

# Modelação Procedimental de Ambientes Rodoviários para Simulação de Condução

Carlos Campos  
ISEP/FEUP  
Porto, Portugal  
crc@isep.ipp.pt

João Miguel Leitão  
ISEP  
Porto, Portugal  
jml@isep.ipp.pt

António Fernando Coelho  
FEUP  
Porto, Portugal  
acoelho@fe.up.pt

---

## Resumo

*A modelação de ambientes rodoviários para simulação de condução pode-se tornar uma tarefa morosa e dispendiosa de recursos, se não se recorrer a métodos de modelação automática.*

*Os ambientes rodoviários utilizados na simulação de condução têm que obedecer a elevados requisitos de especificação e de realismo. A simulação de condução para fins científicos requer ainda a coexistência de uma descrição semântica do ambiente, que permitirá a colocação de atores durante a simulação e a produção de relatórios relativos à simulação.*

*Este artigo apresenta uma proposta de uma metodologia para a modelação procedimental de ambiente rodoviários adequados para simulação em tempo real. A metodologia proposta integra a modelação procedimental de ambiente rodoviários num único processo desde a determinação dos nós de ligação até à obtenção do modelo geométrico e da descrição semântica de todos os elementos envolvidos. No desenho desta metodologia pretendeu-se mapear os conceitos e práticas utilizadas em engenharia de vias, produzindo assim ambientes rodoviários semelhantes aos encontrados em traçado real. Será possível a interação, por utilizadores não especialista em engenharia informática, em qualquer fase do processo de especificação do ambiente permitindo cumprir as especificações particulares de cada ensaio experimental.*

*Estão previstas tarefas de avaliação dos modelos obtidos, quer a nível do seu traçado, da rede rodoviária gerada, assim como avaliação de todo o processo automático de geração de modelos.*

*Prevê-se que a metodologia proposta permita obter de forma eficiente modelos 3D de excelente qualidade e adequados à utilização em sistemas de simulação visual para fins científicos.*

## Palavras Chave

*Ambientes Rodoviários, Modelação 3D, Modelação Procedimental, Simulação de Condução.*

---

## 1. INTRODUÇÃO

A criação de ambientes rodoviários de grandes dimensões, adequados para simulação de condução para fins científicos é uma tarefa morosa e dispendiosa de recursos. A criação de ambientes rodoviários virtuais requer a correta modelação de redes rodoviárias e a manipulação de objetos 3D tradicionais à região em que se insere, que é necessário integrar. Esta tarefa pode-se tornar demasiado trabalhosa e dispendiosa em termos de recursos se não se possuir uma metodologia automática de geração de ambientes virtuais.

Uma alternativa à realização de experiências de condução em ambiente real é a simulação de condução, que para além de um evidente aumento das condições de segurança, permite o controlo e monitorização de diferentes variáveis que seria inatingível em condições de tráfego real. A simulação de condução permite a realização de estudos experimentais impraticáveis em condições reais, uma vez

que reflete condições de total segurança para os participantes em eventos de tráfegos de alto risco, como por exemplo: estudo de manobras de ultrapassagem com risco de colisão frontal. Os simuladores de condução para fins científicos são requeridos por utilizadores nas mais diversas áreas, como por exemplo: engenharia de vias, psicologia e ergonomia.

Para a implementação de experiências de simulação de condução, além da geração do modelo visual do ambiente rodoviário deverá ser criada a correspondente definição semântica. A definição semântica é uma descrição de alto nível, de caracterização do ambiente rodoviário, que vai permitir parametrizar o modelo dinâmico do ambiente virtual. No caso específico de simulação de condução permite parametrizar: o comportamento dos atores, os eventos de tráfego específicos de cada experiência, a produção de relatórios, entre outros. Sempre que se deseje incluir participantes virtuais ou avaliar desempenhos de

participantes humanos, é fundamental que outros níveis de informação coexistam com a informação geométrica [Thomas00]. Adicionalmente, a definição semântica é também utilizada para geração de relatórios relativos à experiência de simulação de condução.

As ferramentas tradicionais de modelação de ambientes virtuais não permitem a criação conjunta destas duas representações.

A conceção estratégica de uma rede rodoviária, implica definir que nós (cidades, cruzamentos, rotundas, etc.) são interligados e qual o tipo de estrada utilizado. Esta definição envolve normalmente especialidades muito diversas, para além da Engenharia de vias e requer a análise da rede como um todo. Deste processo resulta essencialmente a definição topológica da rede que especifica as ligações entre nós e os respetivos tipos de via.

A partir da definição topológica da rede, é possível passar ao planeamento individual de cada estrada. Recorrendo a métodos de engenharia de vias, é criado um corredor entre os dois pontos de ligação, a uma escala que permita tratar a morfologia do terreno e respetivas condicionantes. Sobre esse corredor são depois traçados um conjunto de alinhamentos retos, que posteriormente irão permitir obter o traçado da via.

Nesta fase, são normalmente utilizadas aplicações de projeto de vias de comunicação, tais como o Civil3D. Estas aplicações exigem uma exaustiva interação com o utilizador e requerem deste um grande nível de conhecimento específico da área de vias de comunicação [Autodesk12]. Não são portanto adequadas à obtenção rápida de ambientes virtuais para simuladores por preparadores de outras áreas. Por outro lado, o Civil3D, não gera informação semântica suficiente para ser utilizada em simulação em tempo real.

As metodologias mais recentes de geração de ambientes rodoviários para a criação da rede obrigam à prévia definição do terreno, definição dos nós ou cidades de ligação e pontos de interesse a ligar pela rede rodoviária [Galin11].

Atualmente existem ferramentas que permitem a geração automática de ambientes rodoviários adequados para simulação de condução para fins científicos, mas requerem a prévia especificação do eixo da via, normalmente a partir de dados de projeto. Estas ferramentas possibilitam um elevado nível de controlo por parte do utilizador, permitindo cumprir as especificações particulares de cada projeto [Leitão00] [Campos07].

Não é conhecida nenhuma metodologia que gere automaticamente um ambiente rodoviário que cumpra os requisitos para uso em simulação de condução para fins científicos. Por outro lado, os ambientes rodoviários gerados deverão apresentar um traçado semelhante ao encontrado em estradas reais. Adicionalmente deverá existir a possibilidade de interação no processo de geração do ambiente rodoviário, de forma a permitir a parametrização de pormenores específicos de cada projeto.

Neste artigo, apresenta-se uma metodologia inovadora para obtenção de redes rodoviárias de grandes dimensões de forma rápida e eficiente. A rede rodoviária será obtida a partir da definição de um conjunto de nós de interligação. Posteriormente com base na definição topológica da rede será determinado o traçado para cada via. No cálculo do traçado da via serão mapeados os métodos utilizados em engenharia de vias, para além de outros contributos identificados em trabalhos semelhantes [França11] [EP94] [Walton05] [Smelik08] [Galin11].

O utilizador deverá poder interagir em qualquer fase do processo de geração do ambiente rodoviário, permitindo definir critérios específicos de cada modelo, produzindo ambientes totalmente controláveis.

No caso de não existir nenhuma especificação inicial, a metodologia proposta será capaz de gerar um ambiente rodoviário aleatoriamente.

## 1.1 Organização do artigo

Na secção 2. É apresentado o estado da arte nas áreas relevantes para a definição da metodologia proposta e são apresentados os trabalhos relacionados mais significativos.

A secção 3. Descreve de forma detalhada a metodologia que se propõe para preparação de ambientes destinados a simuladores de condução.

Na secção 4. É apresentada a análise crítica da metodologia proposta e apontadas as direções para os próximos desenvolvimentos.

## 2. ESTADO DA ARTE

### 2.1 Redes rodoviárias

Uma rede, como por exemplo uma rede rodoviária pode ser definida por um conjunto de nós e ligações que os interligam (1).

$$R = (N, L) \quad (1)$$

onde  $R$  representa a rede,  $N$  os nós da rede e  $L$  as ligações entre os diferentes nós da rede.

Cada ligação faz a interligação entre dois nós distintos (2).

$$L = \{(N_i, N_j)\} \quad (2)$$

onde  $L$  representa a ligação,  $N_i$  e  $N_j$  os nós extremos da ligação.

Um percurso  $P$  (3), com extensão  $K$  através de uma rede, corresponde a uma sequência de ligações de nós, entre cada par de nós temos uma ligação  $L$ .

$$P = \langle N_0, N_1, \dots, N_k \rangle \quad (3)$$

onde  $P$  representa um percurso na rede,  $N_0$  a  $N_k$  representam os nós interligados nesse percurso.

No caso de uma rede rodoviária, os nós correspondem a pontos de ligação e as ligações a estradas. Uma rede rodoviária pode ser definida por uma estrutura hierárquica de ligações em 3 níveis: rede de autoestradas, rede de

estradas secundárias, rede de estradas urbanas [Teoh08] [Weber09].

As redes rodoviárias são planeadas para ligar pontos de interesse, permitindo a deslocação de pessoas para os diversos pontos, tentando minimizar os custos de construção e os custos de operação. Os custos de construção estão associados à implantação em terreno real da via, em que engloba os encargos da própria via e também os custos com aterros, terraplanagens, expropriações, entre outras variáveis. Os custos de operação estão relacionados com a deslocação entre dois pontos e entra no seu cálculo vários fatores, como por exemplo: combustível, extensão do percurso, tempo de duração da viagem, entre outros.

O planeamento de uma rede rodoviária tem como objetivo a otimização dos custos de construção e operação da rede e também a minimização dos impactos desta rede no meio ambiente, procurando cumprir os níveis de segurança, satisfazer os padrões dos níveis de serviço e satisfazer a necessidades dos utentes

## 2.2 Conceção de vias de comunicação

A conceção de uma via parte inicialmente por uma decisão estratégica de que pontos, nós ou cidades, a nova estrada irão interligar. Essencialmente esta decisão é tomada tendo em consideração parâmetros como: crescimento demográfico, nível de serviço, estudos de tráfego e custo de construção.

Um projeto de uma estrada desenvolve-se de acordo com as seguintes fases: programa preliminar, estudo prévio e projeto de execução [França11]. O programa preliminar fornecido pelo dono da obra é basicamente um caderno de encargos constituído por disposições gerais, elaborado sobre carta militar à escala de 1:5000/1:10000, onde figuram as características específicas pretendidas e que condicionaram a escolha do traçado.

O estudo prévio não tem como função fornecer os elementos definitivos, nem a pormenorização necessária à execução da obra. O objetivo principal é o de apontar uma ou várias soluções alternativas para o traçado. O estudo de traçado nesta fase é realizado tipicamente à escala de 1:2500/1:5000 sobre carta militar ou levantamentos topográficos. É nesta fase que intervêm os estudos de tráfego, geológicos e geotécnicos, paisagísticos e de impacto ambiental.

Finalizado e aprovado o estudo prévio, segue-se o projeto de execução. O traçado está aproximadamente definido e o trabalho consiste agora no detalhe do estudo. O projeto de execução deve conter a pormenorização necessária à implantação da via rodoviária. Um projeto de execução de uma estrada envolve várias especialidades de engenharia civil, tais como: traçado, terraplenagens, drenagem, pavimentação, sinalização e segurança, obras de arte e obras acessórias. O traçado geométrico da via é a primeira tarefa a ser realizada, onde se define a diretriz (traçado em planta), o perfil longitudinal (traçado em altimetria) e o perfil transversal.

Para obter o traçado da diretriz de uma estrada, em engenharia de vias, pode ser utilizado o conceito de linha dos zeros (figura 4).

Após estudo do traçado da via desenvolvem-se as restantes especialidades, sendo geralmente os estudos conducentes à seleção dos dispositivos de sinalização a adotar, um dos últimos a ser realizados. Na tarefa da sinalização, fazem sempre parte do projeto dois tipos de sinalização, uma referente à marcação horizontal e a outra referente à sinalização vertical. Na sinalização vertical existem ainda duas famílias, sendo uma referente à sinalização de código e a outra respeitante à sinalização de orientação, setas direcionais, pórticos e painéis laterais.

A definição do traçado deverá obedecer aos critérios estabelecidos nas normas aplicáveis. Em Portugal essas normas são definidas pela entidade Estradas de Portugal, que é responsável pela tutela da rede rodoviária [EP94].

## 2.3 Modelação de ambientes virtuais

A modelação de ambientes virtuais pode ser organizada em dois grupos, modelação de ambientes de cidade e modelação de ambientes rodoviários, à semelhança da classificação apresentada por Smelik et al. em 2009 [Smelik09]. Tipicamente estes trabalhos são orientados para a qualidade dos modelos obtidos, não existindo uma preocupação muito forte na criação de modelos de redes viárias, principalmente segundo as normas de traçado, de forma a produzir traçados semelhantes aos reais. Na criação da rede urbana podem adotar um ou mais padrões predefinidos de malha rodoviária. Tipicamente as redes de estradas urbanas seguem um determinado padrão: ortogonal, radial ou em ramificação [Sun02]. Mesmo os trabalhos mais relevantes de geração automática de redes viárias não abordam a possibilidade de utilização em simulação de condução em tempo real para fins científicos [Smelik08] [Galin11].

Paris et al. apresentam uma metodologia para a geração de cidades virtuais, baseada na modelação procedimental baseada em sistemas L [Paris01]. Neste trabalho é apresentada uma aplicação apelidada de *CityEngine*, que é capaz de modelar completamente uma cidade, com um conjunto reduzido de dados de entrada e completamente controlável pelo utilizador. O mapa de estradas é gerado recorrendo a uma extensão dos sistemas L, *Extended L-Systems*.

Che et al. apresentam um trabalho que aborda a problemática da modelação interativa de uma rede de estradas de uma grande área urbana [Chen08]. Os autores descrevem um método, em que o utilizador pode criar uma rede de estradas ou modificar uma já existente a partir de um esboço. Descrevem uma abordagem baseada em *Tensor Field* para guiar a criação da rede de estradas e gerar a aparência global do mapa rodoviário da área urbana a modelar.

Uma proposta para a modelação procedimental de um ambiente virtual, a partir de um esboço inicial, é apresentada por Smelik et al. em 2008 [Smelik08]. O autor descreve um processo em que o ambiente virtual é criado de

forma hierárquica. Partindo do modelo do terreno segue-se o modelo hidrográfico, o modelo da vegetação, o mapa rodoviário, e por último o modelo da cidade. A geração do modelo virtual global resulta da fusão das várias camadas não esquecendo a adequação do modelo de terreno às restantes definições [Latham06]. Para a geração do modelo geométrico do ambiente rodoviário são exploradas as técnicas apresentadas por Kelly et al. em 2008 [Kelly08].

Nos trabalhos apresentados por Bayarri et al., são descritas metodologias para a geração de ambientes rodoviários adequados para simulação de condução a partir de dados de projeto [Bayarri96] [Pareja99]. São contempladas modelações de curvas com a utilização de clotóides e é considerado o traçado em altimetria. Existe uma especial atenção na preparação dos modelos obtidos para a visualização em tempo real. Algumas destas metodologias foram já adotadas anteriormente por outros trabalhos no âmbito deste tema [Campos03] [Campos07]

Thomas et al. apresentam uma cidade virtual, em que é possível encontrar diferentes atores, como: peões, veículos a circular nos diferentes sentidos, transportes públicos e veículos conduzidos por outros condutores, num complexo ambiente rodoviário urbano [Thomas00]. O ambiente urbano é criado recorrendo ao modelador interativo VUEMS [Donikian97]. Os modelos são criados sobre uma definição de terreno em mapa de elevação. Em simultâneo com a criação do modelo da cidade é gerado um modelo semântico. A criação do modelo semântico de acordo com o mapa rodoviário é também utilizada em outros trabalhos relacionados [Campos07] [Bayarri96] [Pareja99] [Thomas00]. O uso de um modelador interativo não permite a geração de um ambiente rodoviário de forma automática e eficiente.

Galin et al. apresentam um método para a criação de estradas [Galin10]. É utilizado o conceito de anisotropia para determinar o melhor percurso para a estrada a projetar. É descrito que o processo de gerar uma via é dividido em duas fases. Primeiro são determinados pequenos segmentos entre o ponto de origem e o ponto de destino segundo uma grelha com espaçamento regular. Na segunda fase, mediante os segmentos determinados anteriormente sobre a grelha regular, é calculado o traçado do eixo da via em planta. Na determinação do traçado do eixo da via utilizam técnicas de suavização de curvas apresentadas por Walton et al. em 2005 [Walton05]. A metodologia apresentada suaviza de forma aproximada o traçado em altimetria, utilizando modelos paramétricos genéricos. Para avaliar as diferentes direções do traçado da via, em cada ponto de análise, recorrem a uma função que avalia o custo de cada hipótese. Na função de custo é considerada a construção sobre água, a inclinação longitudinal da via e a curvatura do traçado, resultante do enquadramento da morfologia do terreno.

Galin et al. em 2011 apresentam um método de geração hierárquica de uma rede de estradas em 3 níveis: rede de autoestradas, rede primária e rede secundária. A geração da rede rodoviária global é iniciada pela criação da rede

de autoestradas, seguida da rede principal e por último a rede secundária. No final, recorrem a um método para efetuar a junção entre as diferentes redes viárias criadas, eliminando a existência de estradas muito próximas, com diferentes origens e partilham o mesmo destino [Alt92]. Na implementação apresentada o modelo rodoviário gerado é organizado em apenas 2 níveis: geração da rede topológica, e geração do modelo geométrico. Para a geração da rede, a metodologia apresentada, parte dos seguintes dados de entrada: terreno, cidades e pontos de referência, definidos pelo utilizador.

Em [OpenDrive10] é proposto um *standard* (linguagem declarativa) para especificação de uma rede viária utilizando uma sintaxe própria em XML. Para a criação do modelo da rede viária é utilizado o modelador interativo *Road Designer*.

Ferramentas tradicionais, como por exemplo CyberCity, Citygen, podem ser utilizadas para criar modelos virtuais, mas ainda continua a ser uma tarefa complexa e morosa [CyberCity12] [Kelly, 2008].

Um simulador de condução para fins científicos requer a preparação de bases de dados com a descrição de cenas de regiões geograficamente extensas, com estradas corretamente modeladas em função das normas e tradições do país que se pretende simular.

Para além do modelo visual é necessário garantir a coexistência de uma base de dados semântica, estruturada de forma hierárquica para consulta exaustiva em tempo real durante a simulação. É também necessário que os modelos de ambientes rodoviários sejam modelados segundo normas de traçado e adequados a simulação de condução para fins científicos.

Os trabalhos relacionados estudados são tipicamente desenvolvidos para a indústria do entretenimento e orientados para a qualidade de visualização.

Na maior parte destas implementações o modelo rodoviário gerado não verifica as normas de traçado sendo uma das lacunas que se pretende colmatar com a elaboração desta proposta. Para atingir esse objetivo, perspetiva-se que a integração dos métodos utilizados em engenharia de vias venham permitir obter traçados semelhantes aos encontrados em traçado real.

Por outro lado é necessário criar em paralelo com o modelo virtual, uma descrição semântica associada à rede rodoviária de modo a que o modelo virtual possa ser utilizado em simulação em tempo real. Esta descrição semântica é importante para a simulação, na medida em que permite a inclusão de atores, assim como também para a produção de relatórios relativos à tarefa de condução.

Parte dos trabalhos relacionados implementam modelos virtuais de cidades, mas não permitem a implementação ou reprodução em ambiente virtual de traçados reais, sendo uma das funcionalidades que também se pretende abranger.

Por isso torna-se necessário desenvolver uma nova abordagem na geração de ambientes rodoviários adequados

para simulação de condução com fins científicos de forma automática.

### 3. PROPOSTA

A metodologia que se apresenta, integra num único processo, a criação automática de um ambiente rodoviário, desde os nós de ligação até à geração do modelo geométrico. Esse ambiente rodoviário deverá ser gerado com base em normas de projeto de redes de estradas do País ou região que se pretende representar.

O preparador do ambiente virtual poderá interagir em qualquer fase do processo, de forma a permitir adequar o modelo de saída às especificidades concretas do projeto a implementar, obtendo modelos totalmente controláveis. No caso de não existir uma especificação inicial, será possível gerar de forma automática um ambiente rodoviário completo.

Com base em métodos de traçado de engenharia de vias, tal como em projeto de vias, será possível obter modelos rodoviários realistas, semelhantes aos encontrados em traçado real e adequados para simulação de condução com fins científicos.

Na proposta que se apresenta, a criação do ambiente rodoviário ao longo de todo o processo é realizada de forma hierárquica, como se ilustra na figura 1.

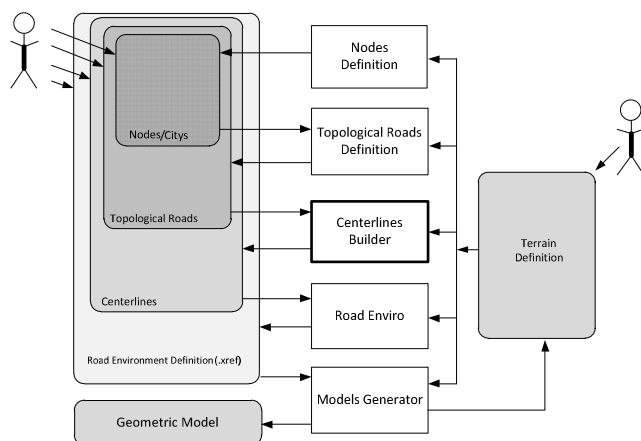


Figura 1. Diagrama funcional

No final do processo, obtém-se uma definição com toda a especificação do ambiente rodoviário, segundo uma ontologia, que corresponderá à definição semântica. Esta definição permitirá no final do processo de geração da definição do ambiente criar o respetivo modelo geométrico, representado pelo bloco da esquerda na figura 1 (*Road Environment Definition*).

Na figura 1 apresenta-se o diagrama funcional da metodologia concebida para a geração de um ambiente rodoviário de forma automática.

Na hierarquia do diagrama que se apresenta, a geração da definição de um ambiente rodoviário inicia-se pelo módulo *Nodes Definition*. Os módulos adjacentes dão continuidade ao processo de geração de um ambiente rodoviário.

Sendo que o módulo *Centerline Builder* é aquele que se destaca mais nesta proposta, pois será onde se centrará mais a inovação na criação de uma definição de uma via, mapeado os métodos utilizados em engenharia de vias. Como se pode ver no diagrama, na coluna da esquerda tem-se no final dos processos obtém-se uma única definição de ambiente rodoviário que permitirá que o módulo *Models Generator* gere automaticamente o modelo visual. Também se pode observar no diagrama a possibilidade de interação do utilizador em qualquer fase do processo. Por último pode-se ver que em todo o processo a definição do terreno é considerada como um dos dados de entrada, podendo ser editada pelo módulo de geração do modelo visual, permitindo que a nova definição seja utilizada como modelo de entrada num novo processo.

O módulo *Nodes Definition* tem como função, no caso de não existir nenhuma definição, gerar automaticamente uma definição simplificada de nós sobre uma área de terreno. A definição de terreno poderá ter associado um conjunto de restrições que deverão ser consideradas. Cada nó associado à sua posição geográfica poderá ter um conjunto de parâmetros que possam ser úteis no processo de geração do modelo visual assim como posteriormente para a simulação. Um dos parâmetros a ter em consideração depois na geração da rede topológica será o fator de importância associado a cada nó [Kelly08] [Weber09].

O segundo bloco do diagrama *Topological Roads Definition* tem como objetivo criar uma definição simplificada de um mapa rodoviário de alto nível e associado a esse mapa, uma definição topológica da rede. Este módulo terá a capacidade de criar nós adicionais de interligação, neste caso com fator de importância zero. Na imagem da figura 2, apresenta-se um exemplo de estudo de uma definição de uma rede topológica gerada por este módulo.

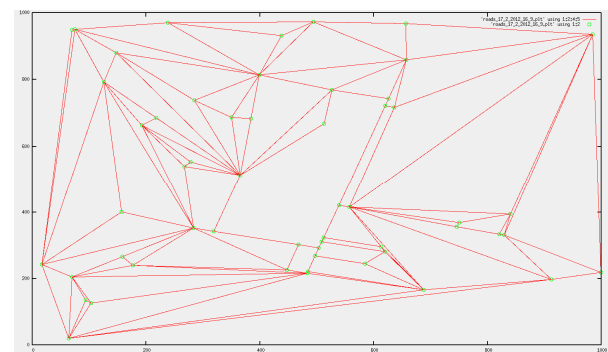


Figura 2. Rede Topológica

Além de definir que nós se interligam através de estradas, será necessário definir um conjunto de parâmetros, relativos ao perfil da via, necessários para a modelação e simulação. Esta análise começará por tratar as redes e os nós com maior importância à semelhança do que acontece noutros trabalhos [Teoh08] [Weber09] [Galin11]. Após a geração da rede topológica, será necessário proceder à sua otimização, simplificando a topologia da rede, podendo inclusive criar nós de ligação adicionais [Alt92].

O terceiro bloco, *Centerlines Builder* é o módulo irá determinar o traçado de cada estrada e o qual se tenciona dar mais ênfase nesta proposta. A partir da definição do mapa rodoviário gerado anteriormente, este módulo, tem como objetivo gerar o eixo da via de cada estrada. Para obter o traçado da via, neste processo serão mapeados os conceitos associados ao projeto de vias rodoviárias, assim como respeitar as normas de traçado. [EP94] [França11].

O processo de geração do eixo da via passará por criar um corredor a diferentes escalas entre o ponto de origem e o ponto de destino, sobre uma grelha regular. Sobre esse corredor com maior resolução, tipicamente à escala de 1:200, serão criados um conjunto de alinhamentos retos que depois permitirão obter o traçado da via em planta, como ilustrado na figura 3.

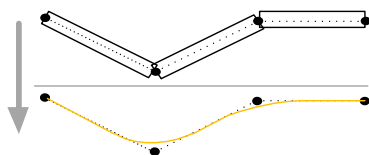


Figura 3. Eixo da via

Para calcular o traçado da via, neste processo serão utilizados métodos de engenharia de vias para obter o eixo da via, como por exemplo, poderá ser utilizado o conceito de linha dos zeros para determinar a diretriz de uma via sobre as diferentes curvas de nível do terreno [França11]. A linha dos zeros por definição é o lugar geométrico dos pontos de interseção da normal às curvas de nível do terreno com o eixo da via, como se ilustra na figura 4.

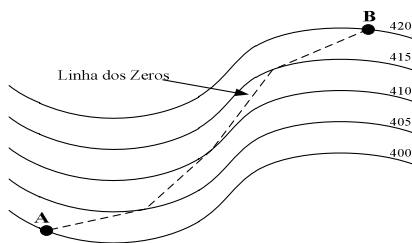


Figura 4. Linha dos Zeros

A linha dos zeros possibilita que num traçado de uma estrada entre dois pontos com cotas diferentes, A e B, o eixo da via mantenha sempre a mesma cota relativamente ao terreno. Para traçar a linha dos zeros é necessário inicialmente calcular a dimensão do segmento entre curvas de nível adjacentes, tendo posteriormente esses segmentos comprimento constante ao longo do traçado sobre as diferentes curvas de nível.

Posteriormente será calculado o traçado em altimetria de acordo com o modelo de terreno utilizado.

O bloco *Road Enviro* será responsável por gerar informação adicional relativa ao meio envolvente à rede rodoviária. Esta informação será útil para gerar o modelo visual e criar um ambiente rodoviário envolvente o mais real possível, com objetos que tradicionalmente se encontram no meio rodoviário que se pretende simular. O principal

objetivo deste módulo é tornar o meio rodoviário envolvente mais imersivo, de modo a ser utilizado em experiências de realidade virtual com fins científicos.

O último bloco, *Model Generator* a partir das definições geradas pelos módulos anteriores, irá gerar o modelo visual do ambiente rodoviário. Para a criação do modelo geométrico, pretende-se mapear métodos desenvolvidos em trabalhos anteriores [Campos07]. Toda a informação gerada na especificação por cada um dos módulos apresentados anteriormente constitui a definição global da ambiente, sendo depois utilizada por este módulo para criar o modelo geométrico, como se ilustra na figura 5.

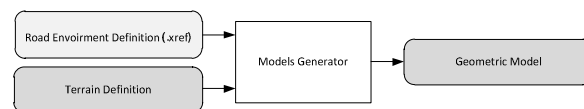


Figura 5. Geração do modelo

A definição semântica é descrita sobre uma ontologia no ficheiro de definição do ambiente rodoviário, sendo obtida como resultado da execução de todo o processo de geração do modelo virtual.

No processo de geração do modelo de ambiente rodoviário é considerada a especificação do modelo de terreno, que no final, estará em concordância com o respetivo modelo geométrico da rede rodoviária e todos os elementos 3D envolventes.

Os modelos de ambientes rodoviários serão gerados em pré processamento, permitindo exportar os modelos obtidos para outros sistemas de simulação.

### Avaliação

A avaliação e validação da metodologia proposta terão como base a realização de estudos experimentais de geração de ambientes rodoviários para fins concretos. Isso implicará o recurso a métodos de avaliação experimental em que envolva o recurso à metodologia desenvolvida para geração de ambientes rodoviários. Tal como referido anteriormente, um dos objetivos da metodologia proposta é que seja passível de ser usada por utilizadores não especialistas em engenharia informática. Para tal ira-se recorrer a utilizadores das diferentes áreas científicas, que tipicamente realizam trabalho experimental em simuladores de condução. Para avaliar a usabilidade da metodologia desenvolvida poderão ser utilizadas métricas como: o tempo e o grau de conhecimento prévio necessário para gerar um ambiente rodoviário, assim como o nível de interação necessário para produzir um modelo de ambiente que cumpra os requisitos exigidos.

A avaliação de uma rede de dados ou rede rodoviária é uma tarefa que deverá ser realizada para permitir classificar a rede obtida. Um método a utilizar consistirá em calcular a distância mínima entre todos os pares de nós [Black06]. Para cada par de nós, essa distância permitirá associar um índice a cada estrada envolvida nesse percurso. Esse índice, associado a parâmetros de construção e utilização da rede, permitirá avaliar a eficiência da rede gerada.

O custo global da rede é calculado, considerado o custo de deslocação de veículos de todos os nós para todos os nós e assumindo que essa deslocação é realizada pelo percurso mais curto da rede rodoviária.

Para uma estrada (AB), como se pode ver pela equação (4), o valor adicionado ao segmento AB é determinado em função da sua extensão e do fator de importância dos nós extremos da ligação (nó de origem/ nó de destino). Sendo o segmento AB o percurso associado apenas a uma estrada.

$$\text{Peso(AB)} = \text{dist(AB)} * (\text{FIorig} + \text{FIdest}) \quad (4)$$

onde  $\text{Peso(AB)}$  corresponde ao valor a adicionar ao segmento AB,  $\text{dist(AB)}$  é a distância entre o ponto A e o ponto B na estrada,  $\text{FIorig}$  é o fator de importância do nó de origem e  $\text{FIdest}$  o fator de importância do nó de destino.

A avaliação do traçado de uma estrada poderá ser realizada, utilizando um conjunto de métricas como por exemplo: extensão das retas, média do raio de curvatura, integral da curvatura, concordância em altimetria, entre outras. Esta análise permitirá validar se a estrada gerada pela metodologia proposta possui um aspeto semelhante ao encontrado em traçado real.

Outra abordagem, consiste em recorrer à colaboração da engenharia de vias para avaliação do traçado obtido.

#### 4. CONCLUSÕES

Um simulador de condução requer a preparação de modelos de ambientes rodoviários corretamente modelados, semelhantes aos encontrados em traçado real e representativos do País ou região que se pretende simular.

A metodologia apresentada permitirá gerar qualquer tipo de ambiente rodoviário de forma automática, com base em dados de projeto, de sistemas de informação geográfica ou de outras fontes. Será possível gerar qualquer tipo de ambiente rodoviário, como por exemplo: rural, urbano e extraurbano.

Para além destas funcionalidades, a metodologia apresentada permitirá gerar modelos com elevado realismo, de forma automática e de interação simples para o preparador da experiência. Pretende-se que o utilizador possa interagir no processo de modelação de modo a definir a aparência do modelo final para se adequar a cada caso específico, produzindo modelos totalmente controláveis.

A metodologia apresentada, na geração do ambiente rodoviário permite entrar em consideração com a definição do modelo do terreno. Está contemplada, na proposta apresentada, a adequação do modelo de terreno ao ambiente rodoviário gerado após a geração do modelo geométrico.

Estas características permitirão obter uma grande diversidade de modelos de redes viárias, com vias corretamente modeladas, com inclusão de sinalização de trânsito e mobiliário urbano envolvente. Possibilitarão obter modelos

de excelente qualidade, reduzindo drasticamente o trabalho e os custos envolvidos na preparação de experiências de simulação de condução, uma vez que evitam a modelação integral do ambiente por parte do utilizador, principalmente a prévia obtenção do traçado da via a partir de dados de projeto.

A avaliação a realizar incluirá o estudo do traçado das estradas criadas, do modelo de rede viária, assim como de todo o processo automático de geração do modelo rodoviário.

A realização deste trabalho vem trazer um contributo inovador na especificação e geração automática de ambientes rodoviários destinados a simulação em tempo real. No cálculo do traçado de uma estrada pretende-se desenvolver uma nova abordagem, recorrendo a métodos desenvolvidos em trabalhos semelhantes e principalmente a métodos utilizados em projeto de vias.

Uma das principais vertentes de aplicação desta metodologia será a geração de ambientes rodoviários adequados à simulação de condução, permitindo a realização de estudos científicos nas mais diversas áreas.

No futuro próximo será possível apresentar resultados concretos obtidos segundo a metodologia apresentada.

#### 5. AGRADECIMENTOS

A realização desta proposta contou com o contributo especial do diretor do laboratório de análise de tráfego, onde se encontra instalado o simulador de condução DriS, Prof. Dr. Carlos Rodrigues do Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia da universidade do Porto.

#### 6. REFERENCIAS

- [Alt92] ALT H., GODAU M.: Measuring the resemblance of polygonal curves. In Symposium on Computational Geometry, pp. 102–109. 1992.
- [Autodesk12] Autodesk, Civil3D, aplicação de projeto de vias de comunicação, informação disponível em: <<http://www.autodesk.pt>>, em Janeiro 2012.
- [Bayarri96] Bayarri, S; Fernadez, M; Perez, M; Virtual Reality for driving simulation-Bayarri, Vol. 39, n.º 5, Communications of the ACM, 1996.
- [Black06] Black, P; “Dijkstra's algorithm”, in Dictionary of Algorithms and Data Structures, documento disponível em: <<http://www.nist.gov/dads/HTML/dijkstraalgo.html>>
- [Campos03] Campos, C.; Cunha, V.; Leitão, J.; Geração de Ambientes Rodoviários para Simulação de Condução, 12º encontro Português de Computação Gráfica, p. 143-147, Outubro de 2003.
- [Campos07] Campos, C.; Leitão, J.; Rodrigues, C.; Modelação de Ambientes Rodoviários de Grandes Dimensões, 15.º Encontro Português de Computação Gráfica, Outubro de 2007.
- [Chen08] Chen, G.; Esch, G.; Wonka, P.; Muller, P.; Zhang, E.; Interactive Procedural Street Modeling, *ACM SIGGRAPH*, 2008.

- [CyberCity12] CyberCity 3DTM; CyberCity: modelador interativo de ambientes virtuais, <<http://www.cybercity3d.com/>>, Junho 2012.
- [Donikian97] Donikian, S.; VUEMS: A Virtual Urban Environment Modeling System, Computer Graphics International, pp. 84-92, 1997.
- [EP94] Normas de traçado, Junta Autónoma das Estradas, Atual Estradas de Portugal (E), ISBN-96379-6-2, 1994.
- [França11] França, A.; Apontamentos de vias de comunicação, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, consultado em Julho de 2011.
- [Galin10] Galin, E.; Peytavie, A.; Maréchal, N.; Guérin, E.; Procedural Generation of Roads, *EUROGRAPHICS*, Volume 29, 2010.
- [Galin11] Galin, E.; Peytavie, A.; Guérin, E.; Benes, B.; Authoring Hierarchical Road Networks, *Pacific Graphics*, Volume 30, 2011.
- [Kelly08] Kelly, G.; McCabe, H.; Citygen: An Interactive System for Procedural City Generation. GDTW, UK, 2008.
- [Latham06] Latham, R.; Burns, D.: Dynamic Terrain Modification Using a Correction Algorithm, IMAGE 2006 Conference Scottsdale, Arizona, Julho 2006.
- [Leitão00] Leitão, J.; Agentes Autónomos Controláveis em Simuladores de Condução, tese para obtenção do grau de Doutor, pela Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, em Setembro de 2000.
- [OpenDrive10] OpenDRIVE, Format Specification REV 1.3, documento disponível em: <<http://www.opendrive.org/docs/OpenDRIVEFormatSpecRev1.3D.pdf>>, Agosto de 2010.
- [Pareja99] Pareja, I.; Bayarri, S.; Rueda, S.; Modelado de calidad para la visualización interactiva de carreteras, IX Congresso de Engenharia Informática, 1999.
- [Paris01] Parish, Y.; Muller, P.; Procedural Modeling of Cities; ACM Computer Graphics (Proceedings of SIGGRAPH'2001), pp. 301-308, 2001.
- [Smelik08] Smelik R. M.; Tutenel T.; Kraker K.J.; Bidarra R.; A Proposal for a Procedural Terrain Modelling Framework, EGVE Symposium, 2008.
- [Smelik09] Smelik, R.; Kraker, J.; Groenewegen, S.; Tutenel, T.; Bidarra, R.; A Survey of Procedural Methods for Terrain Modelling, Proceedings of the CASA Workshop on 3D Advanced Media In Gaming And Simulation, 2009.
- [Sun02] Sun, J.; Baciú, G.; Yu, X.; Green, M.; Template-Based Generation of Road Networks for Virtual City Modeling, VRST'02, pp 33-40, NY USA, 2002.
- [Teoh08] Teoh, S.; Algorithms for the Automatic Generation of Urban Streets and Buildings, Proceedings of the International Conference on Computer Graphics and Virtual Reality (CGVR'08), Julho 2008.
- [Thomas00] Thomas, G. and Donikian, S.; Modelling Virtual Cities Dedicated to Behavioural Animation. *EUROGRAPHICS* 2000, vol. 19(3), 2000.
- [Walton05] Walton D., Meek D.: A controlled clothoid spline, *Computer & Graphics*, vol. 29, 2005.
- [Weber09] Weber, B.; Müller, P.; Wonka, P.; Gross, M.; Interactive Geometric Simulation of 4D Cities, *Eurographics*, vol. 28, 2009.