

# Uso de Realidade Virtual no Desenvolvimento de um Sistema de Controle do Estacionamento de Veículos Autônomos

Milton Heinen<sup>2</sup>, Fernando Osório<sup>2</sup>, Farlei Heinen<sup>3</sup> e Christian Kelber<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS)

<sup>2</sup>Mestrado em Computação Aplicada, <sup>3</sup>Engenharia da Computação  
CEP 93022-000 - São Leopoldo - RS - Brasil

mheinen@turing.unisinos.br, {fosorio, farlei, kelber}@unisinos.br

**Abstract.** *The main goal of this paper is to demonstrate the use of Virtual Reality in the development of an intelligent autonomous vehicle control system. We describe the SEVA3D System, that implements a virtual environment used to simulate the autonomous parking of a car in a parallel parking space. The SEVA3D System is able to control the car through the reading of sonar sensors, generating the acceleration and steering commands for parking the car in a parallel parking space. The controller was implemented using a rule-based Finite-State Automata, and the results obtained in our simulations demonstrated that the proposed controller is perfectly able to correctly park the vehicle in different situations using just the sensor's information.*

**Resumo.** *O objetivo deste artigo é demonstrar o uso de Realidade Virtual no desenvolvimento de sistemas de controle inteligente de veículos, através da apresentação do Sistema SEVA3D, que implementa um ambiente virtual no qual é realizado o estacionamento de um veículo de forma autônoma em uma vaga paralela. O sistema SEVA3D permite controlar o carro através da leitura de um conjunto de sensores do tipo sonar, gerando os comandos de aceleração e de giro de direção, de modo a estacionar o carro em uma vaga paralela. O sistema conta com um controlador implementado através do uso de um autômato finito baseado em regras, e os resultados obtidos demonstram que o controlador é capaz de estacionar corretamente o carro baseado apenas nas informações provenientes dos sensores.*

## 1. Introdução

Os veículos autônomos (RMA - Robôs Móveis Autônomos) tem atraído a atenção de um grande número de pesquisadores, devido ao desafio que este novo domínio de pesquisas propõe: dotar os sistemas de uma capacidade de raciocínio inteligente e de interação com o meio em que estão inseridos. Os RMA podem perceber o ambiente em que estão inseridos através da leitura de seus sensores (infravermelho, sonar, lasers, câmeras de vídeo, etc), e através desta percepção sensorial eles podem planejar melhor as suas ações [Medeiros 1998, Heinen 1999].

Atualmente os robôs móveis atuam em diferentes áreas, como desarmamento de bombas, exploração de ambientes hostis, e a condução de veículos industriais de forma semi-automática. Alguns exemplos de RMA são: o sistema ALVINN, desenvolvido pelo NavLab da CMU [Pomerleau 1990, Batavia et al. 1996], que é capaz de conduzir uma

caminhonete pelas estradas americanas; os robôs do tipo *rover* enviados para Marte pela NASA [Stone 1996]; o robô Dante, que explora o interior de vulcões [Lemonick 1994]; e o sistema de controle de um veículo Ligier elétrico desenvolvido pelo INRIA na França [Paromtchik and Laugier 1996, Laugier et al. 1998]. Todos estes sistemas possuem em comum a capacidade de receber leituras de sensores que lhes dão informações sobre o ambiente em que estão inseridos, e de modo semi ou completamente autônomo, geram os comandos que fazem com que eles se desloquem no ambiente de modo seguro, ou seja, sem se chocar contra obstáculos ou colocar em risco a sua integridade ou a dos diferentes elementos presentes no ambiente.

A partir de estudos e das pesquisas desenvolvidas pelo Grupo de Inteligência Artificial (GIA-PIPCA) e pelo Grupo de Pesquisas em Veículos Autônomos (GPVA) da Unisinos [Kelber et al. 2005], foram criadas as bases para o desenvolvimento de aplicações na área de robótica autônoma móvel. Destaca-se particularmente o desenvolvimento do sistema SEVA (Simulador de Estacionamento de Veículos Autônomos) [Osório et al. 2001], que realiza a tarefa de estacionamento de um robô não-holonômico (tipo carro) em uma vaga paralela. Este simulador utiliza um ambiente virtual do tipo bidimensional (2D) no qual um veículo equipado com seis sensores do tipo infra-vermelho é controlado através do uso de um autômato finito [Osório et al. 2002].

Uma das principais limitações do SEVA original é que pelo fato do ambiente simulado ser bidimensional, os objetos presentes não possuem altura, o que torna o modelo muito simplificado em relação à realidade. Em um ambiente tridimensional (3D), tarefas como a localização do meio-fio da calçada são mais difíceis de serem executadas, pelo fato do meio-fio possuir uma altura muito pequena. Outra limitação do modelo é que em um ambiente bidimensional, a presença de ruídos nos dados coletados por sensores infravermelhos é praticamente nula, o que torna o modelo muito diferente da realidade.

Por causa destas limitações, foi proposto o desenvolvimento de um novo sistema, chamado de SEVA3D (Simulador de Estacionamento de Veículos Autônomos em um ambiente tridimensional) [Heinen and Osório 2005], que utiliza Realidade Virtual para simular um ambiente tridimensional no qual é possível realizar o controle de um veículo de forma autônoma. Utilizando o SEVA3D, é possível realizar o estacionamento de um veículo do tipo carro em uma vaga paralela de forma autônoma através do uso de um autômato finito baseado em regras. O controlador do SEVA3D também permite a retirada do carro da vaga, colocando-o novamente na via.

## **2. Simulação de veículos autônomos**

Na área de veículos móveis autônomos, as pesquisas podem ser realizadas diretamente em veículos reais, mas esta abordagem possui as seguintes desvantagens:

- Durante os experimentos, existe um grande risco de se danificar o veículo e os elementos presentes no ambiente, ou até por em risco a vida das pessoas que estejam à volta (principalmente se o veículo ainda não estiver totalmente configurado);
- Em veículo real, tarefas como a recarga de baterias (no caso de veículos elétricos), reabastecimento de combustível, manutenção e reposicionamento precisam ser realizadas com certa frequência, o que acarreta mais gastos do ponto de vista financeiro;
- Antes de iniciar as simulações, é preciso ter um veículo real equipado com todos

os dispositivos a serem utilizados nos experimentos, e muitas vezes alguns destes dispositivos se mostram desnecessários ou inadequados à tarefa.

Para se evitar estes problemas, as pesquisas podem ser iniciadas utilizando um veículo simulado em um ambiente virtual, e só depois que o modelo estiver bem definido, testado e validado é que as pesquisas são realizadas em um veículo real. Esta abordagem possui as seguintes vantagens [Law and Kelton 2000]:

- Em um ambiente virtual, não existe o risco de se danificar o veículo, os elementos do ambiente ou por em risco a integridade das pessoas que estejam à volta;
- Tarefas como reabastecimento e manutenção não são necessárias, o que agiliza as pesquisas e economiza recursos;
- O reposicionamento do veículo pode ser realizado de forma trivial;
- Antes de se adquirir um veículo real com todos os equipamentos a serem utilizados, pode-se realizar simulações para ver quais equipamentos são realmente necessários, e adquirir somente estes;
- Em um ambiente virtual, é possível testar o sistema em condições extremas, muitas vezes perigosas, o que nem sempre é possível em um ambiente real.

Desta forma, é possível afirmar que a Realidade Virtual é uma ferramenta muito útil na área de pesquisa de veículos autônomos, pois permite que os experimentos sejam realizados mais rapidamente e com um custo muito menor do que se fossem realizados diretamente em veículos reais.

### **3. Simulador SEVA3D**

O simulador SEVA3D possui diversas melhorias em relação ao SEVA original, dentre as quais é possível destacar:

- Utiliza a Realidade Virtual para simular um ambiente tridimensional realístico e sensores do tipo sonar;
- Realiza o estacionamento do veículo em uma vaga paralela independente da posição ou da presença de outros carros estacionados (o sistema funciona mesmo que não haja nenhum outro carro estacionado);
- Permite retirada do veículo da vaga, conduzindo-o de volta à via;
- É muito mais robusto em relação à distância entre o carro e o meio-fio;
- Realiza o afastamento do veículo de forma automática se ele estiver muito próximo aos carros estacionados ou ao meio-fio antes do início da manobra;
- Permite que a manobra seja visualizada sob qualquer ângulo e posição do ambiente.

O simulador SEVA3D possui diversos componentes, cada um responsável por uma tarefa específica. Os principais componentes do modelo do SEVA3D são:

- Simulador do ambiente virtual;
- Modelo sensorial;
- Modelo cinemático (deslocamento do veículo);
- Comandos relacionados ao deslocamento (avançar, recuar e velocidade) e ao giro do veículo (rotação da direção);
- Sistema de controle do veículo durante o estacionamento (autômato finito).

### 3.1. Ambiente virtual

Para a implementação do ambiente virtual do SEVA3D, foi utilizado o simulador SimRob3D [Heinen 2002, Heinen and Osorio 2002], desenvolvido pelo Grupo de Inteligência Artificial (GIA-PIPCA) e pelo Grupo de Pesquisas em Veículos Autônomos (GPVA) da Unisinos. Este simulador tem como principal característica o fato de utilizar um ambiente tridimensional para a navegação dos robôs móveis simulados. O ambiente pode ser modelado em diversos softwares de modelagem tridimensional existentes no mercado, e permite que sejam especificados os diversos elementos presentes no ambiente (objetos, luzes, texturas), o que resulta em um nível de realismo muito superior aos obtidos em simuladores bidimensionais. O simulador SimRob3D possui diferentes modelos sensoriais e cinemáticos, permitindo a configuração de diversos tipos de robôs. A Figura 1 mostra uma imagem do ambiente virtual durante a manobra de estacionamento. O simulador



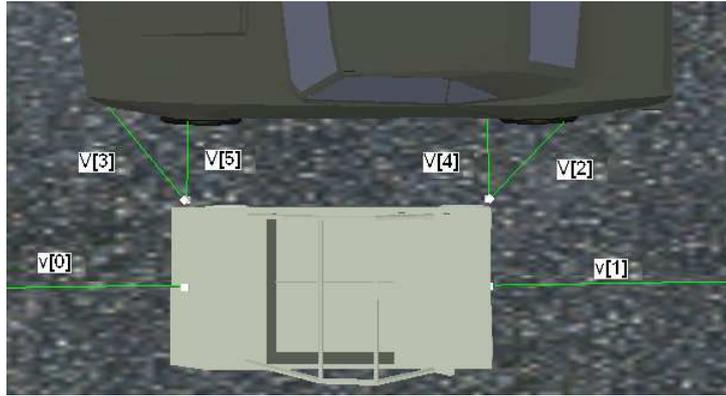
Figura 1. Ambiente modelado

permite que a posição da câmera dentro do ambiente virtual seja alterada, o que permite que a manobra de estacionamento possa ser assistida de qualquer ângulo.

### 3.2. Modelo sensorial

Os sensores de distância simulam sensores do tipo sonar, que são capazes de determinar a distância entre o veículo e os obstáculos presentes no ambiente: outros carros e a calçada. Os seis sensores utilizados estão distribuídos em pontos estratégicos do carro, como mostra a Figura 2. Foram implementados apenas os sensores da lateral direita do veículo, pois o modelo se restringiu ao estacionamento em vagas paralelas localizadas no lado direito do carro, caso típico em pistas de duas vias. Os sensores  $V[2]$  e  $V[3]$  precisaram ser instalados com uma certa inclinação em relação ao solo, para que fosse possível detectar o meio-fio. O SEVA3D permite que seja utilizada qualquer configuração (localização e quantidade) de sensores, mas nos experimentos descritos neste artigo apenas a configuração da Figura 2 foi utilizada.

Os sonares são simulados através da definição de uma seção cônica no espaço virtual (simulando o cone no qual as ondas sonoras se propagam em um sonar real), onde



**Figura 2. Localização dos sensores**

os objetos que estiverem dentro do volume formado pelo cone são detectados. A intersecção entre os objetos e o cone do sonar (espaço de percepção) é detectada através de uma abordagem estocástica. Diversas linhas de detecção de objetos (raios) são gerados a partir da posição do sensor e direcionados de acordo com a orientação espacial do sonar, permanecendo dentro do volume formado pelo cone. Uma técnica de RayCast [Foley 1994] foi utilizada para traçar os raios, que são distribuídos aleatoriamente no volume formado pelo cone do sonar. Se algum dos raios colidir com algum dos objetos presentes no ambiente, a distância do sensor até o ponto de colisão é informada. Segundo [Dudek and Zhang 2000], a simulação de sensores do tipo sonar através desta técnica garante que os resultados obtidos sejam bastante próximos à realidade.

Além dos sensores do tipo sonar, foi utilizado um sensor do tipo odômetro, que serve somente para verificar se o tamanho da vaga do estacionamento é grande o suficiente para permitir a manobra. O uso do odômetro torna o estacionamento possível de ser realizado independente da posição relativa dos outros carros. De fato, mesmo se não houverem outros carros estacionados para servir como pontos de referência, o estacionamento é possível graças ao uso do odômetro.

### 3.3. Modelo cinemático

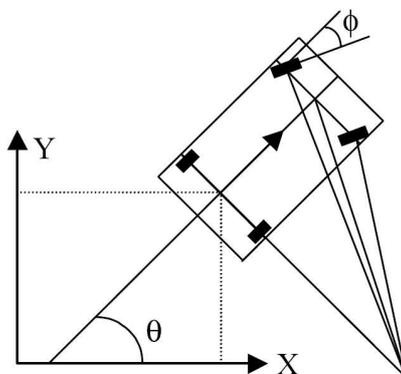
A movimentação do veículo respeita o modelo Ackerman de cinemática de um veículo [Dudek and Zhang 2000], também adotado em [Garnier et al. 1999]. Neste modelo é simulado um veículo representado por um volume retangular suportado por quatro rodas, onde as rodas traseiras possuem um eixo fixo e as rodas dianteiras podem ser direcionadas, através do giro da barra da direção. As coordenadas do veículo são definidas por  $P(t) = (x(t), y(t), \theta(t))$ , onde  $x(t)$  e  $y(t)$  definem o ponto médio do eixo traseiro do veículo (Figura 3) no instante  $t$  e  $\theta(t)$  indica a sua orientação (ângulo em relação à direção de referência). O deslocamento do veículo é estimado através das seguintes equações [Dudek and Zhang 2000]:

$$x(t) = \int_0^t V(t) \cos[\phi(t)] \cos[\theta(t)] dt \quad (1)$$

$$y(t) = \int_0^t V(t) \cos[\phi(t)] \sin[\theta(t)] dt \quad (2)$$

$$\theta(t) = \int_0^t \frac{V(t)}{L} \tan[\phi(t)] dt \quad (3)$$

onde  $V(t)$  representa a velocidade do veículo no instante  $t$ ,  $\phi(t)$  representa o giro da direção do veículo no instante  $t$ , e  $L$  indica o comprimento do eixo das rodas. A Figura 3 apresenta um esquema do modelo cinemático adotado no SEVA3D. Convém notar que



**Figura 3. Modelo cinemático**

os valores  $x(t)$  e  $y(t)$  dependem de  $\theta(t)$ , que é alterado de forma contínua durante o deslocamento do veículo.

### 3.4. Controle

O deslocamento do veículo é obtido na simulação através do controle de sua velocidade  $V$  e do giro da direção  $\phi$ . Diferentemente do sistema SEVA original, no SEVA3D as velocidades adotadas durante a manobra podem ser definidas pelo usuário em um arquivo de configuração, em valores entre 0 (parado) a 80 (muito rápido). Quando o veículo precisa se deslocar para trás, é utilizada a velocidade com sinal negativo. Durante o estacionamento, conforme o estado da manobra as velocidades utilizadas podem ser menores que a velocidade informada, pois o sistema reduz automaticamente a velocidade ao se aproximar dos pontos onde irão ocorrer a troca de estados.

O giro da direção durante a manobra ( $\phi$ ) também pode ser informado pelo usuário através de um arquivo de configuração, em valores entre 0 e 35, que correspondem ao giro máximo da direção em graus durante a entrada do carro na vaga. Quando o veículo precisa virar à direita,  $\phi$  é utilizado com sinal negativo.

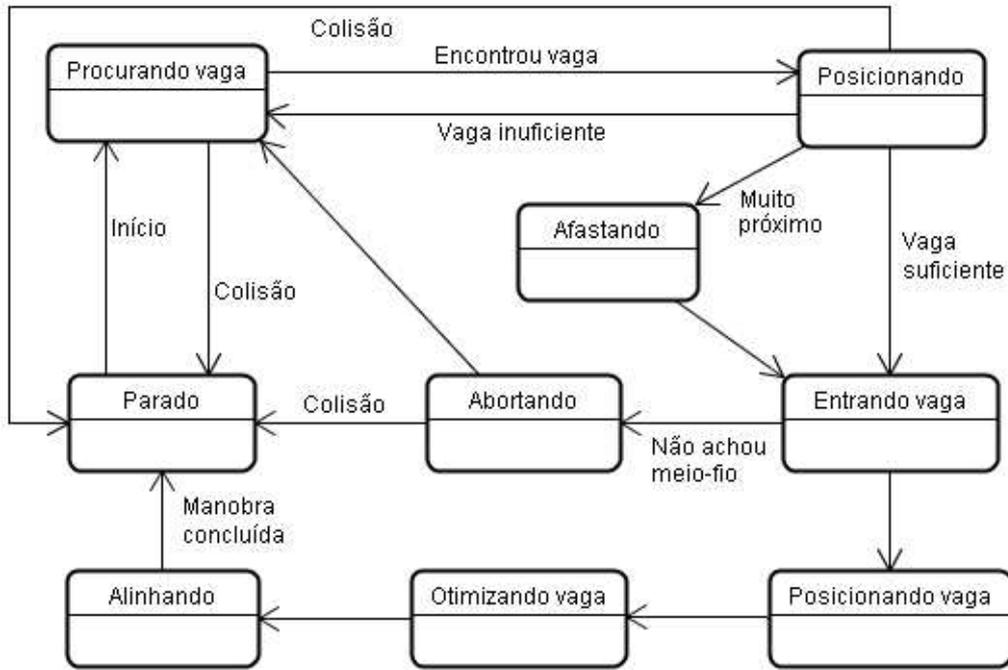
### 3.5. Autômato finito - estacionamento

A Figura 4 mostra o diagrama de estados do autômato finito utilizado no estacionamento pelo SEVA3D. Foram utilizados nove estados, dois a mais que no SEVA original. As finalidades de cada um dos estados são:

**Parado:** Estado inicial do autômato, antes do veículo começar a se deslocar. Também é o estado atingido quando se detecta uma colisão;

**Procurando vaga:** Início da manobra de estacionamento, quando o veículo se desloca para frente com a direção reta, buscando encontrar uma vaga. Se encontrar, o estado muda para *Posicionando*;

**Posicionando:** O veículo se desloca para a frente, a fim de atingir uma posição que torne possível o estacionamento, e também para verificar se a vaga é suficientemente grande. Se não for, o estado volta para *Procurando vaga*. Caso o veículo se encontre muito próximo



**Figura 4. Estados do autômato**

aos carros estacionados à direita, o estado muda para *Afastando*. Se a vaga for de tamanho suficiente, o estado muda para *Entrando vaga*;

***Afastando:*** A autômato entra neste estado quando o veículo se encontra muito próximo aos carros estacionados na lateral direita (menos de 30cm), o que dificulta a manobra. Neste caso, o carro inicialmente se desloca para a frente com a direção voltada para à esquerda, a fim de se afastar dos carros estacionados. Após ter se afastado o suficiente, o carro é novamente alinhado de forma paralela em relação à via. Para que isto ocorra, o giro da barra de direção é calculado através da fórmula:

$$\phi(t) = \arctan \left( \frac{L \theta(t)}{V(t)} \right) \quad (4)$$

Se  $\phi(t)$  for maior que o giro máximo da barra de direção ( $\phi_{max}$ ), o ajuste é limitado a  $\phi_{max}$ , o que faz com que a manobra exija vários passos sucessivos até ser concluída. Após o carro estar alinhado, ele volta para trás com a direção reta até atingir a posição ideal para o início da manobra de estacionamento, e o estado muda para *Entrando vaga*;

***Entrando vaga:*** O carro vira a direção para a direita e começa a se movimentar para trás, de forma a entrar na vaga. Os valores de  $\phi$  e  $V$  utilizados são os que foram pré-configurados pelo usuário. Quando o sensor **V[2]** (Figura 2) detectar o meio-fio da calçada, o estado muda para *Posicionando vaga*. Caso o veículo ultrapasse uma distância limite sem encontrar o meio-fio, o estado muda para *Abortando*;

***Abortando:*** Quando não for possível encontrar o meio-fio da calçada, o veículo faz uma manobra de retorno até o meio da via, na qual o giro da direção é calculado pela fórmula:

$$\phi(y) = \int_{y_0}^{y_d} -\theta(y) \left( \frac{y - y_d}{y_0 - y_d} \right) dy \quad (5)$$

onde  $y_0$  é a posição carro em relação a  $y$  no início deste estado,  $y_d$  é a posição  $y$  desejada (no meio da via). Esta fórmula faz com que a direção do carro inicialmente se volte totalmente para a direita ( $\phi_{max}$  à direita) e a medida que o carro vai se aproximando de  $y_d$ , as rodas do veículo tendem a se posicionar de forma paralela à via, fazendo com que a manobra de retorno seja suave. Quando  $y \geq y_d$ , o estado volta para *Procurando vaga*. A posição de retorno do veículo após esta operação é no meio da via, ao lado do carro situado à frente da vaga, de forma que a esta vaga não seja novamente detectada;

**Posicionando vaga:** neste estado, o veículo prossegue para trás, mas com a direção voltada para à esquerda. Quando o sensor **V[3]** detectar o meio-fio da calçada ou o sensor **V[1]** detectar um obstáculo a menos de 30cm, o estado muda para *Otimizando vaga*;

**Otimizando vaga:** o carro se desloca para frente de forma a ficar paralelo ao meio-fio, e o giro da direção é calculado novamente usando a Fórmula 4. Após o carro estar paralelo, o estado muda para *Alinhando*;

**Alinhando:** neste estado o veículo é movimentado de forma a ficar a uma distância razoável em relação aos carros estacionados à frente e atrás. Após o alinhamento estar concluído, o estado muda para *Parado* e a manobra é encerrada.

Em relação à detecção de colisões, ela é realizada pelos sensores do tipo sonar, de forma que toda vez que um obstáculo estiver a menos de 30cm do veículo e este estiver se movendo em direção ao obstáculo, uma colisão iminente é detectada e o sistema vai para o estado *Parado*, impedindo assim a colisão.

### 3.6. Autômato finito - retirada

O diagrama de estados do autômato finito utilizado durante a retirada do veículo é mostrado na Figura 5. Para que a retirada seja possível, o carro precisa estar situado dentro de

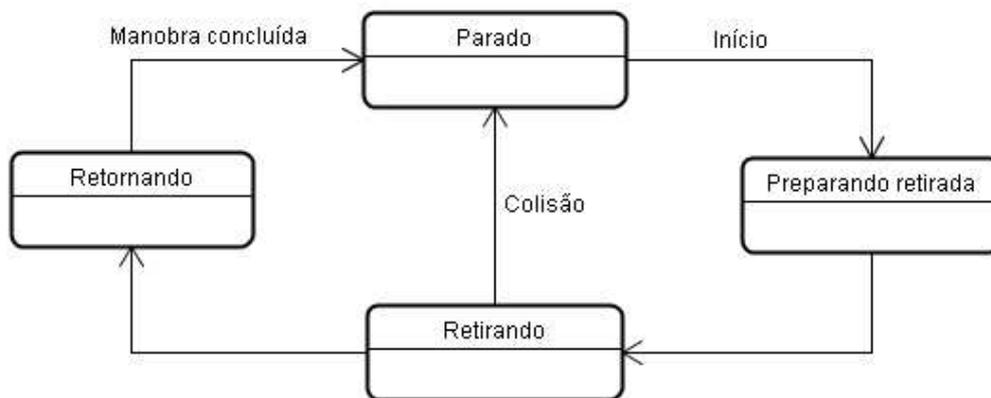


Figura 5. Estados na retirada

uma vaga. As finalidades de cada um dos estados são:

**Preparando retirada:** o veículo se desloca para trás até ficar a menos de 30cm do veículo estacionado atrás, se houver um, ou até quando a distância em relação ao carro da frente for suficiente para a retirada;

**Retirando:** O veículo se desloca para frente, fazendo um movimento de “S”, de forma a voltar para o meio da via. O movimento da barra de direção durante a retirada é calculado

pela fórmula:

$$\phi(x) = \int_0^{x_d} \left[ \frac{\phi_{max}(x - x_d)}{-x_d} - \frac{\theta(x)}{x_d} \right] dx \quad (6)$$

onde  $x_d$  é a posição  $x$  desejada ao final da manobra. Esta fórmula faz com que inicialmente a direção se volte para a esquerda, e a medida que o carro se desloca em direção a  $x_d$ , as rodas vão girando de forma a ficarem paralelas com a via (para a direita). O valor de  $x_d$  é calculado a partir da distância do carro em relação ao carro da frente. Quanto maior a distância, maior o valor de  $x_d$ , o que torna a manobra mais suave. Se for detectada uma colisão, o estado muda para *Parado*. Quando  $x \geq x_d$ , o estado muda para *Retornando*;

**Retornando:** o carro é novamente alinhado de forma paralela em relação à via, e após isto o estado muda para *Parado* e a manobra é encerrada.

#### 4. Implementação

Para a implementação do modelo, foi utilizado o simulador SimRob3D [Heinen 2002], e foi construído no *software* 3D Studio Max um modelo de tridimensional de uma via com carros estacionados, para que fosse possível realizar o estacionamento de forma adequada (Figura 1). O veículo modelado para realizar o estacionamento é uma reprodução de um veículo real do tipo Mini-Baja Buggy, disponível para pesquisas em nossos laboratórios. Este veículo foi desenvolvido pelo Grupo de Pesquisas em Veículos Autônomos (GPVA) da Unisinos<sup>1</sup>.

O veículo real foi automatizado e pode ser controlado por dispositivos remotos, como um telefone celular. A Figura 6(a) mostra o veículo Mini-Baja Buggy real, e a Figura 6(b) mostra o modelo virtual utilizado pelo SEVA3D. Atualmente o veículo real está sendo equipado com os dispositivos necessários para realizar a tarefa de estacionamento (sensores do tipo sonar), para que em breve venha a ser utilizado para validar o modelo de controle do SEVA3D.



(a) Veículo real

(b) Veículo simulado

**Figura 6. Veículo Mini-Baja automatizado**

O simulador SEVA3D<sup>2</sup> realiza uma integração discreta das fórmulas 1, 2 e 3, de forma que a simulação realizada é bastante próxima à realidade. Para acompanhar a

<sup>1</sup><http://www.exatec.unisinos.br/~autonom/>

<sup>2</sup><http://inf.unisinos.br/~osorio/seva3d/>

manobra de estacionamento, o usuário pode visualizar o ambiente com a câmera virtual posicionada em qualquer ponto, e além disto, uma tela fornece diversas informações relativas à simulação, como o estado do autômato, os valores percebidos pelos sensores, a velocidade, o giro da direção, etc. A Figura 7 mostra a tela contendo estas informações.

Sensor Frontal:	369.13
Sensor Traseiro:	342.18
Diagonal Traseiro:	153.61 - Média: 147.41
Diagonal Frontal:	119.29 - Média: 123.34
Lateral Traseiro:	167.09
Lateral Frontal:	597.95
Velocidade:	-1.00
Angulo Volante:	35.00
Odômetro:	-48.54
Estado:	POSICIONANDO VAGA

Figura 7. Tela de informações

A implementação do SEVA3D foi validada através de diversos testes preliminares, e nestes testes foi verificado que o modelo simulado se comporta de forma similar à realidade.

## 5. Resultados

Para validar o sistema SEVA3D, diversos experimentos foram planejados e realizados. Para que fosse verificada a robustez do sistema, foram realizados diversos conjuntos de simulações, e em cada conjunto foi variado algum dos seguintes fatores:

- A posição inicial do carro em relação ao centro da via: foram testadas posições desde poucos centímetros em relação aos demais carros estacionados até três metros em relação a estes;
- O estacionamento foi testado entre dois carros, na presença de apenas um carro e também sem nenhum outro carro estacionado na via;
- O estacionamento foi testado próximo à esquinas e entradas de garagem;

Devido a natureza estocástica da simulação (dados sensoriais estocásticos), cada conjunto de simulações descrito acima foi testado dez vezes utilizando sementes aleatórias diferentes. A média geral de todos os experimentos foi de 96,83% de sucesso, ou seja, em apenas 3,17% dos experimentos o SEVA3D não conseguiu estacionar o carro adequadamente.

Nas simulações realizadas variando a distância do carro em relação ao meio fio, verificou-se que quando o carro está mais próximo dos carros estacionados na lateral, a direção precisa ser rotacionada em um ângulo maior do que quando o carro está mais distante. Nas simulações em que o carro estava muito próximo aos demais, o afastamento foi realizado e o estacionamento foi completado com sucesso. Quando o estacionamento foi realizado próximo à esquinas ou em entradas de garagens (modeladas no ambiente virtual), o controlador percebeu que a vaga não era adequada e abortou a manobra no estado *Entrando Vaga*, voltando para o meio da via.

O estacionamento realizado pelo SEVA3D foi considerado bastante satisfatório, pois as distâncias do carro estacionado em relação ao meio-fio tiveram uma média de 26,16cm e um desvio padrão de 5,92cm. Isto demonstra que o sistema é seguro e robusto no estacionamento de veículos. Em relação à retirada do veículo da vaga, ela foi bem sucedida em todas as simulações realizadas. A Figura 8 mostra o exemplo de uma manobra de estacionamento realizada pelo SEVA3D. As primeiras seis imagens (da esquerda para a direita e de cima para baixo) mostram o veículo durante a manobra de estacionamento, e as duas imagens finais mostram o carro estacionado sob outros ângulos.

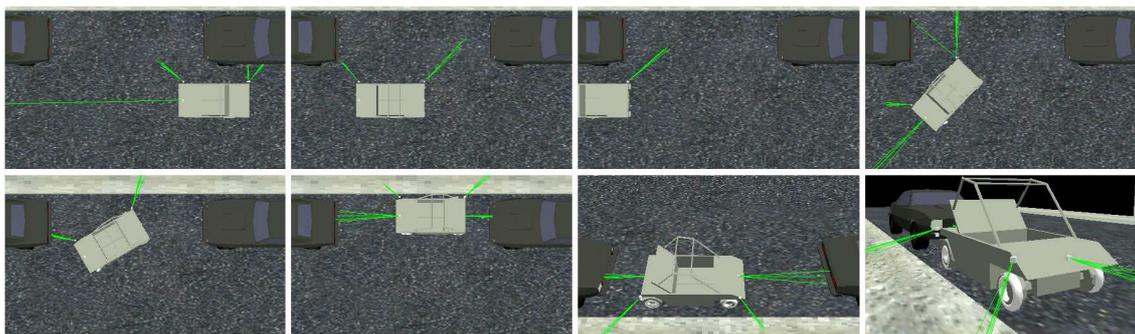


Figura 8. Exemplo de uma manobra de estacionamento

## 6. Conclusões e perspectivas

Este artigo teve como objetivo descrever o uso de Realidade Virtual no desenvolvimento de sistemas de controle de veículos autônomos, em especial no desenvolvimento de um simulador para o controle da tarefa de estacionamento de um veículo em vagas paralelas. O simulador desenvolvido utiliza um ambiente virtual tridimensional e sensores simulados do tipo sonar. Os resultados obtidos nas simulações realizadas demonstraram que o sistema possui a capacidade de controlar corretamente o veículo, cumprindo seu objetivo principal: estacionar o veículo corretamente na vaga, sem bater nos demais obstáculos que estão ao seu redor. Os testes permitiram constatar que a tarefa de estacionamento pode ser corretamente executada, e o estacionamento foi considerado estável, seguro e robusto.

Também é importante destacar que o uso de Realidade Virtual permitiu a realização de diversas simulações com diferentes configurações de sensores, até que se chegasse à configuração ideal. Atualmente o veículo real que serviu de modelo para o veículo virtual está sendo equipado com os sensores, e futuramente o controlador desenvolvido no ambiente virtual será portado para o veículo real, para que o Sistema SEVA3D seja validado de forma realista.

## Referências

- Batavia, P., Pomerleau, D., and Thorpe, C. (1996). Applying advanced learning algorithms to ALVINN. CMU Technical Report CMU-RI-TR-96-31, Carnegie Mellon University - CMU, Pittsburgh.
- Dudek, G. and Zhang, C. (2000). *Computational Principles of Mobile Robotics*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.

- Foley, J. D. (1994). *Introduction to Computer Graphics*. Addison-Wesley, xxviii.
- Garnier, P., Fraichard, T., Laugier, C., Paromtchik, I., and Scheuer, A. (1999). Motion autonomy through sensor-guided manoeuvres. In *Proceedings of the Intelligent Cars and Automated Highway Systems*. IROS, IEEE Press.
- Heinen, F. J. (1999). *Robótica Autônoma: Integração entre Planificação e Comportamento Reativo*. UNISINOS Editora, São Leopoldo, RS, Brasil.
- Heinen, F. J. (2002). Sistema de controle híbrido para robôs moveis autônomos. Dissertação de mestrado, Computação Aplicada, UNISINOS, São Leopoldo, RS, Brasil.
- Heinen, F. J. and Osorio, F. S. (2002). Hycar - a robust hybrid control architecture for autonomous robots. In Press, I., editor, *Proceedings of Hybrid Intelligent Systems*, volume 87, pages 830–840, Santiago do Chile. HIS.
- Heinen, M. R. and Osório, F. S. (2005). Estacionamento de um veículo de forma autônoma simulado em um ambiente tridimensional realístico. In *Anais do SEMINCO - Seminário de Computação*, pages 56–65, Blumenau, SC, Brasil. FURB.
- Kelber, C., Jung, C. R., Osorio, F. S., and Heinen, F. J. (2005). Electrical drives in intelligent vehicles: Basis for active driver assistance systems. In *Proceedings of the International Symposium on Industrial Electronics*, volume 4, pages 1623–1628, Dubrovnik. ISIE, IEEE Press.
- Laugier, C., Fraichard, T., Paromtchik, I. E., and Garnier, P. (1998). Sensor based control architecture for a car-like vehicle. In *Proceedings of the IEEE/RSJ International Conference of Intelligent Robots and Systems*, pages 165–185, Victoria, Canada. IROS.
- Law, A. and Kelton, W. (2000). *Simulation Modeling and Analysis*. McGraw-Hill, USA.
- Lemonick, M. (1994). Dante tours the inferno. *Time Magazine - Science*, 144(7).
- Medeiros, A. (1998). Introdução à robótica. In *Anais do XVII Encontro Nacional de Automática*, volume 1, pages 56–65, Natal, RN, Brasil. 50a Reunião Anual da SBPC.
- Osório, F. S., Heinen, F. J., and Fortes, L. (2001). Controle inteligente de veículos autônomos: Automatização do processo de estacionamento de carros. In *Anais do SEMINCO*, Blumenau, SC, Brasil. FURB.
- Osório, F. S., Heinen, F. J., and Fortes, L. (2002). Controle da tarefa de estacionamento de um veículo autônomo através do aprendizado de um autônomo finito usando uma rede neural J-CC. In *Proceedings of the VI Brazilian Symposium on Neural Networks*, volume 1, pages 1–6, Porto de Galinhas, PE, Brasil. SBRN, IEEE Press.
- Paromtchik, I. E. and Laugier, C. (1996). Autonomous parallel parking of a nonholonomic vehicle. In *Proceedings of the IEEE International Symposium on Intelligent Vehicles*, pages 13–18, Tokyo, Japan. IEEE.
- Pomerleau, D. (1990). Neural network based autonomous navigation. *Vision and Navigation - The CMU Navlab*.
- Stone, H. W. (1996). Mars pathfinder microrover - a small, low-cost, low-power spacecraft. In *Proceedings of the 1996 AIAA*, Madison, WI, USA. Forum on advanced developments in Space Robotics.