrônicos, filmes em 3D, bem como outras atividades. Esta interação prévia é um passo para a utilização de novas tecnologias no processo de ensino-aprendizagem de engenharia, por não haver necessidade de alfabetizá-los digitalmente.

Atualmente a abordagem tradicional no ensino de engenharia não condiz com a realidade, exigindo abordagens mais contemporâneas e contextualizadas, que atendam às necessidades do momento. De modo algum, se menospreza o ensino de projeto geométrico a partir de uma visão bidimensional, mas acredita-se que a implementação de ferramentas de visualização tridimensional possam contribuir de forma significativa para o aprendizado e fixação do conteúdo repassado.

Uma das motivações em avaliar o uso de ferramentas de visualização é a possibilidade de introduzi-la como parte do curso de engenharia civil, auxiliando o

egresso a desenvolver a habilidade de visualização espacial voltada para a área de projeto geométrico.

No mercado, há uma tendência da utilização de ferramentas de visualização limitando-se ao processo de apresentação e consulta pública, porém é importante ressaltar que além de aumentar o envolvimento do público, a visualização permite que os engenheiros examinem os projetos a partir de múltiplos pontos de vista, incluindo alguns impossíveis de representar num plano bidimensional. Permitindo melhorar o planejamento e as diferentes etapas de desenvolvimento do projeto, até a fase de execução e acompanhamento da obra.

Com a disponibilidade de softwares, a exemplo do software utilizado neste trabalho e diversas tecnologias, espera-se que a visualização será mais frequentemente incorporada, não só na fase de consulta pública, mas também em todas as fases do projeto.

Enfim, as lições aprendidas durante o desenvolvimento desta pesquisa são valiosas para o desenvolvimento futuro de aplicações de visualização em diversos campos de transporte.

7.2 SUGESTÕES PARATRABALHOS FUTUROS

A pesquisa realizada não se apresenta como definitiva, mas levanta questões a investigar. Seguem algumas propostas:

- Planejar e aplicar novos testes de visualização com uma amostra significativa e com isso tentar comprovar estatisticamente as hipóteses testadas. Propõe-se a aplicação em 3 turmas da disciplina PTR-2378.
- Avaliar a eficácia da visualização aplicando os testes de visualização utilizando dados bidimensionais e ferramentas tridimensionais, em grupos distintos.
- Aplicar os testes de visualização como parte da nota da disciplina, evitando uma possível avaliação arbitrária dos alunos e

- Realizar uma avaliação qualitativa entre os participantes dos testes, de modo a complementar os resultados.
- Introduzir o uso de ferramentas de visualização no conteúdo programático da disciplina PTR-2378.

Acredita-se que o uso desse tipo de tecnologia venha contribuir para o repasse do conteúdo no curso de engenharia civil, preparando os egressos de forma atualizada para atividades que possam ingressar.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alexandre, D. S.; Tavares, J. M. R. S. **Factores da Percepção Visual Humana na Visualização de Dados**. CMNE/CILAMCE. Portugal. Junho, 2007.

Bella, F.; D'Agostini, G. **Driving Simulation for Design Consistency**. 4th International Symposium of Highway Geometric Design. Valencia. June 2–5, 2010.

Callisperis, O. J. T. **CAD para rodovias: O impacto das modelagens digitais do terreno e projeto**. Dissertação de Mestrado apresentado a Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Transportes. São Paulo, 2003.

Cantisani, G.; Vito, M. D. **SDS – Driving Tests on the New Sapienza Driving Simulator**. 3rd International Conference on Road Safety and Simulation. Indianapolis. USA. September, 2011.

CNT. **Confederação Nacional de Transporte**. Pesquisa CNT de Rodovias. 14 Edição. 2010.

DNER. Departamento Nacional de Estradas e Rodagem. **Manual para Projeto Geométrico de Rodovias Rurais**. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Diretoria de Desenvolvimento Tecnológico. Rio de Janeiro, 1999, 228 p.

DNIT. Departamento Nacional de Infraestrutura e Transportes. **Manual de Projeto Geométrico de Travessias Urbanas**. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Rio de Janeiro, 2010. 392p. (IPR. Publ.,740). 2010

Doug, E. D.; Gilson, K.; Brinckerhoff, P. **Advanced 3D/4D Modeling and Real-time Visualization in Transportation**. 5th International Visualization in Transportation Symposium and Workshop. 23–26 October, Denver, Colorado, EUA. 2006.

DTMR. Department of Transport and Main Roads. **Drafting and Design Presentation Standards Manual – A Guide to the Standards for Presentation of Road Infrastructure Projects covering the full preconstruction and construction delivery process**. Engineering & Technology Group. Brisbane, Australia. 3rd Edition, January 2010.

Garrick, N. W.; Miniutti, P.; Westa, M.; Luo, J.; Bishop, M. Effective Visualization Technique for the Public Presentations of Transportation Projects. The New England Transportations Consortium. NETC 48. July 2005.

Haeberling, C. **Cartographic Design Principles for 3D Maps – A Contribution to Cartographic Theory**. International Cartographic Conference. 9–16 Julho, Al Coruña, Espanha. 2005.

Han, K; Middleton, D.; Muzyczka, W. J.; Minty, S.; Clayton, A. **Developing Virtual Reality Visualizations to Support Highway Geometric Design**. 3rd International Symposium on Highway Geometric Design, June 29–July 1, 2005

Hobson, A.; Sparrow, M.; Shannon, T.; Brown, P. **Choosing the Right Visual Products**. PbNetwork. Vol. 70, Novembro 2009.

Janikula, T; Garrick, N. W. Three-Dimensional Visualization Approach to Illustration Esthetic Concepts for Highway Design. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board. Volume 1796. Pag 35-40. 2002.

Kühn, W.; Hendrick, V. **The new design work – place for the geometric design engineer**. 4th International Symposium on Highway geometric design. June 2, 2010. Valencia, Espanha. 2010.

Kühn, W.; Jha, M. K. **Using Visualization for the Design Process of Rural Roads**. 5th International Visualization in Transportation Symposium and Workshop. October 23–26, 2006, Denver, Colorado. 10p.

Lamm, R.; Psarianos, B.; Mailaender, T. **Highway Design and Traffic Safety Engineering Handbook**. McGraw-Hill. New York . 1999.

Manore, M. A. **Visualization in Transportation**. Transportation Research News. September–October. 2007.

Mertzanis, F. S.; Hatzi, V. J. **Model for sight distance calculation and three-dimensional alignment evaluation in divided and undivided highway**. 3rd International Conference on Road Safety and Simulation. Indianapolis. USA. September, 2011.

Paniati, J. F.; True, J. **Interactive Highway Safety Design Model (IHSDM): Designing Highways with Safety in Mind**. Conference Roadside Safety Issues Revisited. Transportation Research Circular. Nr 453. 1996.

Pinho, M. S.; Rebelo, I. B. **Interação em Ambientes Virtuais Imersivos. Fundamentos e Tecnologia de Realidade Virtual e Aumentada**. Livro do Pré-Simpósio VIII Symposium on Virtual Reality. Belém. Maio 2006.

Ros, G.A. **Visualização 3D de uma Imagem Digital**. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual Paulista (UNESP). Faculdade de Ciências e Tecnologia. Pós-Graduação em Ciências Cartográficas. Presidente Prudente. 2001

Sando, T.; Tory, M.; Irani, P. **Effects of Animation, User-Controlled Interactions, and Multiple Static Views in Understanding 3D Structures**. Symposium on Applied Perception in Graphics and Visualization, 2009, pp. 69–76.

SINTEF. The Driving Simulator. Acesso em 2011. Disponível em <http://www.sintef.no/home/Technology-and-Society/TransportResearch/laboratories/driving-simulator/>

Smith, B. L.; Lamm, R. **Coordination of Horizontal and Vertical Alingment with Regard to Highway Esthetic**. Transportation Research Record. Highway and Facility Design, Nr 1445, Washington, 1994.

Stanney, K. M. ; Mourant, R. R.; Kennedy, R. S. (1998). **Human Factors Issues in Virtual Environments: A Review of the Literature**. Vol 7, Nº 4, pag 327 – 351, August 1998.

Suzuki, C.; Alves, C.; Kabbach Junior, F. I. **Métodos para a avaliação da consistência de traçado de rodovias com duas faixas de tráfego**. Revista Engenharia (DER – 70 anos). 2004.

Taylor, M.; Moler, S. **Visualization's Next Frontier**. Public Roads. Federal Highway Administration, vol. 73, no. 4, Jan./Feb. 2010.

Tory, M.; Moller, T. **Human Factors In Visualization Research**. IEEE Transactions On Visualization And Computer Graphics, Vol. 10, Nº. 1, January/February 2004.

Tory, M; Kirkpatrick, A. E.; Atkins M. S.; Moeller, T. **Visualization Task Performance with 2D, 3D, and Combination Displays**. IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, vol. 12, no. 1, Jan./Feb. 2006, pp. 2–13.

Transportation Research Board. (2006). National Cooperative Highway Research Program (NCHRP): Visualization for Project Development – A Synthesis of Highway Practice. Washington, D.C., n. 361, 10 jun. 2006.

Visualization in Transportation — A Guide for Transportation Agencies.

American Association of State Highway and Transportation Officials Taskforce on Environmental Design, Washington, D.C. [Online]. 2003. Disponível em: <http://cms.transportation.org/sites/design/docs/VisualizationGuideJuly2003.pdf>.

Acesso em Maio/2010.

Zakowska, L. **Subjective Safety based on Simulated Road View Perception.** 3rd International Conference on Road Safety and Simulation. Indianapolis, USA. September, 2011.

Zimmermann, M.; Roos, R. **Quantitative methods for evaluation of spatial alignment of roads.** Publications of the Institute of Highway and Railroad Engineering, Universität Karlsruhe (TH). Vol. 51. Karlsruhe, Alemanha. 2001.

APÊNDICE A – Questionário de Avaliação de Recursos de Visualização

GRUPO: _____

1 Informações do Avaliador

NR USP _____

1.1. Nível de experiência	Estudante ()	Projetista ()
1.2. Sexo	Feminino ()	Masculino ()
1.3. Teve experiências com algum tipo de Visualização 3D (jogos como Wii, Filmes em 3D, etc)?	Sim ()	Não ()
1.4. Atualmente é condutor de veículo automotivo?	Sim ()	Não ()
1.5. Dirige com frequência (mais de 2x por semana)?	Sim ()	Não ()
1.6. Tem conhecimento dos conceitos teóricos sobre coordenação de alinhamento horizontal e vertical?	Sim ()	Não ()
1.7. Tem conhecimento dos conceitos teóricos sobre distância de visibilidade e distância de parada?	Sim ()	Não ()

2. Após assistir aos vídeos dos trechos marque com um X a opção de sua escolha referente a problemas de coordenação entre os alinhamentos horizontal e vertical e distância de visibilidade. *Atente ao trecho que o seu grupo assistiu.*

Trechos	Apresenta Problemas	Não Apresenta Problemas
Trecho A		
Trecho B		
Trecho C		

Trechos	Apresenta Problemas	Não Apresenta Problemas
Trecho 1		
Trecho 2		
Trecho 3		

Assinatura do Avaliador

APÊNDICE B – Termo de Consentimento Livre e Esclarecimento

Eu _____ concordo em participar de avaliação do uso de técnica de visualização (vídeos) aplicada a projeto geométrico da disciplina PTR2378 – Projeto de Infraestrutura de Vias de Transportes Terrestres.

Fui informado pelos responsáveis da atividade que sob, nenhuma hipótese, os participantes deste estudo terão seus nomes citados em qualquer meio de divulgação desta pesquisa. Garantido assim, sigilo quanto às informações coletadas que me identifiquem, assim como o uso dos dados apenas em publicações e eventos de natureza científica.

Estou ciente que minha participação é inteiramente voluntária e gratuita. Não sofrerei nenhuma espécie de prejuízo ou punição caso os testes não alcancem os objetivos almejados.

Estou de acordo e, pelo presente, consinto voluntariamente em participar da pesquisa.

São Paulo, _____ de _____ de 2011.

Participante

Pesquisador Responsável

Agradeço sua colaboração e me coloco à disposição para esclarecimento de eventuais dúvidas, através do email: aurenice@usp.br

APÊNDICE C – Relatórios dos Alinhamentos Horizontal e Vertical dos Trechos

As tabelas apresentadas foram criadas a partir de relatórios geradas pelo software CLIP, nenhum dado foi modificado, incluindo os termos técnicos utilizados.

TRECHO A

Tabela 14 – Relatório de Alinhamento Horizontal – Trecho A

Estação	Compr.	Coord. X	Coord. Y	Azimuth	Raio	Parâm.	X Centro	Y Centro
0,000	0,000	108.368,289	319.726,009	263°56'44"	Infinito			
529,731	529,731	107.841,512	319.670,138	263°56'44"	Infinito			
641,483	111,751	107.730,164	319.660,943	267°56'51"	800,000	299,000	107.701,512	320.460,430
1.010,504	369,021	107.371,325	319.731,749	294°22'36"	800,000		107.701,512	320.460,430
1.122,255	111,751	107.271,815	319.782,549	298°22'43"	Infinito	299,000		
1.677,097	554,842	106.783,650	320.046,262	298°22'43"	Infinito			

Tabela 15 – Relatório de Alinhamento Vertical – Trecho A

Ver.	Est./cota	TE/TS	Cota TE/TS	Inclin. (%)E/S	C/Flecha	Kv/Theta (%)
1	-13,999					
	619,304	-13,999	619,304	0,6009		
2	817,000	642,000	623,246	0,6009	350,000	-10.691,880
	624,298	992,000	619,621	-2,6726	-1,432	-3,2735
3	1.677,097	1.677,097	601,311	-2,6726		
	601,311					

TRECHO B

Tabela 16 – Relatório de Alinhamento Horizontal – Trecho B

Estação	Compr.	Coord. X	Coord. Y	Azimute	Raio	Parâm.	X Centro	Y Centro
0,000	0,000	107.585,712	319.391,761	325°15'14"	Infinito			
77,548	77,548	107.541,514	319.455,481	325°15'14"	Infinito			
174,013	96,465	107.490,767	319.537,398	334°09'40"	310,257	173,000	107.770,006	319.672,622
199,547	25,534	107.480,596	319.560,811	338°52'35"	310,257		107.770,006	319.672,622
203,864	4,316	107.479,060	319.564,844	339°16'30"	Infinito	36,594		
365,594	161,730	107.421,826	319.716,109	339°16'30"	Infinito			
429,200	63,606	107.395,891	319.774,090	329°09'06"	-180,000	107,000	107.241,356	319.681,793
436,386	7,186	107.392,084	319.780,185	326°51'52"	-180,000		107.241,356	319.681,793
499,991	63,606	107.351,354	319.828,923	316°44'29"	Infinito	107,000		
523,544	23,553	107.335,213	319.846,076	316°44'29"	Infinito			
569,055	45,511	107.301,443	319.876,393	302°15'17"	-90,000	64,000	107.253,411	319.800,281
574,466	5,411	107.296,783	319.879,141	298°48'36"	-90,000		107.253,411	319.800,281
619,977	45,511	107.253,912	319.894,028	284°19'25"	Infinito	64,000		
669,208	49,231	107.206,211	319.906,208	284°19'25"	Infinito			
711,258	42,050	107.166,656	319.920,091	299°22'54"	80,000	58,000	107.205,905	319.989,800
715,852	4,593	107.162,720	319.922,458	302°40'16"	80,000		107.205,905	319.989,800
757,902	42,050	107.131,918	319.950,894	317°43'45"	Infinito	58,000		
845,004	87,103	107.073,330	320.015,348	317°43'45"	Infinito			
935,182	90,177	107.017,055	320.085,630	328°29'36"	240,000	147,114	107.221,674	320.211,054
974,758	39,576	106.999,242	320.120,921	337°56'29"	240,000		107.221,674	320.211,054

Tabela 17 – Relatório de Alinhamento Vertical – Trecho B

Ver.	Est./cota	TE/TS	Cota TE/TS	Inclin. (%)E/S	C/Flecha	Kv/Theta (%)
1	0,000					
	628,323	0,000	628,323	0,1836		
2	191,378	91,378	628,491	0,1836	200,000	-3.481,150
	628,674	291,378	623,113	-5,5616	-1,436	-5,7452
3	482,000	382,000	618,073	-5,5616	200,000	2.099,251
	612,511	582,000	616,477	3,9656	2,382	9,5272
4	709,000	659,000	619,530	3,9656	100,000	-1.292,427
	621,513	759,000	619,627	-3,7718	-0,967	-7,7374
5	974,000	974,000	611,518	-3,7718		
	611,518					

TRECHO C

Tabela 18 – Relatório de Alinhamento Horizontal – Trecho C

Estação	Compr.	Coord. X	Coord. Y	Azimute	Raio	Parâm.	X Centro	Y Centro
0,000	0,000	106.802,595	319.902,655	308°42'36"	Infinito			
255,361	255,361	106.603,332	320.062,352	308°42'36"	Infinito			
304,769	49,408	106.567,055	320.095,758	320°30'20"	120,000	77,000	106.659,657	320.172,079
482,915	178,146	106.575,643	320.257,763	45°33'51"	120,000		106.659,657	320.172,079
532,324	49,408	106.615,250	320.287,146	57°21'34"	Infinito	77,000		
585,918	53,594	106.660,380	320.316,053	57°21'34"	Infinito			

Tabela 19 – Relatório de Alinhamento Vertical – Trecho C

Ver.	Est./cota	TE/TS	Cota TE/TS	Inclin. (%)E/S	C/Flecha	Kv/Theta (%)
1	0,000	588,789•				
2	183,987	586,928•	-1,0115	200,000•	12.680,672	0,394
3	390,904	588,098•	0,5657	120,000•	-2.606,419	-0,691
4	585,918	580,223•	-4,0383			

TRECHO 1

Tabela 20 – Relatório de Alinhamento Horizontal – Trecho 1

Estação	Compr.	Coord. X	Coord. Y	Azimute	Raio	Parâm.	X Centro	Y Centro
0,000	0,000	108.368,289	319.726,009	263°56'44"	Infinito			
529,731	529,731	107.841,512	319.670,138	263°56'44"	Infinito			
641,483	111,751	107.730,164	319.660,943	267°56'51"	800,000	299,000	107.701,512	320.460,430
1.010,504	369,021	107.371,325	319.731,749	294°22'36"	800,000		107.701,512	320.460,430
1.122,255	111,751	107.271,815	319.782,549	298°22'43"	Infinito	299,000		
1.677,097	554,842	106.783,650	320.046,262	298°22'43"	Infinito			

Tabela 21 – Relatório de Alinhamento Vertical – Trecho 1

Ver.	Est./cota	TE/TS	Cota TE/TS	Inclin. (%)E/S	C/Flecha	Kv/Theta (%)
1	0,000	628,538•				
2	140,000	614,945•	-9,7093	100,000•	710,007	1,761
3	380,000	625,445•	4,3751	100,000•	-892,246	-1,401
4	570,000	612,463•	-6,8326	100,000•	699,969	1,786
5	790,000	628,862•	7,4538	100,000•	-923,063	-1,354
6	1.365,000	609,428•	-3,3797	100,000•	12.793,213	0,098
7	1.675,000	601,374•	-2,5981			

TRECHO 2

Tabela 22 – Relatório de Alinhamento Horizontal – Trecho 2

Estação	Compr.	Coord. X	Coord. Y	Azimute	Raio	Parâm.	X Centro	Y Centro
0,000	0,000	107.585,712	319.391,761	325°41'21"	Infinito			
105,609	105,609	107.526,182	319.478,993	325°41'21"	Infinito			
171,759	66,150	107.491,471	319.535,239	333°35'06"	240,000	126,000	107.706,414	319.642,008
177,287	5,527	107.489,070	319.540,218	334°54'17"	240,000		107.706,414	319.642,008
213,149	35,862	107.475,499	319.573,403	339°11'07"	Infinito	92,773		
367,325	154,176	107.420,713	319.717,517	339°11'07"	Infinito			
430,918	63,593	107.394,694	319.775,447	329°03'51"	-180,000	106,990	107.240,300	319.682,913
437,806	6,888	107.391,040	319.781,286	326°52'18"	-180,000		107.240,300	319.682,913
501,457	63,651	107.350,283	319.830,061	316°44'29"	Infinito	107,038		
523,474	22,016	107.335,195	319.846,095	316°44'29"	Infinito			
568,923	45,449	107.301,474	319.876,374	302°16'27"	-90,000	63,957	107.253,416	319.800,279
574,354	5,431	107.296,798	319.879,134	298°49'01"	-90,000		107.253,416	319.800,279
619,888	45,535	107.253,905	319.894,030	284°19'22"	Infinito	64,017		
669,111	49,223	107.206,212	319.906,207	284°19'22"	Infinito			
711,161	42,050	107.166,657	319.920,090	299°22'51"	80,000	58,000	107.205,906	319.989,800
715,755	4,594	107.162,721	319.922,457	302°40'15"	80,000		107.205,906	319.989,800
757,805	42,050	107.131,918	319.950,893	317°43'44"	Infinito	58,000		
844,385	86,580	107.073,682	320.014,960	317°43'44"	Infinito			
937,257	92,872	107.015,928	320.087,488	328°57'18"	237,000	148,360	107.218,981	320.209,711
974,661	37,405	106.999,242	320.120,921	337°59'52"	237,000		107.218,981	320.209,711

Tabela 23 – Relatório de Alinhamento Vertical – Trecho 1

Ver.	Est./cota	TE/TS	Cota TE/TS	Inclin. (%)E/S	C/Flecha	Kv/Theta (%)
1	0,000	625,836•				
2	191,313	628,674•	1,4836	80,000•	-1.290,200	-0,620
3	481,015	615,009•	-4,7170	80,000•	675,561	1,184
4	590,337	622,798•	7,1250	80,000•	-794,859	-1,006
5	974,850	611,495•	-2,9397			

TRECHO 3

Tabela 24 – Relatório de Alinhamento Horizontal – Trecho 1

Estação	Compr.	Coord. X	Coord. Y	Azimute	Raio	Parâm.	X Centro	Y Centro
0,000	0,000	106.802,595	319.902,655	303°27'34"	Infinito			
285,065	285,065	106.564,772	320.059,824	303°27'34"	Infinito			
327,115	42,050	106.531,953	320.085,907	318°31'03"	80,000	58,000	106.591,886	320.138,898
428,733	101,618	106.523,526	320.180,455	31°17'47"	80,000		106.591,886	320.138,898
470,783	42,050	106.551,215	320.211,931	46°21'15"	Infinito	58,000		
621,642	150,859	106.660,380	320.316,053	46°21'15"	Infinito			

Tabela 25 – Relatório de Alinhamento Vertical – Trecho 1

Ver.	Est./cota	TE/TS	Cota TE/TS	Inclin. (%)E/S	C/Flecha	Kv/Theta (%)
1	0,000	588,789•				
2	214,444	582,845•	-2,7720	200,000•	4.486,900	1,114
3	511,111	587,845•	1,6854	150,000•	-1.748,095	-1,609
4	621,642	580,223•	-6,8954			

APÊNDICE D – Interface para Aplicação dos Testes

A interface foi criada em Power Point para direcionar os participantes dos testes a avaliar os trechos do grupo que foi designado.

Com o intuito de facilitar a utilização da interface, botões de navegação comumente utilizados em websites, foram inseridos na parte inferior das telas. Suas ações são assim definidas:

Avança para a tela seguinte.

Retorna para a tela anterior.

Termina a teste e retorna a tela inicial.

Retorna à tela do grupo.

Passo 1: Introdução com orientações de como proceder durante o teste e identificação do grupo ao qual o participante foi alocado.

Passo 2: Ao clicar no botão do seu grupo, é direcionado aos trechos que seu o grupo avaliará, conforme telas a seguir.

Passo 3: Na tela de cada grupo, o indivíduo avalia os dois trechos designados. Ao clicar no botão do trecho é direcionado para as telas a seguir. Na tela dos trechos os vídeos são executados e podem ser visualizados novamente, clicando no botão Play, o botão de navegação (Retornar) nas telas dos trechos, os direciona a tela do grupo.

APÊNDICE E – Tabela de Distribuição do Qui Quadrado (χ^2)

A tabela de Qui Quadrado mostra o número de Graus de liberdade (GL) nas linhas e o valor da Probabilidade (P) nas colunas.

Distribuição de Qui Quadrado (com 3 casas decimais)

GL/ P	0,99	0,95	0,90	0,80	0,70	0,50	0,30	0,20	0,10	0,05	0,02	0,01	0,001
1	0,0002	0,004	0,016	0,064	0,148	0,455	1,074	1,642	2,706	3,841	5,412	6,635	10,827
2	0,020	0,103	0,211	0,446	0,713	1,386	2,408	3,219	4,605	5,991	7,824	9,210	13,815
3	0,115	0,352	0,584	1,005	1,424	2,366	3,665	4,642	6,251	7,815	9,837	11,345	16,266
4	0,297	0,711	1,064	1,649	2,195	3,357	4,878	5,989	7,779	9,488	11,668	13,277	18,467
5	0,554	1,145	1,610	2,343	3,000	4,351	6,064	7,289	9,236	11,070	13,388	15,080	20,515
6	0,872	1,635	2,204	3,070	3,828	5,348	7,231	8,558	10,645	12,592	15,033	16,812	22,457
7	1,239	2,167	2,833	3,822	4,671	6,346	8,383	9,803	12,017	14,067	16,622	18,475	24,322
8	1,646	2,733	3,490	4,594	5,527	7,344	9,524	11,030	13,362	15,507	18,168	20,090	26,125
9	2,088	3,325	4,168	5,380	6,393	8,343	10,656	12,242	14,684	16,919	19,679	21,666	27,877
10	2,558	3,940	4,865	6,179	7,267	9,342	11,781	13,442	15,987	18,307	21,161	23,209	29,588
11	3,053	4,575	5,578	6,989	8,148	10,341	12,899	14,631	17,275	19,675	22,618	24,725	31,264
12	3,571	5,226	6,304	7,807	9,034	11,340	14,011	15,812	18,549	21,026	24,054	26,217	32,909
13	4,107	5,892	7,042	8,634	9,926	12,340	15,119	16,985	19,812	22,362	25,472	27,688	34,528
14	4,660	6,571	7,790	9,467	10,821	13,339	16,222	18,151	21,064	23,685	26,873	29,141	36,123
15	5,229	7,261	8,547	10,307	11,721	14,339	17,322	19,311	22,307	24,996	28,259	30,578	37,697
16	5,812	7,692	9,312	11,152	12,624	15,338	18,418	20,465	23,542	26,296	29,633	32,000	39,252
17	6,408	8,672	10,085	12,002	13,531	16,338	19,511	21,615	24,769	27,587	30,995	33,409	40,790
18	7,015	9,390	10,865	12,857	14,440	17,338	20,601	22,760	25,989	28,869	32,346	34,805	42,312
19	7,633	10,117	11,651	13,716	15,532	18,338	21,689	23,900	27,204	30,144	33,687	36,191	43,820
20	8,260	10,851	12,443	14,572	16,266	19,337	22,775	25,038	28,412	31,410	35,020	37,566	45,315

i = infinito