

Utilização de Produtos fotogramétricos e do Sensor Laser Scanner em áreas de Implantação de Rodovias – Estudo de Caso: Trecho da SC-414.

Eng. Civil Alexandro G. Schäfer, M. Eng. ¹
Dra. Ruth E. N. Loch ²

¹ UFSC - Depto. de Engenharia de Produção
CEP 88040-900 Florianópolis SC
a.schafer@ig.com.br

² UFSC - Depto. de Engenharia Civil
CEP 88040-900 Florianópolis SC
renloch@cfh.ufsc.br

Resumo: Este artigo aborda a utilização de produtos fotogramétricos e do sensor Laser Scanner para mapeamento temático de áreas para implantação de rodovias. Ao longo das últimas décadas, técnicas fotogramétricas se consolidaram em estudos para implantação de rodovias. O desenvolvimento tecnológico possibilitou o surgimento de sensores complementares às câmeras fotogramétricas como o sensor Laser Scanner, que possibilita a geração de Modelos Digitais do Terreno (MDT) e Modelos Digitais de Elevação (MDE) de uma área de forma relativamente rápida e com precisão altimétrica na casa dos decímetros. A pesquisa foi realizada em um trecho da rodovia SC-414 e teve por objetivo estudar aplicações para produtos fotogramétricos, do sensor Laser Scanner e integração de ambos para o mapeamento temático em áreas de implantação de rodovias. Inicialmente buscou-se informações e treinamento com os detentores da tecnologia Laser Scanner no país. A seguir procedeu-se o tratamento da nuvem de pontos laser. Os dados tratados foram integrados com os produtos fotogramétricos, gerando-se mapas de uso do solo, MDTs, MDEs e cartas de declividade, seguido da realização de análise temática da faixa de domínio. Observou-se que o sensor Laser Scanner é capaz de gerar informações temáticas de escala grande relevantes em áreas de implantação de rodovias. A integração de produtos fotogramétricos digitais aos dados do Laser Scanner forneceu informações que não seriam obtidas somente com os produtos do sensor Laser Scanner.

Palavras chaves: Laser Scanner, Sensoriamento Remoto, Projeto Rodoviário, Meio Ambiente

Abstract: This paper approaches the application of photogrammetric and LIDAR products in highway implantation areas. Along the last decades, photogrammetric techniques consolidated in highways implantation studies. The technological development made possible the appearance of complementary sensor to the photogrammetric cameras as the Laser Scanner sensor. This sensor makes possible the generation of Digital Terrain Models (DTM) and Digital Elevation Models (DEM) of a area of relatively fast form and with altimetric accurately of decimeters. In this research was made a study in a space of SC-414 highway with the objective of studying applications for photogrammetric products, of the Laser Scanner sensor and integration of both in highway projects. For this, was used the surveying realized for studies of the highway final project of construction. Initially it was looked for information and training with Laser Scanner technology owners in the country. The next stage consisted of Laser Scanner point cloud treatment, using for that programs CAD and specific programs for work of data laser. The treated data were integrated with the photogrammetric products, being generated land use map, DTMs, DEMs and slope maps. These products were put upon to each other and to technical cadastre and highway geometric project, turning possible realize thematic analysis in right of way. It was also realized rural properties analysis in directly affected area of highway implantation. It was observed that Laser Scanner sensor by itself is capable to generate important great scale thematic information for highway implantation. The integration of digital photogrammetric products provided information that would not be obtained with the Laser Scanner sensor only, because one of the sensor problems is the difficult of obtaining any direct pointing to particular objects or object features.

Keywords: LIDAR, Remote Sensing, Highway Engineering, Environment

1. INTRODUÇÃO

Para garantir atendimento eficaz dos requisitos ambientais um empreendimento rodoviário deve ser gerido segundo um sistema estruturado que considere, integre e articule todos os elementos ambientais, em todas as atividades e operações técnicas. Desta forma, existe a necessidade do conhecimento físico do território, da propriedade e das questões sócio-econômicas, pois estes são fundamentais para realizarem-se os diversos estudos (topográfico, ambiental, hidrológico, projeto geométrico, de terraplenagem, drenagem e de pavimentação) de um projeto de implantação de uma rodovia. Além disso, o conhecimento físico do território pode auxiliar no combate à ocupação desordenada da faixa de domínio e áreas lindeiras à rodovia, que constitui-se atualmente em grave problema social e ambiental no Brasil.

Dentro deste contexto, percebe-se a importância do conhecimento detalhado da área onde poderá vir a ser implantada uma rodovia, para que se possa alterar o mínimo possível o ambiente e evitar riscos a operacionalidade da rodovia. O Cadastro Técnico Multifinalitário (CTM), aliado à modernas técnicas de Sensoriamento Remoto propiciam o conhecimento do local e trazem subsídios para a realização do projeto facilitando o conhecimento do meio físico onde a rodovia será implantada. A utilização de fotografias aéreas em projetos de implantação de rodovias é uma prática bem aceita em engenharia rodoviária. As fotografias aéreas de grande escala são importantes tanto nas etapas preliminares quanto na fase final de um levantamento, pois fornecem uma visão da área mostrando as condições existentes em um momento particular. Observa-se nelas os elementos da superfície e, com isso, estabelece-se a relação entre geologia, fatores culturais e ambientais relevantes para a avaliação dos impactos de um projeto de engenharia no ambiente.

Um produto importante para projetos de engenharia rodoviária que pode ser obtido a partir das fotografias aéreas e da fotogrametria é o Modelo Digital do Terreno (MDT). A evolução tecnológica ocorrida nas últimas décadas trouxe novos meios para levantar informações sobre o terreno, como o sensor Laser Scanner, também conhecido por LIDAR (Light Detection and Ranging). Com o advento desta tecnologia, tem-se uma alternativa para a aquisição do MDT. Os dados obtidos com o sensor possibilitam a geração de modelos digitais do terreno dentro de poucos dias, com precisão na casa dos decímetros.

Mesmo sendo uma tecnologia que apresenta grandes possibilidades de utilização em mapeamentos para projetos rodoviários, inclusive levando-se em conta a questão ambiental, ainda é pequeno o número de pesquisas no mundo que permitam um maior conhecimento da tecnologia LIDAR e de suas possíveis aplicações. Desta forma, este estudo teve como objetivos contribuir para a) conhecimento da tecnologia LIDAR, e b) a avaliação da sua aplicabilidade, fazendo uso dos produtos provenientes do LIDAR, de mosaico de ortofotos e da integração de ambos para a análise temática de um trecho da rodovia.



figura 1 : Mosaico de ortofotos da área de estudo

2 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo compreende uma faixa de aproximadamente 1700 m de comprimento por 750 metros de largura e está localizada no município de Luís Alves-SC-Brasil. A nova rodovia projetada terá aproximadamente 22 km de comprimento e unirá setores em crescente atividade econômica ao interligar as rodovias pavimentadas SC-413 ao norte e BR-470 ao sul da ligação prevista. Na figura 1 apresenta-se o mosaico de ortofotos da área de estudo.

3 METODOLOGIA

A pesquisa teve como objetivo contribuir para a) conhecimento da tecnologia LIDAR, e b) a avaliação da sua aplicabilidade. Para tanto fez-se uso dos produtos provenientes do LIDAR, de mosaico de ortofotos e da integração de ambos para a análise temática de um trecho da rodovia. Os materiais disponíveis para a pesquisa eram: arquivo de pontos LIDAR pós-processados, escala de voo 1,000 metros realizado em novembro de 2002; mosaico obtido através de ortofotos digitais, escala de voo 1:15,000 e escaneizado com tamanho de pixel de 0,40 m realizado em março de 2002; restituição fotogramétrica em escala 1:5,000.

As etapas desenvolvidas durante a pesquisa são descritas a seguir. Logo após, cada uma é explicada.

3.1 Tratamento dos dados LIDAR;

3.2 Levantamento do uso atual da terra utilizando fotointerpretação;

3.3 Geração de Modelo Digital do Terreno (MDT) e Modelo Digital de Elevação (MDE);

3.4 Criação de carta de declividade;

3.5 Análise temática da faixa de domínio.

3.1 Tratamento dos Dados Provenientes do Sensor Laser Scanner

Os dados do Laser Scanner são disponibilizados em três conjuntos: a) os dados de calibração e parâmetros de montagem (obtidos antes do voo), b) medidas de distâncias LASER com seus respectivos ângulos de escaneamento e c) os dados POS. Esses dados são processados e integrados, obtendo-se ao final desta etapa uma nuvem de pontos Laser Scanner, tradicionalmente apresentada em um conjunto de coordenadas tridimensionais no sistema WGS-84 e o registro de intensidade dos pulsos LASER. Para diferenciar quais informações correspondem ao relevo ou a qualquer outro fenômeno geográfico ou objeto presente na superfície estudada, é necessário realizar um tratamento de dados. No caso deste estudo, o tratamento foi realizado em três etapas principais: filtragem, classificação e edição manual da nuvem de pontos.

A definição de filtragem e classificação ocorre de acordo com o objetivo a ser alcançado e não com o método empregado. A remoção de pontos indesejados é considerada uma operação de filtragem. Já a tarefa de encontrar uma estrutura geométrica ou estatística específica, como construções ou vegetação, é definida como classificação (AXELSSON, 1999). A etapa de edição manual foi adicionada ao tratamento dos dados levando-se em consideração que o método automático de filtragem e classificação por algoritmos próprios para este fim não foi capaz de alcançar resultados satisfatórios.

Para gerar um MDT que represente a superfície terrestre da forma mais próxima da realidade, a correta definição desta superfície na nuvem de pontos LASER é imprescindível. Isto faz do tratamento dos dados provenientes do sensor uma tarefa muito importante e que influencia sobremaneira na qualidade final do MDT.

Na figura 2, apresenta-se o fluxograma desenvolvido para o tratamento dos dados Laser Scanner e na seqüência a explicação de cada etapa.

TRATAMENTO DOS DADOS LASER SCANNER

1) Nuvem de pontos Laser Scanner pós-processados: consideram-se todos os dados LIDAR pós-processados devidamente georreferenciados sem filtragem ou análise adicional.

2) Recorte da área de estudo: inicialmente, os arquivos de pontos Laser Scanner foram recortados para coincidir com o mosaico de ortofotos que define a área de influência direta de impactos ambientais. O recorte resultou em um arquivo com 582.407 pontos LASER.

3) Filtragem: foi realizada uma filtragem automática da nuvem de pontos LASER com o objetivo de separá-los em pontos que tocaram à superfície terrestre e pontos que tocaram outros elementos (objetos). A filtragem foi feita no programa TerraScan, que possui uma ferramenta específica para esta tarefa. Os parâmetros para a utilização desta ferramenta (ângulo do terreno, ângulo e distância de interação) foram

definidos com base na análise dos resultados de dezenas de testes de filtragem realizados na área de estudo utilizando-se diferentes parâmetros.

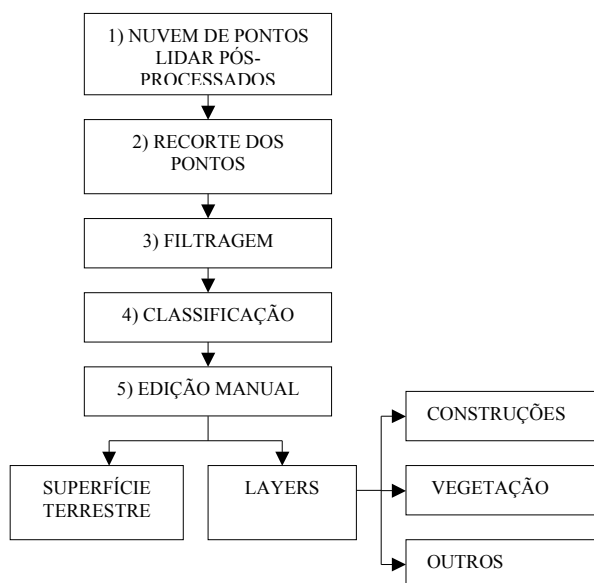


Figura 2: Fluxograma de tratamento de dados derivados do sensor Laser Scanner

4) Classificação: na classificação da nuvem de pontos definida na filtragem como não pertencente à superfície terrestre foram criados três *layers* separando os principais elementos encontrados na área de estudo: vegetação, construções e outros (linhas e torres de transmissão). O objetivo principal da classificação foi auxiliar a encontrar pontos pertencentes à superfície terrestre que foram definidos erroneamente como objetos no processo de filtragem.

5) Edição manual: nesta etapa, o conjunto de pontos filtrados e classificados automaticamente foram analisados no ArcView. De acordo com AXELSSON (1999), em muitos casos é impossível interpretar os dados do LASER a não ser que imagens orientadas estejam disponíveis. Os pontos do LASER foram sobrepostos à imagem de intensidade Laser Scanner e ao mosaico de ortofotos para identificar possíveis pontos filtrados e classificados erroneamente para então corrigi-los. Pontos que incidiram em corpos d'água foram eliminados para evitar que gerassem erros na construção de MDTs. Esta foi a etapa que consumiu a maior quantidade de tempo no tratamento dos dados do Laser Scanner. Ao final desta etapa, dispunha-se do arquivo de pontos que tocaram à superfície terrestre e os arquivos de pontos dos layers (vegetação, construções e "outros") completamente editados e revisados. Todos os arquivos de pontos Laser Scanner foram salvos como arquivos ASCII X, Y, Z para serem posteriormente adicionados como tabela no programa ArcView GIS para a geração de MDTs e MDEs.

3.2 Levantamento do Uso Atual da Terra Utilizando Fotointerpretação

O levantamento do uso atual da terra foi realizado com o intuito de auxiliar no reconhecimento e análise da área de estudo.

A expressão uso atual da terra pode ser entendida como a forma pela qual o espaço está sendo ocupado pelo homem e o levantamento do uso da terra em determinada área, tornou-se fundamental para quantificar e entender os padrões de organização da atividade humana sobre o espaço (DALE & MCLAUGHLIN, 1990).

Realizou-se uma fotointerpretação preliminar no mosaico de ortofotos, delineando-se as áreas com distintos aspectos de uso da terra. Esse material serviu de base para a reambulação de campo.

Após a checagem de campo, estudou-se minuciosamente o mosaico de ortofotos, definindo e digitalizando as classes de interesse a serem obtidas na fotointerpretação. As classes definidas foram: área edificada; solo exposto; áreas de cultivo; pastagem; reflorestamento; vegetação densa; vegetação rala; rios; açudes; rede viária.

3.3 Geração de Modelo Digital do Terreno (MDT) E Modelo Digital de Elevação (MDE)

Para os estudos que envolvem um projeto de implantação de rodovia, um Modelo Digital do Terreno que descreva o local de implantação o mais próximo possível da situação real é muito importante. De acordo com KRAUS & PFEIFER (1998), os contornos derivados de um MDT somente com os pontos Laser Scanner são pobres em detalhes geomorfológicos. Isto ocorre até mesmo aplicando-se filtragem e classificação.

Foram gerados três MDTs para posterior comparação visual e escolha do mais apropriado: (1) a partir das curvas de nível da restituição aerofotogramétrica, (2) a partir dos pontos Laser Scanner e (3) a partir dos pontos Laser Scanner com adição de breaklines vetorizadas na restituição aerofotogramétrica.

Para gerar um MDT ou MDE no programa ArcView GIS criou-se uma TIN (Triangulated Irregular Networking), que apresenta como característica a possibilidade de adição de breaklines ao modelo.

3.4 Criação de Cartas de Declividade

As cartas clinográficas foram criadas para possibilitar uma visualização e análise do terreno considerando áreas de preservação permanente devido a sua inclinação (Código Florestal Brasileiro) e áreas aptas para urbanização sem restrições (Lei 6766/79). Estas últimas foram definidas devido à propensão de ocupação desordenada das faixas de domínio da rodovia e áreas próximas a esta, o que se constitui hoje em grave problema social e ambiental no Brasil.

As cartas de declividade foram obtidas a partir dos pontos Laser Scanner editados manualmente com adição de *breaklines* naturais e artificiais do terreno.

3.5 Análise Temática da área de estudo

A análise temática na área de estudo foi realizada através do cruzamento da carta de declividade, carta fundiária, mapa de uso atual da terra e projeto geométrico da rodovia. Foram seguidas as recomendações do Manual de procedimentos Ambientais (DER/SC, 1998), verificando-se, por exemplo, a existência de Áreas de Preservação Permanente (APPs); áreas não aptas à urbanização sem restrições e áreas a serem desmatadas para a construção da rodovia.

O cruzamento dos mapas foi feito em meio digital criando-se um projeto no software ArcView GIS, o que possibilitou uma análise eficaz da área de estudo.

4. RESULTADOS

4.1 Tratamento dos Dados Provenientes do Sensor Laser Scanner

4.1.1 Filtragem dos Pontos Laser Scanner

A quantidade de pontos definidos através da filtragem, como superfície terrestre, foi de 137.701 pontos, o que representa 23,70% do total de pontos LASER da área. Foram definidos como não pertencente à superfície terrestre (Objetos) 443.310 pontos, o que representa 76,30% do total de pontos LASER da área.

Os problemas encontrados na filtragem referiram-se principalmente ao padrão de reflexão dos pulsos LASER em corpos d'água, a elementos com pequena altura em relação à superfície terrestre (barragens), áreas com declive acentuado, sobreposição de faixas e objetos ligados à superfície terrestre (pontes).

4.2.2 Classificação dos Pontos Laser Scanner

Além de possibilitar a separação dos pontos eliminados na filtragem em diferentes layers, a classificação auxiliou na identificação de pontos definidos erroneamente no processo de filtragem.

Foram definidos como construções na classificação 8.423 pontos, enquanto que 434.887 pontos foram definidos como vegetação e linhas e torres de transmissão.

Embora as rotinas de classificação do TerraScan tenham separado os pontos nos diferentes

layers, dificuldades foram encontradas principalmente quanto à classificação de construções. Muitos pontos que tocaram construções não foram classificados como tais, enquanto que outros pertencentes à superfície terrestre e vegetação foram definidos pelo software como sendo construções. Em algumas construções (a maioria com telhados apresentando pouca inclinação), todos os pontos foram corretamente classificados.

4.2.3 Edição Manual dos Pontos Laser Scanner

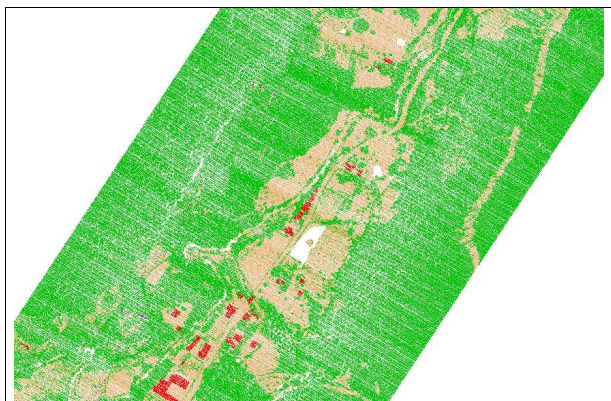


Figura 3: Pontos Laser Scanner após edição manual.

A figura 3 ilustra o resultado obtido após a filtragem, classificação e edição manual dos pontos LASER de parte da área de estudo. Os pontos definidos como superfície terrestre foram representados na cor laranja, os definidos como construções na cor vermelha, pontos referentes à linhas e torres de transmissão estão representados na cor roxa e os definidos como vegetação na cor verde.

A tabela 2 mostra a quantidade de pontos definidos como superfície terrestre nos diferentes layers após a edição manual e a diferença em número de pontos definidos em cada layer antes e depois da edição manual.

Tabela 2: Comparação entre o número de pontos definidos como superfície terrestre e demais layers antes e após edição manual.

Layer	Nº pts antes edição manual (1)	Nº pts após edição manual (2)	Diferença em nº de pts (1-2)	Diferença percentual entre 1 e 2
Sup terrestre	137.701	143.470	- 5769	- 4,20
Construções	8.423	5840	2583	30,67
Vegetação	434.887	430.515	4372	1,00
Outros	-	1186	-	-
Total	581.011	581.011	-	-

4.3 Levantamento do Uso Atual Da Terra

O levantamento do uso da terra efetuado neste estudo referiu-se a fevereiro de 2002, época da tomada das fotografias aéreas.

Através da análise do mosaico de ortofotos foi possível definir o uso do solo para as áreas de influência direta e diretamente afetada pela construção da rodovia SC-414. Foi possível a identificação de benfeitorias como as edificações. As informações provenientes do sensor Laser Scanner serviram como complemento ao mosaico de ortofotos para o levantamento de uso atual da terra.

Áreas de sombra no mosaico de ortofotos puderam ser analisados na imagem de intensidade de pontos Laser Scanner e em cortes transversais no arquivo de pontos 3D. Em áreas com vegetação onde havia dúvidas quanto à definição de classe, pode-se diferenciar vegetação rala e vegetação densa com base na observação e medição da altura e densidade de pontos LASER.

4.4 Geração de MDT e MDE da Área de Estudo

O modelo da figura 4, onde um TIN foi gerado a partir de curvas de nível com espaçamento de 5 m obtido por restituição deixou a desejar com relação à plasticidade, mas apresenta breaklines naturais (como os cursos d'água) bem definidas.

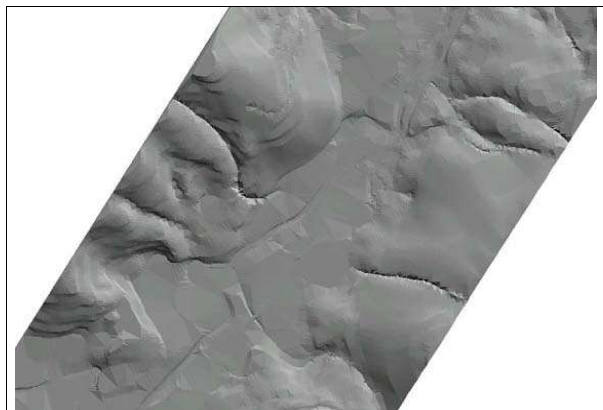


Figura 4: Parte do MDT gerado a partir da restituição aerofotogramétrica

A figura 5 ilustra parte de um MDT obtido na mesma área da figura 4 a partir de pontos derivados do Laser Scanner. Devido a alta densidade de pontos dos sistemas comerciais disponíveis atualmente, apresenta como uma de suas principais características a alta plasticidade. Por outro lado, apresenta depressões artificiais (devido a pontos filtrados e/ou classificados erroneamente pelos algoritmos como superfície terrestre) e “breaklines” naturais não aparecem.

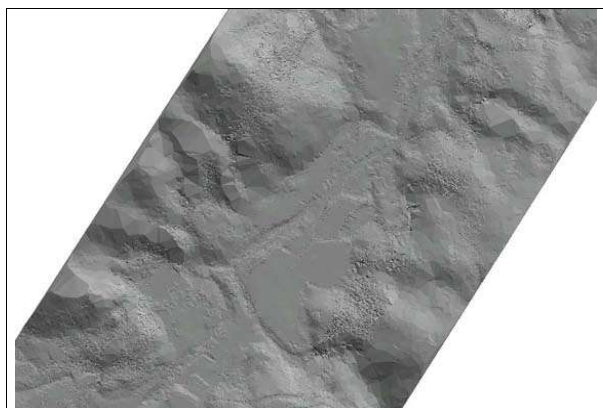


Figura 5: Parte do MDT gerado a partir dos pontos Laser Scanner.

O MDT gerado a partir da combinação dos pontos derivados do Laser Scanner e elementos da restituição fotogramétrica (figura 6) teve por objetivo agregar as características dos dois modelos produzidos anteriormente: a alta plasticidade e densidade do MDT obtido a partir dos pontos Laser Scanner e a qualidade morfológica do MDT obtido através da restituição fotogramétrica. As áreas nas bordas do MDT não devem ser consideradas, pois apresentam erros inerentes à construção da estrutura TIN. Para evitar isto, deve-se sempre recortar uma área maior do que a que será analisada e realizar o corte após a construção da estrutura TIN.

O Modelo Digital do Terreno gerado a partir da combinação dos pontos derivados do Laser Scanner e elementos da restituição fotogramétrica foi escolhido para ser utilizado nas etapas posteriores do estudo.

Medindo-se a quantidade média de pontos que tocam a superfície terrestre (tabela 3), constatou-se que o MDT obtido a partir dos pontos Laser Scanner não apresenta qualidade uniforme em toda sua extensão. Em áreas de cobertura vegetal fechada (por exemplo, em capoeiras), a quantidade de pontos que conseguiu tocar a superfície terrestre foi consideravelmente menor do que a quantidade de pontos que tocam a superfície terrestre em áreas de solo exposto, o que evidencia a não uniformidade da qualidade do MDT.

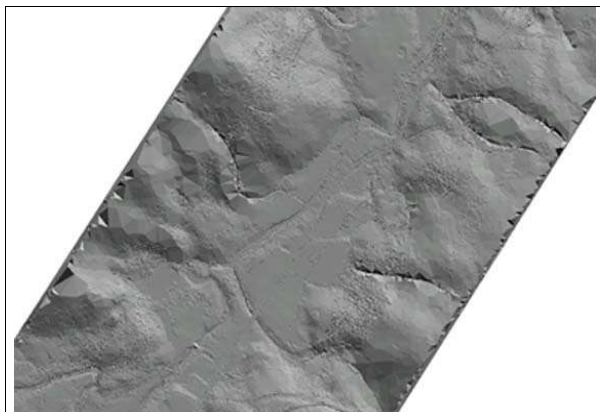


Figura 6: Parte do MDT gerado a partir dos pontos Laser Scanner com adição de breaklines provenientes da restituição fotogramétrica.

Tabela 3: Quantidade média de pontos Laser Scanner MDT/m²

Cobertura do solo	Quantidade de pontos por m ²
Vegetação Densa	0,021 a 0,099
Reflorestamento	0,056 a 0,192
Pastagem	0,35 a 0,41
Solo Exposto	0,359 a 0,50

4.5 Criação de MDT E MDE com Simulação da Rodovia no Ambiente

A criação de MDT e MDE com a simulação da rodovia feita através da adição do projeto geométrico da rodovia na área de estudo e posterior visualização 3D, constituiu-se em excelente base para estudar o efeito da rodovia no ambiente em que ela será implantada. Também pode servir como elemento de representação para consultas públicas quando da avaliação do empreendimento rodoviário pelo público em geral.

A simulação proporcionou a visualização dos locais onde devem ser realizados cortes e aterros. Adicionando ao MDE o mosaico de ortofotos, têm-se um produto que proporciona a visualização das áreas atravessadas pela rodovia, permitindo verificar as áreas a serem desmatadas, a influência da rodovia em possíveis corredores de fauna e a situação da vegetação ao longo de cursos d'água a serem atravessados pela rodovia.

4.6 Carta de Declividade

A carta de declividade (figura 7) foi muito útil para auxiliar na análise do ambiente. Ela foi aplicada para auxiliar na definição de Áreas de Preservação Permanente (APP), para definir áreas não propensas à urbanização sem restrições e para análise das propriedades rurais.

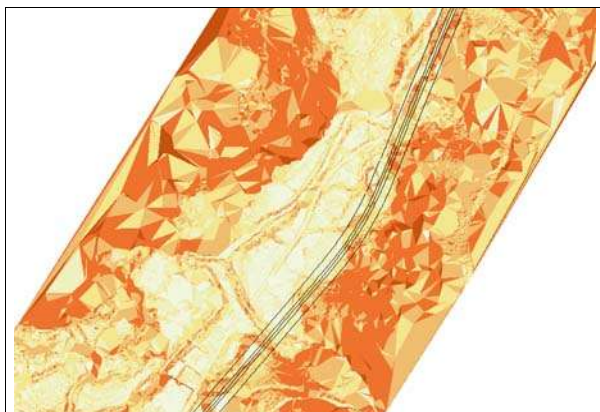


Figura 7: Declividade na área de estudo.

4.7.1 Análise Temática da área de estudo

A análise temática da faixa de domínio da rodovia na área de estudo foi realizada seguindo recomendações contidas em DER/SC (1998) sobre os temas solos, água e recursos naturais. Procurou-se localizar e quantificar áreas frágeis do ponto de vista ambiental.

A rodovia, tanto quanto qualquer outra infra-estrutura linear, interfere sobremaneira no comportamento geral dos recursos hídricos de uma dada região, acrescentando riscos à qualidade da água dos cursos d'água que atravessa. Os riscos estão associados tanto ao escoamento dos resíduos depositados sobre o pavimento quanto pelo risco potencial de descarga de poluentes decorrente de acidentes com cargas de produtos perigosos (DER/SC, 1998).

A visualização 3D da sobreposição do MDT e dos cursos d'água pode vir a ser uma excelente ferramenta para auxiliar na localização e visualização de locais suscetíveis à problemas ambientais considerando-se o tema água. Na figura 8, pode-se verificar em alguns trechos a excessiva proximidade da rodovia ao rio Braço Serafim.

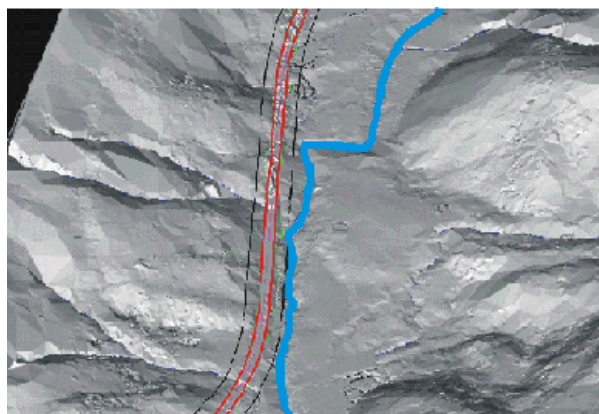


Figura 8: Cruzamento do projeto geométrico da rodovia SC-414 com o MDT e recursos hídricos.

Através da sobreposição do mapa de uso do solo e carta de declividade, observa-se que no interior da faixa de domínio aproximadamente 1000 m² de vegetação densa estão em áreas com declividade superior a 25°. De acordo com BRASIL (1965), é proibido o corte raso destas áreas. Foi também possível observar a existência de aproximadamente 600 m² de mata ciliar, caracterizando área de preservação permanente (BRASIL, 1965) e classificado (CONAMA, 1985), como reserva ecológica.

O DER/SC (1998) recomenda localizar os setores onde, considerando a inclinação, existam riscos de erosão. Os processos erosivos podem, direta ou indiretamente, provocar a degradação dos solos ou do ecossistema local. O relevo pode ser facilmente analisado com os produtos do sensor laser scanner, que forneceram dados para confecção de cartas de declividade em escala grande.

Examinando a carta de declividade, tem-se a declividade na área de estudo variando de 12 a 30%, nas encostas predomina a classe de declividade de 30 a 47%. No interior da faixa de domínio, de um lado da rodovia (áreas mais planas e adequadas à urbanização), tem-se o rio Braço Serafim bem próximo ou no interior da faixa de domínio (vide figura 8). Do outro lado da rodovia predominam as declividades superiores à 30%, o que caracteriza áreas não aptas à urbanização sem restrições devido a declividade (BRASIL, 1979)..

5 CONCLUSÕES

O arquivo de pontos Laser Scanner, aliado à imagem de intensidade constituiu-se em excelente fonte de dados para elaboração do mapa de uso do solo. Em áreas com sombras no mosaico de ortofotos, sanou-se dúvidas devido à possibilidade de obtenção de medidas de altura dos objetos com relação ao chão de forma simples, direta e sem o uso de qualquer equipamento complementar. Além disso,

possibilitou a atualização de informações com relação ao uso e ocupação do solo contidas no mosaico de ortofotos. Entretanto, vale ressaltar que o mosaico de ortofotos forneceu informações sobre o terreno e a cobertura vegetal que não puderam ser extraídas dos produtos derivados do sensor Laser Scanner.

A dificuldade dos feixes LASER em penetrar coberturas fechadas, juntamente com a dificuldade do sensor Laser Scanner em definir *breaklines* naturais e artificiais do terreno influenciaram sobremaneira na qualidade final do MDT gerado a partir da nuvem de pontos LASER.

Os algoritmos de filtragem e classificação dos pontos LASER não foram suficientemente eficientes a ponto de apresentar resultados aceitáveis apenas através de classificação automática. A edição manual com auxílio de imagens (mosaico de ortofotos e imagem de intensidade LASER) foi essencial para aumentar a qualidade da filtragem e da classificação da nuvem de pontos LASER.

As informações obtidas pelo cruzamento e integração dos produtos fotogramétricos e do sensor Laser Scanner, associados a outros estudos como o geotécnico, solos, etc., poderia evoluir para um Cadastro Técnico Multifinalitário da faixa de domínio da rodovia. Levando-se em conta que ao longo de sua vida útil, a rodovia poderá sofrer manutenções, restaurações ou duplicação, um cadastro estruturado em um Sistema de Informações Geográficas (SIG) desde as fases de implantação da rodovia é uma ferramenta de grande utilidade. Além de ser uma fonte de informações quando da tomada de decisões referentes à manutenção e uso da rodovia, pode servir de base para planos de manejo, ocupação e desenvolvimento local, possibilitando o controle e conservação não só da rodovia, mas também do patrimônio natural.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACKERMANN, F. Airborne Laser Scanning – Present status and future expectations, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. nº 54(2-3), pp. 64-67. 1999.

AXELSSON, P. Processing of laser Scanner Data – Algorithms and Applications. ISPRS Journal Of Photogrammetry And Remote Sensing nº 54(2-3) pp. 138-147. 1999.

BRASIL. Lei Federal 4.771/65 (com alterações dadas pelas Leis n. 7803/89 e n. 7875/89). Institui o novo Código Florestal.

BRASIL. Lei Federal 6.766/79. Dispõe sobre o Parcelamento do Solo Urbano e dá outras providências.

CONAMA – CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Dispõe sobre as diretrizes gerais para uso e implementação de avaliação de impacto ambiental. Resolução nº 001, de 23 de julho de 1986. Coletânea de Legislação Ambiental, Secretaria do Estado de Desenvolvimento Urbano. Curitiba, 1990.

DALE, P. & MCLAUGHLIN, J. D. Land information management. an introduction with special reference to cadastral problems in third world countries. Nova lorque: Oxford University Press, 1990.

DER/SC. Departamento de Estradas de Rodagem de Santa Catarina. Manual de procedimentos ambientais. 3º Encontro Ibero-Ambientais de Unidades Ambientais do Setor dos Transportes. Florianópolis: Governo do Estado de Santa Catarina, STO, DER/SC, ACE, 1998. 1 CD-ROM.

KRAUS, K.; PFEIFER, N. Determination of terrain models in wooded areas with airborne laserscanner data. ISPRS Journal of photogrammetry and Remote Sensing. nº 53(4), pp. 193-203, august 1998.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a colaboração do DEINFRA (Departamento Estadual de Infra-Estrutura de Santa Catarina); da empresa ESTEIO S.A. na pessoa do Sr. Eng. Amauri Brandalize; ao Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento (LACTEC) na pessoa do Sr. Eng. Maurício Müller e de todos os professores, pesquisadores, mestrandos e doutorandos que disponibilizaram, durante as entrevistas, informações essenciais para o desenvolvimento deste artigo. Os autores agradecem também à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo auxílio financeiro.