

Tecnologias para Automação Veicular – Soluções em Mecatrônica e Sistemas de Apoio ao Motorista

Christian R. Kelber¹
Fernando Santos Osório²
Claudio Rosito Jung³
Rubem Sprenger Dreger⁴
Roger Gules⁵
Claudio Dornelles Mello Jr.⁶
Marcos Azevedo da Silveira⁷
Walter Schumacher⁸

Resumo

O presente artigo apresenta uma visão geral das tecnologias que estão sendo desenvolvidas e implementadas em automação veicular, bem como exemplos de alguns dos projetos desenvolvidos pelo grupo de pesquisas Veículos Autônomos da UNISINOS nesta área.

Abstract

The present article presents an overview of the technologies that have been developed and implemented in vehicle automation, and examples of some projects in this area developed by the “Veículos Autônomos” (autonomous vehicles) research group at UNISINOS.

¹ Doutor em Eng. Elétrica e professor do Curso de Engenharia Elétrica da UNISINOS.

² Doutor em Informática e professor do Programa Interdisciplinar de Computação Aplicada da UNISINOS.

³ Doutor em Matemática e professor do Curso de Licenciatura em Matemática da UNISINOS.

⁴ Mestre em Eng. Elétrica e professor do Curso de Engenharia Elétrica da UNISINOS.

⁵ Doutor em Eng. Elétrica e professor do Curso de Engenharia Elétrica da UNISINOS.

⁶ Mestre em Eng. Elétrica e professor do Curso de Engenharia Elétrica da UNISINOS.

⁷ *Docteur D'Etat* e professor do Departamento de Engenharia Elétrica da PUC-Rio.

⁸ Prof.Dr.-Ing. em Eng. Elétrica, professor e diretor do *Institut für Regelungstechnik* da *Technische Universität Braunschweig* (Alemanha).

1. Introdução

O grupo de pesquisas “Veículos Autônomos” do Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas da Universidade do Vale do Rio dos Sinos - UNISINOS atua buscando soluções na área de Tecnologias para Automação Veicular. Este grupo multidisciplinar, envolvendo pesquisadores de diversos cursos do Centro, desenvolve e implementa sistemas de controle de veículos em geral, que devem mover-se autonomamente. Para alcançar este objetivo maior, diferentes sub-sistemas e tecnologias são desenvolvidos, muitos destes através de parcerias com a indústria. No presente artigo alguns destes sistemas serão apresentados, bem como uma visão das tendências na área de automação veicular e sistemas inteligentes de transporte.

Dentre os objetivos dos diferentes projetos desenvolvidos pelo grupo destacam-se:

- Desenvolvimento da tecnologia *Drive-By-Wire*.
- Desenvolvimento de sistemas de apoio ao motorista.
- Desenvolvimento de algoritmos baseados em Inteligência Artificial para aplicações em robótica móvel.
- Aumento de segurança nas estradas.
- Automatização de sistemas de transporte.
- Exploração de locais de difícil acesso.
- Inspeções em ambientes de risco à saúde humana.

Para a verificação experimental dos dispositivos desenvolvidos o grupo dispõe de um veículo do tipo Mini-Baja, visto na Figura 1, automatizado com equipamentos industriais normalmente empregados em sistemas para automação industrial. Este veículo serve como base de testes para diferentes técnicas de instrumentação e controle, bem como estudos avançados para o desenvolvimento de sistemas de apoio ao motorista.



Figura 1: Veículo experimental utilizado como base de testes

2. Soluções em Mecatrônica e Sistemas de Apoio ao Motorista

A automação veicular, além de propiciar ao motorista maior segurança em condições críticas adversas, também pode auxiliá-lo na condução do veículo, onde uma ou mais tarefas poderiam ser automatizadas, tais como: seguir a pista mantendo a faixa correta, manter uma distância segura entre veículos, regular automaticamente a velocidade do veículo conforme as condições de trânsito e características da rodovia, fazer ultrapassagens seguras e evitar obstáculos, achar o caminho mais curto e seguro para o destino bem como mover o veículo e estacioná-lo em ambiente urbano [C1].

Visando aumentos na segurança, no conforto, na estabilidade e no rendimento dos veículos automotores, a indústria tem investido intensamente em sistemas eletrônicos embarcados. Com o intuito de auxiliar os condutores, diversas soluções eletrônicas vêm sendo desenvolvidas e implementadas nos veículos nas últimas décadas, tais como freios ABS e sistema de estabilização ESP, que atuam automaticamente quando o veículo encontra-se em condições extremas, procurando minimizar desta forma a ocorrência de acidentes.

Com a introdução nos veículos de soluções em informática, o motorista também pode contar em diversos países com sistemas de navegação, que o auxiliam na escolha da melhor rota entre a origem e o destino, e que podem inclusive adequá-la durante a viagem conforme as condições de trânsito. Chega-se desta forma a um sistema de automação veicular complexo, com diversos níveis hierárquicos de controle, como é apresentado na Figura 2.

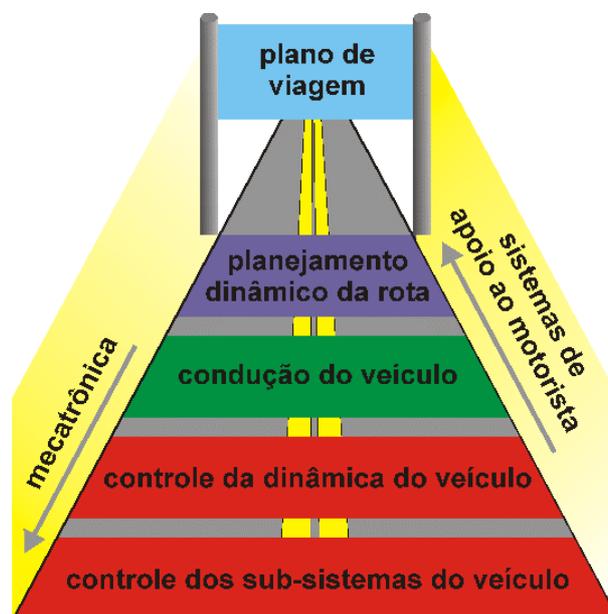


Figura 2: Hierarquia dos diferentes níveis de controle

A base do sistema de automação veicular é composta por soluções em controle de sub-sistemas eletromecânicos, muitas delas invisíveis ao motorista, como por exemplo os sistemas de controle da injeção eletrônica, do câmbio automático e da direção servo-elétrica. Logo acima, num segundo patamar, encontram-se as soluções de controle que atuam na dinâmica do veículo, tais como freios ABS e sistemas ESP.

A condução do veículo, situada no meio da estrutura hierárquica de controle, é realizada atualmente pelo motorista, mas esta função também pode vir a ser automatizada. O tema que aborda a condução do veículo de forma completamente autônoma será abordado adiante, uma vez que diversos fatores devem ser levados em conta nesta questão.

No topo da estrutura de controle encontram-se as soluções em informática através de computação aplicada em sistemas embarcados. Destacam-se os sistemas de otimização de rota baseados em mapas digitais, que determinam como plano de viagem a melhor rota a ser seguida depois de fornecidos os pontos de partida e chegada. A rota também pode ser modificada dinamicamente ao longo da viagem, caso haja alguma obstrução no caminho original. Incluem-se aqui os sistemas baseados em Inteligência Artificial, que podem indicar, conforme o surgimento de obstáculos fixos ou móveis, detectados por um sistema integrado de sensores, para onde o condutor deve guiar o veículo.

Cada sub-sistema de controle, dependendo de sua hierarquia na estrutura, pode ser classificado como uma solução mecatrônica, mais próxima da base da estrutura, ou como um sistema de apoio ao motorista. Não há uma fronteira bem definida entre os dois grupos, uma vez que um é complementar ao outro.

Em um sistema de automação veicular, entretanto, outros elementos também são de extrema importância, como o sistema de comunicação e a interface homem máquina, esquematizados na Figura 3.

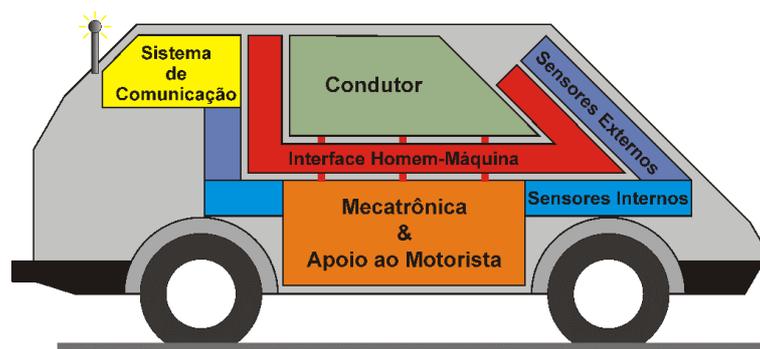


Figura 3: Interface Homem Máquina

Os sistemas mecatrônicos e de apoio ao motorista baseiam-se em informações internas e externas ao veículo através de sensores específicos. Através destas informações pode-se identificar o estado em que o veículo se encontra e como são as condições do ambiente ao seu redor. Além disso, um sistema de comunicação complementa a integração da estrutura de controle como um todo, possibilitando a troca de informações entre o veículo e uma base de supervisão e comando remotos, bem como a comunicação entre veículos. Esta estrutura permitiria, por exemplo, a automatização de sistemas de transporte em ambientes controlados. Através do sistema de comunicação os veículos podem ser informados a respeito das condições do trânsito, possibilitando desta forma a otimização do tráfego.

A Interface Homem Máquina (IHM) entre o condutor e o veículo automatizado também merece estudos mais aprofundados. Através da tecnologia *Drive-by-Wire / X-by-Wire* o carro pode ser guiado a partir de comandos eletrônicos, não havendo, portanto, a necessidade da interface convencional de volante e pedais. IHMs

empregando *joysticks* e manches já foram testadas, mas não há, até o momento, estudos que indiquem qual a solução mais eficaz quanto a dirigibilidade, conforto, ergonomia e segurança.

Diversas soluções mecatrônicas encontram-se disponíveis nos veículos, principalmente nos automóveis de luxo. Destacam-se entre eles:

- *Anti Blocking System (ABS)*: Impede o bloqueio das rodas durante uma freada, evitando que o veículo derrape e está disponível em veículos de todas as categorias.
- *Braking-Assistant (BAS)*: Em casos de colisão eminente alguns condutores pisam bruscamente no pedal do freio, mas mantêm este fortemente pressionado apenas durante um curto espaço de tempo. O sistema “percebe” a intenção do condutor e amplifica a intensidade do freio de forma a garantir uma desaceleração máxima.
- *Electronic Stability Program (ESP)*: Sistema eletrônico que reconhece o escorregamento do veículo nas direções longitudinal e transversal, como por exemplo o deslizamento lateral em curvas, e atua de forma orientada e independente sobre o freio de cada uma das rodas, evitando que o veículo rodopie.
- *Active Body Control (ABC)*: Sistema que controla dinamicamente a carroceria do veículo, evitando que a mesma se incline para frente ou para os lados, aumentando assim o conforto dos passageiros.
- *X-by-Wire (Drive-by-Wire)*: Tecnologia que aos poucos vem substituindo os comandos mecânicos por sistemas eletrônicos, tais como o acelerador eletrônico, já disponível em diversos veículos de série, bem como os sistemas *Brake-by-Wire*, *Shift-by-Wire* e *Steer-by-Wire*.



Figura 4: Tendências no setor automotivo

A partir da tecnologia *X-by-Wire* há o surgimento de novas tendências nos sistemas mecatrônicos e de apoio ao motorista, como exemplificado na Figura 4. Quanto ao ESP, por exemplo, este tenderá a evoluir para um novo ESP com a inclusão da atuação dinâmica por parte do computador embarcado sobre o ângulo de

direção visando melhorar ainda mais a estabilidade do veículo em condições extremas e impedindo que reações erradas por parte do condutor sobre a direção agravem a situação de perigo. O condutor ganha desta forma um “co-piloto eletrônico” ou “co-piloto virtual”, que atuaria apenas em condições de perigo eminente, garantindo a integridade do motorista e dos passageiros no veículo. Outra tendência na indústria automotiva está na utilização de veículos híbridos, o que deverá alterar significativamente a estrutura tecnológica dos veículos hoje conhecidos.

Com base nas estruturas mecatrônicas diversos sistemas automáticos de apoio ao motorista, como o já existente *Automatic Cruise Control* (ACC), que mantém o veículo em velocidade constante, podem ser mais facilmente implementados. A partir de informações de sensores externos, como radar, o sistema de apoio ACC pode ser acrescido da possibilidade de adequação da velocidade de cruzeiro conforme o fluxo de veículos na estrada, podendo inclusive parar e iniciar novamente o movimento, seguindo o veículo a sua frente. O condutor, neste caso, ficaria apenas responsável pela direção.

Também com base nas informações dos diferentes sensores novos sistemas de *airbag* podem ser desenvolvidos, acionando-os antes mesmo que a batida ocorra. Da mesma forma estes sensores podem servir de base para um sistema anti-colisão, que perceberia uma colisão eminente e atuaria sobre o freio, reagindo mais rápido que qualquer ser humano. Após a automação do sistema de direção pode haver a possibilidade de o veículo, por exemplo através de visão computacional, identificar e seguir de forma autônoma as bordas da pista. Neste caso o condutor apenas supervisionaria o sistema, enquanto que o “piloto automático” ficaria responsável pela condução segura do veículo em estradas preparadas para tal propósito.

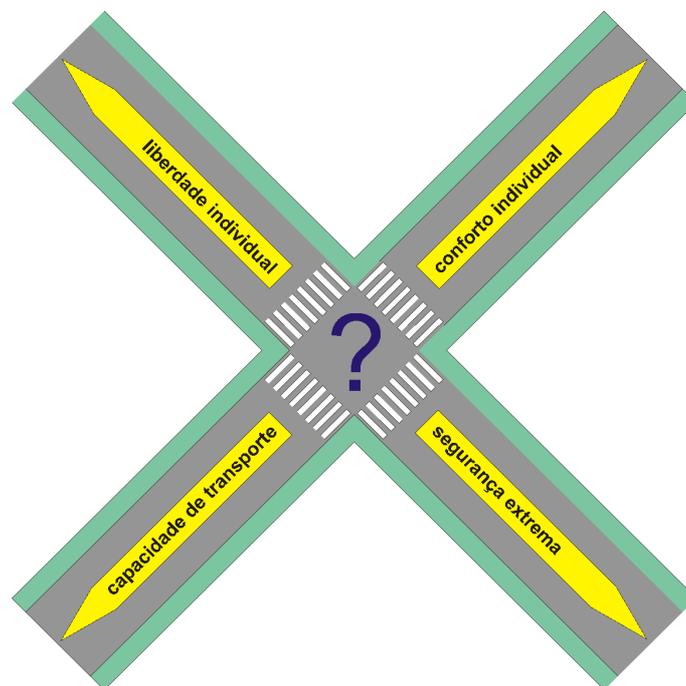


Figura 5: Diretrizes

Não se pode, entretanto, prever se os veículos serão no futuro completamente autônomos. Conforme mostra a Figura 5, diferentes diretrizes, que vão em direções opostas, devem ser discutidas e estabelecidas pela sociedade. Se por um lado a diretriz básica for a segurança total nas estradas, então o fator humano deve ser

minimizado e os veículos deverão seguir de forma autônoma seus caminhos. Por outro lado esta decisão elimina a liberdade individual de dirigir e sentir prazer ao dirigir, uma vez que o condutor não tomaria mais as decisões conforme sua vontade, necessitando apenas indicar ao computador o destino da viagem. Este conflito de diretrizes já pode ser notado ao serem comparados os motoristas das sociedades norte-americana, alemã, italiana e brasileira. Enquanto que os norte-americanos e alemães dão preferência ao câmbio automático, a maioria dos italianos e brasileiros prefere o câmbio manual, pois gostam de ter total “domínio” sobre *la machina*.

Da mesma forma a sociedade deverá definir qual o fator mais importante num sistema de transporte: capacidade de transporte ou conforto individual. Com base nas atuais condições de trânsito das grandes cidades fica evidente a necessidade de um sistema efetivo de transporte em massa. Entretanto, o principal fator que vai na direção contrária desta diretriz é a liberdade individual de poder ir a qualquer lugar e a qualquer hora de forma extremamente confortável. Mas, por outro lado, as ruas e avenidas das grandes cidades não comportarão mais um aumento expressivo no número já tão elevado de veículos, o que faz a decisão recair na diretriz de aumento da capacidade de transporte. Tal sistema integrado de transporte irá requerer conceitos diferentes das estruturas existentes nos dias de hoje, devendo possuir alta flexibilidade de horário proporcionar conforto aos passageiros.

3. Projetos realizados pelo grupo “Veículos Autônomos”

O grupo de pesquisa vem realizando nos últimos anos diversos trabalhos dentro em todos os níveis hierárquicos da estrutura de controle de veículos autônomos, apresentada anteriormente na Figura 2. Destacam-se aqui os projetos desenvolvidos no Curso de Engenharia Elétrica, mais direcionados para os sistemas mecatrônicos, e os projetos desenvolvidos no Programa Interdisciplinar de Computação Aplicada (PIPCA), que enfocam os níveis superiores na estrutura de controle.

Na área de sistemas mecatrônicos, para o estudo de diferentes sensores e controladores diversos protótipos foram desenvolvidos para servirem como bases de testes, desde veículos autoguiados (AGVs), cada vez mais utilizados em parques fabris para o transporte de peças e produtos, até modelos de embarcações autônomas, visando testar os sistemas desenvolvidos fora das condições ideais de laboratório.

Sistemas empregando AGVs baseiam-se normalmente em veículos rastreadores de faixa. O sistema de sensoriamento pode ser eletromagnético ou óptico. O AGV mostrado na Figura 6 é um exemplo de veículo rastreador de faixa desenvolvido pelo grupo para o estudo de sensores de navegação baseados em marcações e de sistemas de controle aplicado, servindo também para aplicações em ensino de engenharia [A1]. Para o seu funcionamento foram desenvolvidos na UNISINOS os sensores ópticos para o rastreamento da faixa, que indicam o caminho que o AGV deve seguir. O estudo desenvolvido com controladores não-lineares aplicados neste tipo de veículo, apresentado em congresso internacional de controle de movimento na seção de robótica móvel [A2], serviu de referência para projetos de maior porte.



Figura 6: Veículo autoguiado rastreador de faixa óptica

Também na área de pequenos veículos autônomos, diversos sistemas foram desenvolvidos para aplicações na água, na terra ou no ar, destacando-se os exemplos apresentados na Figura 7. Estes projetos, além de servirem para o desenvolvimento e aprimoramento dos sistemas idealizados pelo grupo, são uma excelente base do aprendizado de engenharia [A3],[A4]. Pelas inovações geradas pelos alunos os trabalhos também obtiveram grande destaque na mídia [B1]–[B5].

Os protótipos desenvolvidos para aplicações na água tinham como objetivo percorrer autonomamente uma trajetória pré-definida no lago existente no campus da universidade [A3],[A4]. No projeto *Gaveta* a trajetória foi programada no computador de bordo, enquanto que no projeto *E-Duck* a nova referência de direção era enviada ao sistema de controle através de telefone celular, técnica depois também empregada no projeto do Mini-Baja autônomo, que será descrito mais adiante.

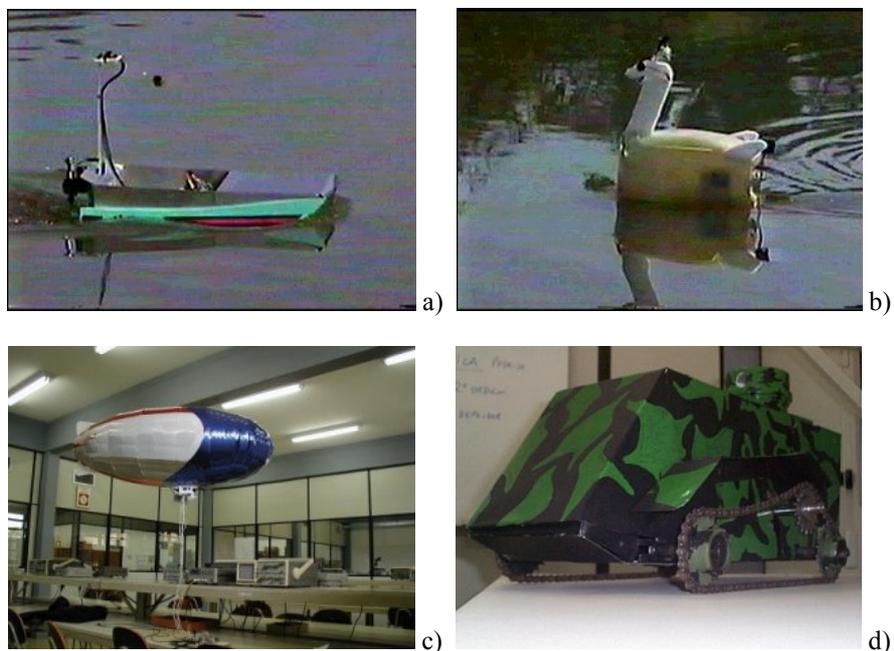


Figura 7: a) Projeto *Gaveta*, b) Projeto *E-Duck*, c) Projeto *Zeppelin*, d) Projeto *Thunder*

O protótipo de balão dirigível, descrito no artigo [A5], foi utilizado para o projeto de um “piloto automático”, onde os alunos envolvidos puderam aplicar todos os conhecimentos adquiridos em sala de aula. Já

o projeto *Thunder* consiste em um veículo explorador sobre esteiras. Este também desloca-se autonomamente pelo campus, podendo ter ainda uma micro-câmera implementada em seu interior para inspeções de regiões de difícil acesso.

Para o controle automático destes pequenos veículos autônomos foi necessário o desenvolvimento de uma bússola eletrônica [A6], apresentada na Figura 8.



Figura 8: Bússola eletrônica

A bússola eletrônica desenvolvida tem como base resistores magneto-resistivos, dispostos fisicamente de forma perpendicular um ao outro. Estes fornecem as componentes do campo magnético terrestre em coordenadas cartesianas e um circuito microprocessado trata estas informações, de forma a indicar a direção que a bússola se encontra em relação ao norte magnético terrestre. Com esta bússola torna-se possível o controle de direção de veículos autônomos para aplicações *outdoor*.

Para aplicações *indoor*, onde a bússola pode vir a sofrer interferência magnética, como por exemplo devido às ferragens existentes na construção do prédio ou devido a partes metálicas existentes no ambiente, foram desenvolvidas outras técnicas de sensoriamento. Dentre elas destaca-se o desenvolvimento de um sensor de infravermelho para localização em áreas definidas [A7],[B6],[B7]. Aliadas a um sistema de inteligência artificial, pode-se também permitir o trânsito de pequenos robôs móveis autônomos dentro de ambientes conhecidos e previamente mapeados [A8].

Na área referente aos níveis superiores da estrutura de controle foi desenvolvido um sistema de controle robusto para robôs móveis autônomos que é capaz de operar e de se adaptar a diferentes ambientes e condições [A8]. O sistema de controle desenvolvido tem a capacidade de navegar um robô móvel em um ambiente dinâmico, desviando tanto de obstáculos estáticos como de obstáculos móveis imprevistos. Para garantir a robustez da arquitetura de controle, foi integrado um módulo localizador, capaz de localizar o robô no ambiente utilizando as informações sensoriais e um mapa. O localizador é capaz de manter uma estimativa de posição correta quando a localização inicial é conhecida (localização local), é capaz de estimar uma posição global quando não se dispõe de informações sobre a posição inicial do robô móvel (localização global), e também possui a capacidade de detectar uma estimativa de posição incorreta e se relocalizar no ambiente (relocalização). Através da utilização de um filtro de distância, é possível localizar-se inclusive em um ambiente dinâmico. Este

módulo localizador possui um papel de destaque no sistema de controle, fornecendo uma base sólida para o controle e navegação do robô móvel autônomo.

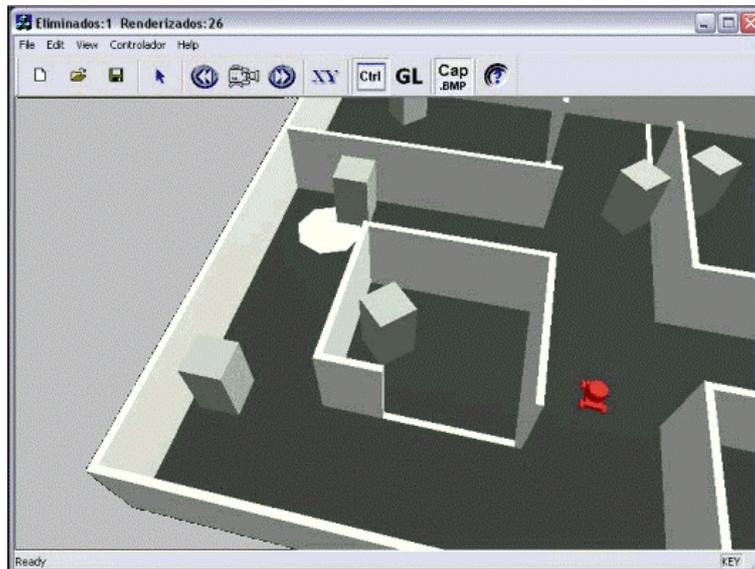


Figura 9: SimRob3D – Simulador para estudos de robôs móveis autônomos

Para a validação do sistema de controle proposto, foi implementado um simulador de robôs móveis (SimRob3D) que permite a utilização de modelos de ambiente tridimensionais, bem como diversos modelos sensoriais e cinemáticos, como pode ser visto na Figura 9. O ambiente pode ser alterado em tempo real, e é possível a utilização de objetos móveis que seguem trajetórias predefinidas. É possível utilizar a cinemática Ackerman ou a cinemática diferencial, e sensores tais como: *encoder*, sonar, laser e infravermelho.

Nas aplicações de Inteligência Artificial em Sistemas de Apoio ao Motorista foi desenvolvido um software para apoiar os motoristas a entrar em uma vaga paralela [A9],[A10]. O sistema SEVA-3D (Simulador de Estacionamento de Veículos Autônomos), mostrado na Figura 10, permite controlar o carro através da leitura de um conjunto de sensores, gerando os comandos de aceleração e de giro de direção, de modo a localizar e estacionar o carro em uma vaga paralela. Atualmente o sistema conta com um controlador baseado em um sistema especialista (conjunto de regras heurísticas) e com um controlador gerenciado por uma Rede Neural Artificial com aprendizado supervisionado. Os resultados obtidos até o presente demonstram que ambos os controladores são capazes de estacionar corretamente um carro, baseados apenas nas informações provenientes de seus sensores externos.

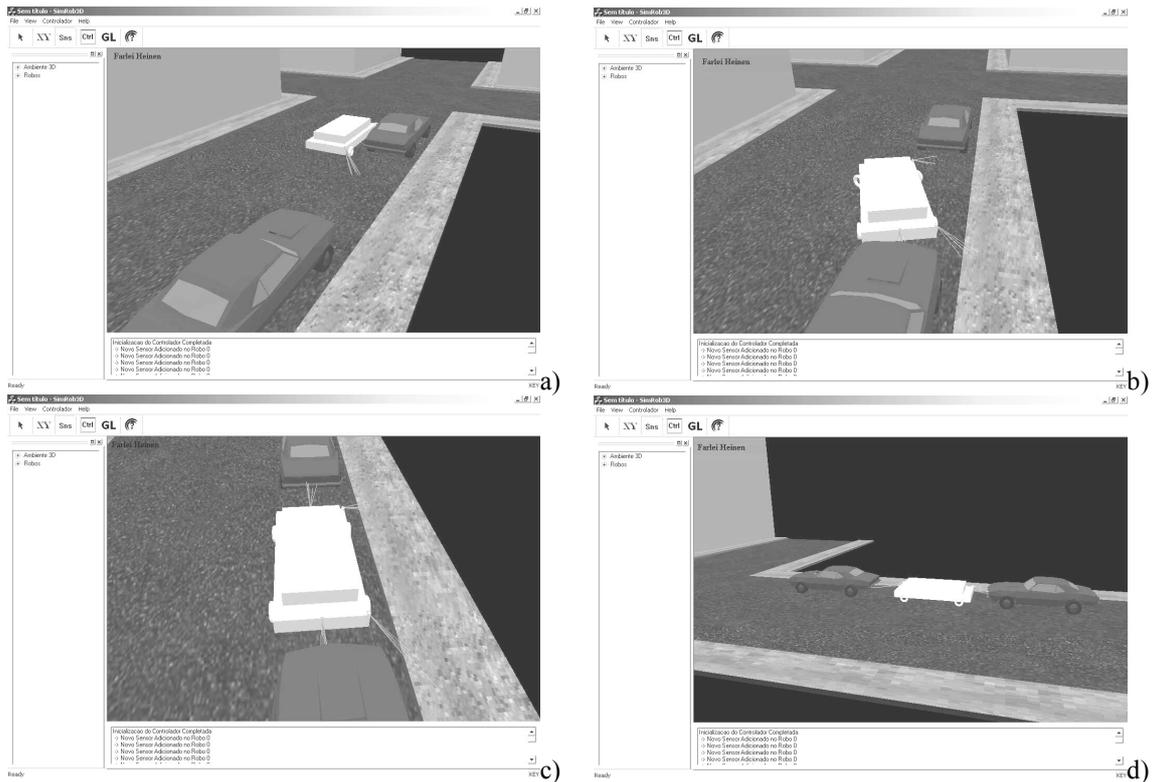


Figura 10: Sistema SEVA-3D (Simulador de Estacionamento de Veículos Autônomos)

Atualmente está sendo implementado um sistema de acionamento de um protótipo de carro (carro miniatura com comando remoto) que deve ser controlado por um computador e poder realizar tarefas como as descritas acima. O sistema que está sendo implementado fisicamente utilizará uma câmera de vídeo para "sentir" o ambiente e poder planejar suas ações. Este sistema já permite o acionamento remoto a partir de um computador do carro miniatura e o seu *tracking* (rastreamento) usando uma câmera de vídeo.

Seguindo na área de visão computacional, outros projetos com aplicações em controle também foram desenvolvidos tanto no Curso de Engenharia Elétrica como no PIPCA. Como exemplos destacam-se o sistema de controle de direção de um modelo de bancada de um Zeppelin, apresentado na Figura 11, e o sistema de jogo de tabuleiro visto na Figura 12, onde o computador pode “enxergar” a condição de jogo e, através de um braço robótico, movimentar as peças em suas jogadas.

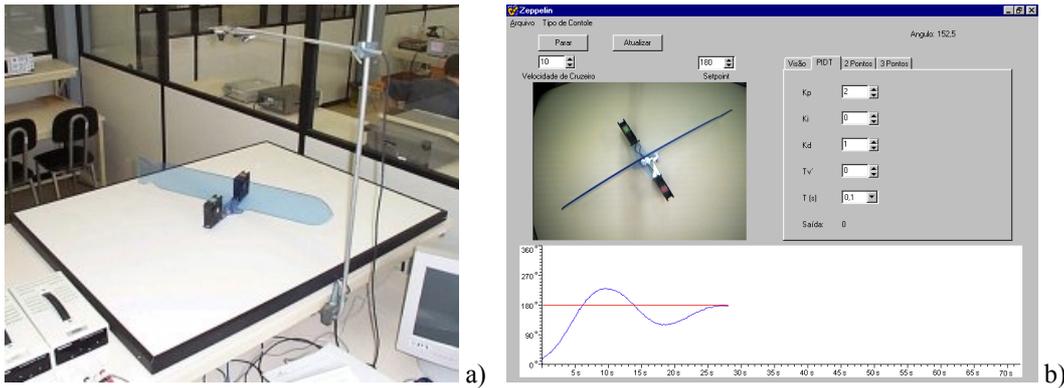


Figura 11: a) Modelo de bancada de um Zeppelin, b) Software de tratamento de imagem & controle

No projeto acima a direção do Zeppelin é identificada a partir de uma análise feita segundo a imagem capturada por uma câmera situada sobre o protótipo. O sistema de controle também é realizado pelo software, podendo ser analisados através deste o comportamento do sistema com diferentes tipos de controladores, desde os controladores lineares da família PIDT até controladores não-lineares.



Figura 12: Sistema de visão computacional para aplicações em robótica

Os sistemas de visão computacional podem ser utilizados para o reconhecimento de objetos, que podem ir desde peças de um jogo de tabuleiro até as bordas e linhas centrais de uma rodovia [C1],[C2]. Uma vez obtida a informação sobre o meio o computador pode atuar sobre ele através dos sistemas mecatrônicos. Entretanto, a tarefa de detectar automaticamente as bordas da rodovia em imagens capturadas por uma ou duas câmeras instaladas no veículo apresenta várias dificuldades, entre as quais pode-se citar:

- Falhas na Pintura – há várias rodovias cuja pintura está gasta (ou mesmo apresentando lacunas);
- Sombras – árvores, prédios, pontes e outros veículos projetam sombra sobre a pintura da rodovia, alterando sua intensidade e textura;
- Posição Solar – a posição solar influencia significativamente na detecção das bordas de rodovias, pois pode causar saturação na imagem capturada pela câmera, ou provocar reflexos especulares;

- Oclusão – outros veículos trafegando na mesma rodovia podem ocluir parcialmente a estrada, e conseqüentemente, a pintura, de forma que outros sensores são necessários para auxiliar o sistema de visão a interpretar o ambiente a sua frente [C3],[C4];
- Condições Climáticas – alguns fenômenos da natureza (como neblina, chuva ou neve) podem ser encarados como ruído na imagem, dificultando a localização das bordas.

De forma a contornar as dificuldades citadas acima o grupo vem desenvolvendo diferentes técnicas para o processamento das imagens, que deverão ser implementadas em um sistema de tempo real, ou seja, o processamento deverá ocorrer em um espaço de tempo limitado e extremamente curto.

Com base nos conhecimentos adquiridos nos projetos apresentados anteriormente encontra-se em andamento um projeto maior de pesquisa, onde um veículo do tipo Mini-Baja, apresentado na Figura 13, está sendo automatizado. Como objetivo principal este veículo deverá andar autonomamente pela Avenida Unisinos, vista na Figura 14, através de diferentes técnicas de sensoriamento e controle. Tal sistema visa propiciar condições bem próximas das reais, encontradas por veículos automotores nas estradas. Desta forma o grupo possui uma base para o desenvolvimento tanto de sistemas de apoio ao motorista bem como tecnologias baseadas em soluções mecatrônicas, envolvendo análises teóricas da dinâmica veicular [A11] bem e diferentes técnicas de sensoriamento e controle [A12].



Figura 13: Protótipo desenvolvido no projeto “Instrumentação e Controle de um Veículo Autônomo”

A avenida interna do campus da UNISINOS proporciona um ambiente controlado propícios para a realização de testes, possuindo trechos planos, em aclave e declive, bem como retas e curvas com diferentes raios de curvatura. Todas as características geográficas da avenida encontram-se disponíveis na forma de mapas digitais baseados em GPS, onde estão contidos os dados de posição global do campus da universidade. Além de proporcionar condições próximas das encontradas nas estradas, também há a possibilidade da colocação

marcações especiais sobre a pista, tais como cabo guia ou *transponders*, de forma que sistemas integrados de transporte automatizado também podem ser testados.

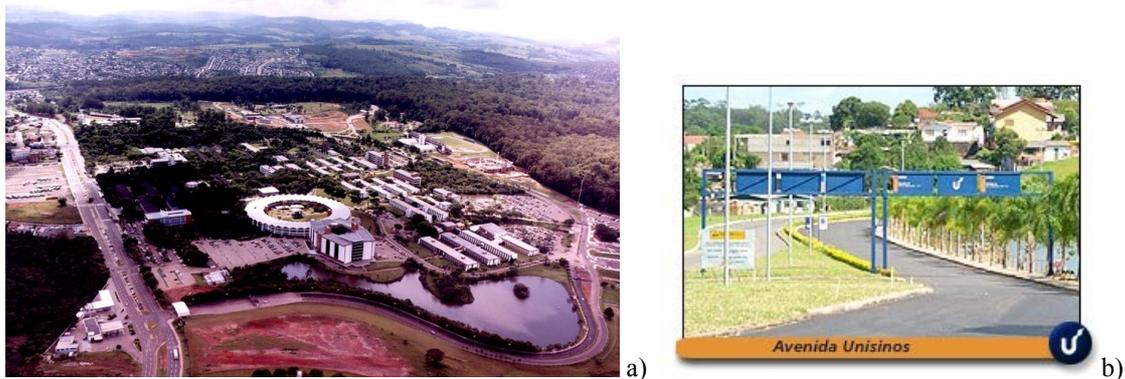


Figura 14: a) Campus da UNISINOS b) Avenida Unisinos

A estrutura lógica que está sendo implementado no Mini-Baja autônomo é apresentada na Figura 15. Na parte de sensoriamento há três grupos básicos de sensores: Sensores para Reconhecimento de Rota, Sensores para Reconhecimento de Objetos & Obstáculos e Sensores de Navegação, que permitem que a rota traçada seja seguida com segurança.

O reconhecimento de rota baseia-se na identificação de marcações existentes na pista. O princípio de reconhecimento destas marcações pode ser:

- óptico, como no caso do AGV apresentado na Figura 6,
- eletromagnético, onde o campo magnético gerado pela corrente elétrica injetada em um cabo colocado sob o asfalto da pista é rastreado,
- através de *transponders*, marcações opto-magnéticas ou eletrônicas colocadas de forma espaçada sobre a pista,
- através de uma câmera, de forma que a partir de visão computacional as faixas de referência, que normalmente já encontram-se pintadas sobre as rodovias para orientação dos motoristas, possam ser identificadas.

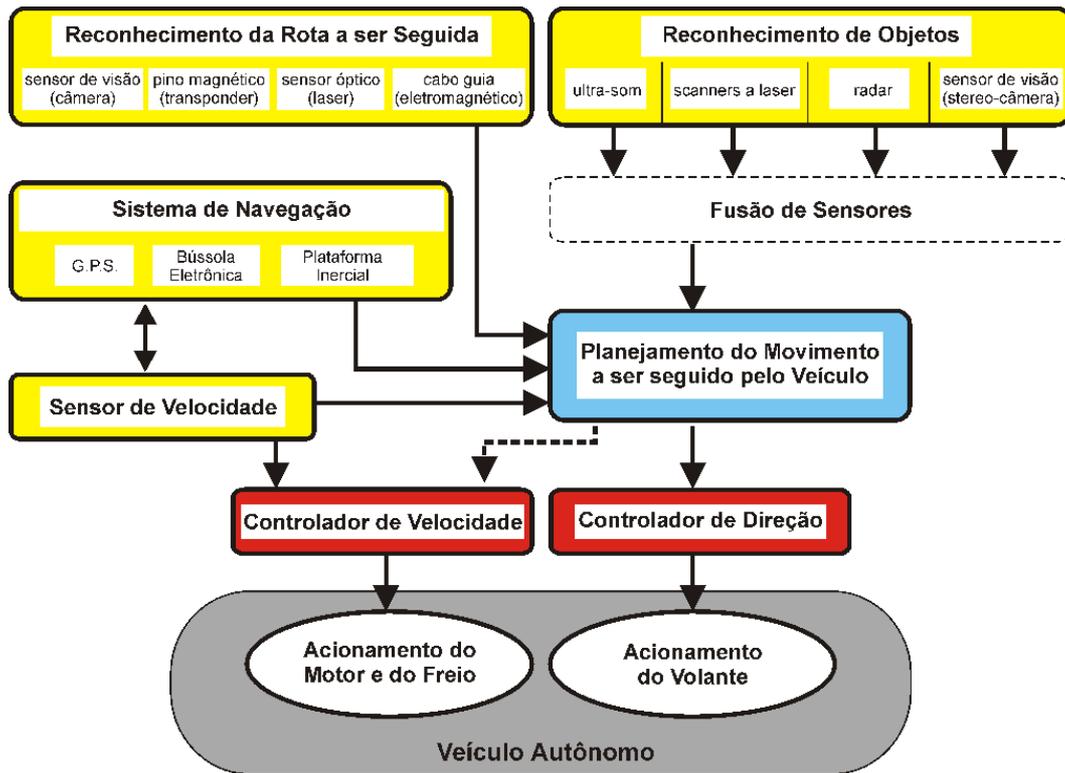


Figura 15: Estrutura lógica dos sub-sistemas de um veículo autônomo

Através dos sensores de objetos, tais como *scanners* a laser, ultra-som, radar e visão 3D por stereo-câmeras, diferentes obstáculos podem ser detectados, fazendo com que o veículo pare ou desvie destes, evitando assim colisões, que, segundo as estatísticas divulgadas pelo DETRAN-RS, representam o principal tipo de acidentes de trânsito com vítimas. Ter a redução dos acidentes nas estradas, com a conseqüente redução no número de vítimas como meta, mostra a importante contribuição que o desenvolvimento de tecnologias para a automação automotiva podem trazer para a sociedade.

Os sensores de navegação, tais como bússola, giroscópio, acelerômetros e sensores de velocidade, garantem, por sua vez, que os sistemas mecatrônicos existentes na base hierárquica da estrutura de controle permitam o veículo trafegar de forma segura e controlada, mantendo sua estabilidade dinâmica e o seguimento seguro da trajetória previamente determinada.

O funcionamento de todo o sistema depende principalmente do bom comportamento das sub-malhas de velocidade, frenagem e direção, que é garantido através de estruturas e técnicas de controle linear e não-linear específicas. O protótipo em desenvolvimento na UNISINOS segue o esquema apresentado na Figura 16.

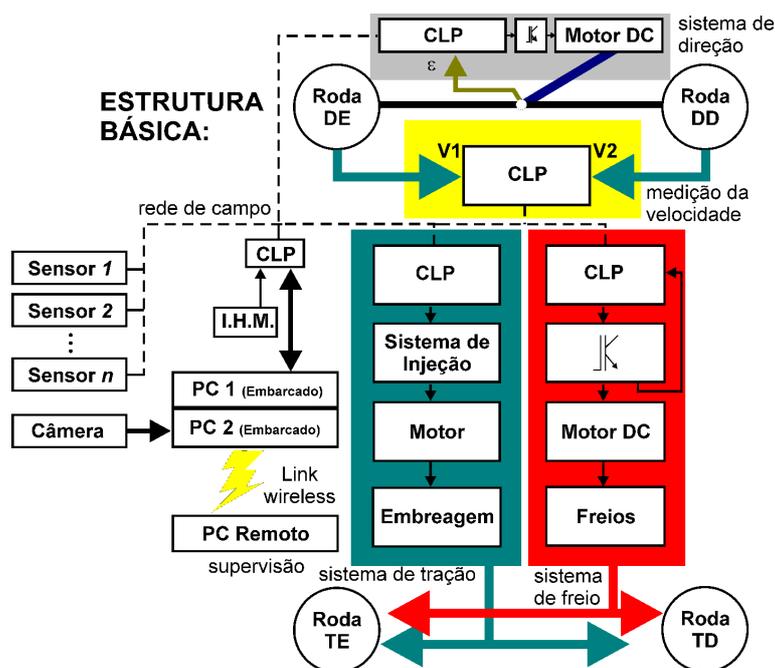


Figura 16: Estrutura de *hardware* em implementação no veículo autônomo

O sistema baseia-se em uma estrutura de controle distribuído, onde as sub-malhas de direção, tração e frenagem são controladas por CLPs, interligados entre si através de rede de campo industrial. Tanto os sistemas de apoio ao motorista quanto os algoritmos de controle de níveis hierárquicos superiores são desenvolvidos em computadores do tipo PC com sistema operacional de tempo real, que enviam via rede os respectivos valores de referência para cada uma das sub-malhas de controle [A12].

Para a supervisão remota do sistema encontra-se em desenvolvimento um *link wireless* baseado em telefonia móvel, de forma que, além dos dados da rede de campo, também as imagens capturadas pela câmera possam ser visualizadas em um computador remoto. Desta forma, além da coleta remota dos dados do veículo em movimento, o acompanhamento da “visão do computador” permitirá uma análise melhor do comportamento do sistema de controle. Através deste sistema o comando remoto do veículo também poderá ser realizado. Atualmente o veículo pode ser comandado remotamente através de comandos enviados a partir de uma combinação de teclas do próprio telefone celular [A12], tendo sido este sistema amplamente divulgado pela imprensa [B8]–[B15].

4. Conclusões

A evolução dos sistemas de automação veicular vem causando um aumento significativo na complexidade dos veículos, que, dependendo do modelo, já contam com um grande número de motores elétricos de todos os tamanhos, controlados através de circuitos envolvendo microeletrônica e eletrônica de potência, diversos e diferentes sistemas de rede de computadores, elevado número de microcontroladores e sensores, entre outros sistemas. Esta tendência na automação veicular necessitará de profissionais com conhecimentos de diferentes áreas além das engenharias mecânica e de produção, tais como engenharia elétrica com amplo conhecimento em microeletrônica, eletrônica de potência, automação, sistemas de comunicação, redes de

computadores, instrumentação e controle, bem como uma excelente base de informática, imprescindível para implementação dos algoritmos dos sistemas de apoio ao motorista, baseados em inteligência artificial, além da interligação de todos os sistemas do veículo. Os projetos tendem a ser realizados cada vez mais por equipes multidisciplinares, que deverão trabalhar em grupo desde o início do desenvolvimento dos sistemas.

Referências Bibliográficas

Artigos e Trabalhos Científicos publicados pelo Grupo:

- [A1] *"Construção e Avaliação do Desempenho de um Veículo Autoguiado - AGV, de Baixo Custo, para uso em Ensino e Pesquisa"*; Rubem S. Dreger, Renato M. Brito, Christian R. Kelber; **COBENGE 2001 - XXIX Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia**; Porto Alegre, Brasil, 19-22 Set. 2001.
- [A2] *"Non-Linear Steering Control Strategy for an Optical Stripe Tracker"*; Christian R. Kelber, Rubem Sprenger Dreger, Juliano Schirmbeck, Diogo Alberto Borges; **IEEE / AMC'02 - 7th International Workshop on Advanced Motion Control**; Maribor, Slovenia, 3-5 July 2002.
- [A3] *"Project U.S.O. - Unidentified Swimming Objects - Using Aquatic Mobile Robots in Engineering Education"*; Christian R. Kelber, Rubem Sprenger Dreger, Claudio Dornelles Mello Jr., Juliano Schirmbeck, Guilherme Klein Gomes, Juarez Machado da Silva, Diego Francio; **IEEE / AMC'02 - 7th International Workshop on Advanced Motion Control**; Maribor, Slovenia, 3-5 July 2002.
- [A4] *"Projeto O.F.N.I. - Objetos Flutuantes Não Identificados - Veículos Autônomos no Ensino de Engenharia"*; Christian R. Kelber; **2a. (A)mostra de Tecnologia Educacional**; São Leopoldo; Brasil, 8-9 Out. 2002.
- [A5] *"Controle de direção de um balão dirigível aplicado em modelo de bancada"*; Estevão Krause, Fábio Wilhelms Damásio, Guilherme P. Breier, Christian R. Kelber, Rubem Sprenger Dreger; **Estudos Tecnológicos** – ISSN 0101-5303, Vol. XXIII, No. 20, pp.21-28, 2000 (2002).
- [A6] *"Projeto de uma bússola eletrônica para aplicações em robótica móvel"*; Guilherme Klein Gomes, Christian R. Kelber, Juliano Schirmbeck, Diogo Alberto Borges, Marcelo José Rodrigues, Ildon G. Borchardt; **Engenharia - Estudos Tecnológicos** – ISSN 0101-5303, Vol. XXIII, No. 20, pp.15-19, 2000 (2002).
- [A7] *"Sistema de localização por infravermelho para veículos autônomos"*; Christian R. Kelber, Ildon G. Borchardt, Juarez da Silva, Danton Ledur; Aceito para publicação no **2º. Congresso Internacional de Automação, Sistemas e Instrumentação**, São Paulo, Brasil, Nov. 2002
- [A8] *"Sistema de Controle Híbrido para Robôs Móveis Autônomos"*; Farlei José Heinen, **Dissertação de Mestrado**, Orientador: Dr. Fernando Santos Osório; PIPCA / UNISINOS, 28 de junho de 2002
- [A9] *"Controle da Tarefa de Estacionamento de um Veículo Autônomo através do Aprendizado de um Autômato Finito usando uma Rede Neural J-CC"*; Fernando Santos Osório; Farlei Heinen; Luciane Fortes; **SBRN 2002 – Simpósio Brasileiro de Redes Neurais**; Recife, Nov. 2002.
- [A10] *"Controle Inteligente de Veículos Autônomos: Automatização do Processo de Estacionamento de Carros"*; Fernando Santos Osório; Farlei Heinen; Luciane Fortes; **X Seminco - Seminários de Computação**; Blumenau: FURB - Universidade Regional de Blumenau, v. 1, p. 35-46, 2001.
- [A11] *"Análise das Não-Linearidades de um Sistema de Direção By-Wire"*; Guilherme Klein Gomes, Daniel Webber, Christian R. Kelber; **XI Feira de Iniciação Científica da UFRGS**; Porto Alegre, Brasil, 02-04 Dez. 2002.
- [A12] *"Cell-Phone Guided Vehicle, an Application based on a Drive-by-Wire Automated System"*; Christian R. Kelber, Rubem Sprenger Dreger, Guilherme Klein Gomes, Daniel Webber, Juliano Schirmbeck, Roberto Hoffmann Netto, Diogo Alberto Borges; aceito para publicação no **2003 IEEE Intelligent Vehicles Symposium**; Ohio, USA, 9-11 Jun. 2003.

Reportagens – Jornais e Revistas:

- [B1] *"Alunos montam robôs aquáticos"*; **Jornal Unisinos** apresentando trabalhos realizados por alunos do Curso de Engenharia Elétrica, Julho 2001.
- [B2] *"Inventos universitários serão apresentados hoje"*; **Jornal VS**, 14 de dezembro de 2001.
- [B3] *"Inventos na Unisinos"*; **Jornal Zero Hora**, 15 de dezembro de 2001.
- [B4] *"Invenções em engenharia"*; **Jornal VS**, 15 de dezembro de 2001.
- [B5] *"Alunos montam robôs aquáticos"*; **UNISINOS em Revista**, Num. 68, pp.24 , Dezembro de 2001.
- [B6] *"Sistema de localização em congresso"*; **Jornal VS**, 19 Nov. 2002.
- [B7] *"Sistema que localiza veículos é apresentado em congresso"*; **Jornal Unisinos - Últimas Notícias**, 19 Nov. 2002.
- [B8] *"Pesquisa torna realidade cena de filme"*; **Jornal Unisinos - Últimas Notícias**, 05 Dez. 2002.
- [B9] *"007 no Vale"*; **Correio do Povo - Panorama Econômico**, 05 Dez. 2002.
- [B10] *"Carro será dirigido através de celular na Unisinos"*; **Baguete - Jornalismo Empresarial Digital**, 05 Dez. 2002.
- [B11] *"Das telas para a Unisinos - Protótipo de veículo automatizado conta com a parceria de quatro empresas"*; **Jornal VS**, 06 Dez. 2002.
- [B12] *"Celular permite movimentar carro - Mini-Baja inteligente, dotado de sistema eletrônico, foi testado por pesquisadores e alunos da Unisinos"*; **Correio do Povo**, 08 Dez. 2002.
- [B13] *"Estudantes gaúchos criam carro guiado por telefone celular."*; **O Sul**, 08 Dez. 2002.
- [B14] *"Unisinos se inspira em James Bond - Estudantes da universidade de São Leopoldo fazem carro comandado por celular."*; **Jornal VS - Motores**, 11 Dez. 2002.
- [B15] *"Futuro próximo - Pesquisadores da Unisinos desenvolvem veículo controlado por aparelho celular"*; **Zero Hora - Sobre Rodas**, 12 Dez. 2002.

Referências Bibliográficas Complementares:

- [C1] *"Vision-Based Driving Assistance"*; Alberto Broggi; **IEEE Intelligent Systems**; Vol. 13 N. 6; Nov./Dez. 1996.
- [C2] *"A Vision-Based Off-Road Alert System"*; M. Brattoli, R. Tasca, A. Tomasini, E. Chioffi, D. Gerna, M. Pasotti; **IEEE Intelligent Vehicles Symposium**; 1996.
- [C3] *"Fusing Radar and Vision for Detecting, Classifying and Avoiding Roadway Obstacles"*; Dirk Langer, Todd Jochem; **IEEE Intelligent Vehicles Symposium**; 1996.
- [C4] *"Advanced Lane Recognition - Fusing Vision and Radar"*; Axel Gern, Uwe Franke, Paul Levi; **IEEE Intelligent Vehicles Symposium**; 2000.