

Uma Abordagem Prático-Pedagógica para o Ensino de Robótica em Ciência e Engenharia de Computação

João Vilhete¹, Luiz M. G. Gonçalves², Maria F. Garcia¹, Luciane T. S. Garcia³

¹Núcleo de Informática Aplicada à Educação –Universidade Estadual de Campinas (NIED-UNICAMP)

Cidade Universitária Zeferino Vaz, Reitoria: Bloco V, – 13083-970 – Campinas – SP – Brasil
{mgarcia,jvilhete}@nied.unicamp.br

²Departamento de Engenharia de Computação e Automação – Centro de Tecnologia – Universidade Federal do Rio Grande do Norte (DCA-UFRN)

Campus Universitário – CEP 59.072-970 – Natal – RN – Brasil
lmarcos@dca.ufrn.br

³Departamento de Educação – Centro de Ciências Sociais e Aplicadas– Universidade Federal do Rio Grande do Norte (CCSA-UFRN)

59.072-970 – Natal – RN – Brasil
ltsgarcia@yahoo.com

Resumo. Este trabalho propõe uma metodologia para o ensino de robótica em cursos de computação do ensino superior e de pós-graduação, levada a efeito em duas universidades brasileiras, durante o ano de 2001. Uma turma funcionou no Instituto de Computação da Universidade Estadual de Campinas e outra turma no Departamento de Computação da Universidade Federal de Matogrosso do Sul. Usando-se conceitos de lógica e programação, de mecânica, de física, e de eletrônica, durante o curso são desenvolvidos e construídos vários protótipos de robótica que devem ser controlados de forma autônoma por um programa embarcado que funciona numa unidade de processamento localizada no robô. Os problemas práticos propostos e a competição final do curso proporcionaram o aprendizado de novas técnicas de computação aplicadas à robótica bem como a aplicação de conhecimentos adquiridos previamente em outras disciplinas durante a vida acadêmica dos alunos. Os resultados apresentados no artigo demonstram versatilidade do modelo utilizado, com aulas teóricas e práticas balanceadas e destaca o excelente grau de aprendizado das turmas. Ainda, pôde-se demonstrar a necessidade deste tipo de disciplina no currículo de computação, onde o aluno, vulgo computador, deixa o seu mundo virtual, podendo ver um resultado mais prático para suas habilidades de programação. No caso, programas inteligentes foram desenvolvidos para fazer um robô realizar tarefas úteis na prática, gerando movimentos, respondendo de forma inteligente à dinamicidade do ambiente e manipulando objetos nele contidos.

Palavras Chave: Robótica, Educação, Computação.

1. Introdução

Este trabalho propõe uma metodologia voltada ao ensino de robótica em cursos de computação, do ensino superior e de pós-graduação,

experimentada em duas universidades brasileiras distintas durante o ano de 2001. Uma turma funcionou no Instituto de Computação da Universidade Estadual de Campinas e outra turma no Departamento de Computação da Universidade Federal de Matogrosso do Sul.

Aliando-se conceitos de lógica e programação, de mecânica, física, e de eletrônica, durante o curso são desenvolvidos e construídos vários protótipos de robótica, usando tecnologia LEGO MindStorms, que devem ser controlados de forma autônoma por um programa embarcado que funciona numa unidade de processamento localizada no robô construído. Os problemas práticos propostos e a competição final do curso proporcionaram o aprendizado de novas técnicas de computação aplicadas a robótica bem como a aplicação de conhecimentos adquiridos previamente em outras disciplinas durante a vida acadêmica dos alunos. Os resultados apresentados no artigo demonstram versatilidade do modelo utilizado, com aulas teóricas e práticas balanceadas e destaca o excelente grau de aprendizado das turmas. Ainda, pudemos demonstrar a necessidade de se incluir no currículo de computação este tipo de disciplina, onde o aluno de computação deixa o seu mundo virtual e pode ver um resultado mais prático para suas habilidades de programação. No caso, programas inteligentes foram desenvolvidos para fazer o robô realizar alguma tarefa útil na prática: gerando movimentos, respondendo à dinamicidade de um ambiente de forma inteligente, e manipulando objetos contidos em um ambiente.

Assim, este artigo trata basicamente da análise da experiência realizada junto a alunos de computação durante o segundo semestre letivo de 2001, com a disciplina intitulada “Robótica: Sistemas Sensorial e Motor”. A disciplina em questão foi ministrada a nível de pós-graduação, mas também contou com alunos de graduação em ambas as instituições. Esta análise, qualitativa, de dados multi-categóricos, descreve, do ponto de vista dos autores, as atividades desenvolvidas pelos alunos, baseada principalmente na leitura dos apontamentos que cada aluno fez em seu caderno individual utilizado nas aulas práticas bem como dos outros meios de avaliação da disciplina utilizadas durante o decorrer do curso: provas, home-pages criadas por cada grupo, seminários realizados por cada grupo, funcionalidade dos trabalhos práticos, software. A parte teórica do curso consiste basicamente de introduzir os principais conceitos de robótica, com ênfase em percepção robótica. A parte prática do curso consiste basicamente da construção de dispositivos mecânicos (robôs) com Kits LEGO Dacta e da criação de programas para controlar de forma inteligente os robôs construídos. Os projetos foram desenvolvidos em trabalho de grupo. Cada grupo recebeu mesmo tipo e quantidade de

material (01 Kit LEGO 9790) para implementar os projetos de robôs que deveriam executar tarefas específicas.

2. Apresentação da disciplina

A proposta de se desenvolver as atividades práticas da disciplina teve, desde o início a preocupação de se criar um ambiente o mais propício possível para que os alunos desenvolvessem os seus projetos. Uma das condições criadas para isso foi a distribuição logo no início do curso de um Kit LEGO 9790 que contém 01 tijolo programável RCX, 02 motores, 02 sensores de toque, 01 sensor de luz e cerca de 700 outras peças que possibilitam montar mecanismos os mais diversos. Cada kit ficou sob a responsabilidade do grupo até o final do semestre. Isso possibilitou com que as montagens acontecessem não somente durante os horários estipulados para as aulas, mas também, de forma flexível, em dias e horas mais convenientes para cada grupo. Todavia, houve, semanalmente, dias e horários específicos em que aconteciam as aulas teóricas e as aulas práticas com a presença do professor. Cada grupo implementou três diferentes projetos de robôs, em grau crescente de complexidade. No final do primeiro e do segundo projetos foi realizada uma apresentação na forma de seminário em sala de aula. Já no final do terceiro e último projeto, além do seminário e apresentação em sala, foi realizada uma apresentação em forma de competição. Estiveram presentes, além do professor e dos alunos da turma, outros professores e alunos de outras turmas. No Instituto de Computação estiveram presentes repórteres do Jornal da Unicamp que registraram o evento e, que foi posteriormente publicado [JUN 02]. Na UFMS, foi também publicada uma matéria sobre a disciplina num jornal de âmbito estadual [JCE 01].

2.1 Objetivos, pré-requisitos e avaliação

A disciplina (Robótica: Sistemas Sensorial e Motor) tem como objetivo abordar os principais conceitos da robótica perceptual. Para se matricular na disciplina é desejável que o aluno deva ter conhecimentos prévios de álgebra linear, cálculo vetorial, cálculo diferencial e integral e física básica (especialmente mecânica clássica). Além disso, são necessários conhecimentos sobre a linguagem de programação C (ou C++).

A avaliação do aprendizado é realizada por meio de listas de exercícios, análise do caderno de anotações, home-page de cada grupo, trabalhos práticos, software, seminários de apresentação de projetos, provas e o projeto final.

2.2 Aulas teóricas e aulas práticas

As aulas teóricas consistem de aulas expositivas, dialogadas, onde o aspecto fundamental é a abordagem dos conceitos teóricos de robótica perceptual, incluindo: fundamentos de robótica (cinemática e dinâmica de manipuladores), teoria de controle, percepção robótica, visão computacional, aprendizado de máquina, multi-robôs e autonomia robótica. A ênfase maior do curso está em percepção e visão robótica, inteligência artificial (IA) e teoria de controle. O objetivo dessas aulas é apresentar os conceitos inerentes a esses campos do conhecimento inter-relacionando-os com o desenvolvimento dos projetos propostos. As aulas práticas consistem da construção, programação e controle dos dispositivos robóticos. Nessas aulas os conceitos teóricos apresentados em classe, de forma expositiva, são trabalhados/utilizados na prática pelos alunos. **Construir** os dispositivos significava utilizar peças mecânicas tais como rosca sem-fim, engrenagens, eixos, cremalheiras, correias dentadas etc, para montar estruturas mecânicas. Estas peças devidamente acopladas, respeitando alguns princípios mecânicos, e utilizando-se de componentes elétricos como motores e sensores possibilita que os robôs se movimentem [DAB, 99]. **Programar e Controlar** os dispositivos significa elaborar programas utilizando o software *Robolab* (primeiro projeto apenas), a biblioteca *Not Quite C – NQC* e/ou o *LEGO-OS* (para os projetos seguintes e a competição) para controlar o tijolo programável *Robotic Command Explorer* (RCX) da LEGO. O software *Robolab*, voltado para plataformas Windows, é fornecido pelo fabricante, sendo muito limitado. É ideal para projetos a nível médio ou elementar, mais adequado a alunos de primeiro ou segundo grau, sendo por isso abandonado após o primeiro projeto. A finalidade principal de sua utilização é permitir ao aluno avaliar as potencialidades limitadas de um software restrito que pode funcionar bem no contexto de alguma tarefa simples de automação, mas que se torna inadequado quando falamos em robótica perceptual ou robótica inteligente. Assim, a partir do segundo projeto, os alunos utilizam a biblioteca *NQC* e/ou o *LEGO-OS*. Estes ambientes foram desenvolvidos a partir de estudos usando técnicas de re-engenharia do

RCX, por pessoas independentes, e são considerados softwares livres, de domínio público, facilmente encontrados na Internet. Existem versões para diversas plataformas e sistemas operacionais, incluindo Windows, Unix, Linux, Irix, Mac-OS. r4e/ou empresas

2.3 Trabalhos práticos e caderno

A finalidade dos trabalhos práticos da disciplina foi a construção de conhecimentos referentes a cada um dos aspectos de um projeto maior, que se configurou no desenvolvimento de um robô móvel capaz de executar com sucesso tarefas previamente especificadas, bem como reagir a possíveis mudanças ocorridas no ambiente. Cada detalhe, idéia, desde a concepção até a implementação deve constar no caderno de laboratório de cada aluno. Os trabalhos práticos foram projetados objetivando a preparação para a competição final, que consistiu da integração dos diversos subsistemas de hardware (estrutura mecânica, sensores, atuadores) e software (controle do robô). Foi recomendado que cada aluno tivesse o seu próprio caderno. Nele devem ser anotadas idéias de mecanismos, estratégias, algoritmos, etc. No caderno pode-se ter também figuras, fotos, gráficos e tabelas obtidas de calibração de sensores, etc. O caderno é como um diário do robô que acompanha a sua evolução.

2.4 Página WWW e seminário

Faz parte das atividades da disciplina a construção e manutenção, por cada grupo, de uma página disponível publicamente via Internet. Ela deve conter todo e qualquer material referente a documentação dos projetos. As atividades desenvolvidas pelo grupo na semana devem estar disponíveis toda segunda-feira pela manhã. Cada grupo deve ter um nome, pelo qual o seu robô também será conhecido. A evolução de cada projeto deve ser documentada com fotos digitais para serem incorporadas na página do grupo. Ao longo da disciplina, baseando-se principalmente no conteúdo da página WWW, devem ser preparados e apresentados seminários onde cada grupo discorre sobre seu projeto, aspectos técnicos, dificuldades, resultados esperados e alcançados, etc. No final do terceiro e último projeto foi realizada uma apresentação na forma de competição. Desde o início do semestre fica definido que haverá uma competição onde deve ser apresentado o projeto final. O projeto consiste na construção de um

robô móvel autônomo com todas as potencialidades disponíveis.

2.5 Os projetos e a competição final

Durante o decorrer da disciplina, 3 projetos práticos devem desenvolvidos, visando aplicar os conteúdos teóricos da disciplina. Ainda, no final do curso, uma competição final visa a integração de toda a turma num evento de término da disciplina. Um dos objetivos de cada um dos projetos é também a preparação dos robôs para esta competição final.

2.5.1 Primeiro projeto: bate e volta (desvia de obstáculos)

A idéia do primeiro projeto é bem simples. Cada grupo deve fazer um programa usando o Robolab que comande um UV (Umnanned Vehicle) a se deslocar em um ambiente e a parar se próximo a uma parede (ou algum obstáculo). Qualquer melhoria introduzida será levada em consideração. Por exemplo, após o UV parar, alguma decisão, tal como "virar à direita" (ou "esquerda"), pode ser tomada e o UV inicia deslocamento novamente. Uma melhoria, por exemplo, é fazer o sensor de luz ser indiferente à luz ambiente o que permite ao UV funcionar em qualquer lugar (calibração de sensores). Este projeto envolve o planejamento e construção da parte mecânica e eletrônica do UV, bem como a implementação do programa de controle. O objetivo deste primeiro trabalho prático é introduzir os alunos ao kit LEGO bem como entender o funcionamento de um robô autônomo.

2.5.2 Segundo projeto: robô que não cai da mesa

Fazer um programa usando o NQC ou LEGO-OS (ou outra biblioteca qualquer, preferencialmente sob Linux, linguagem C) que comande um UV (Umnanned Vehicle) a se deslocar sobre uma mesa e a parar se próximo à uma de suas arestas. Qualquer melhoria introduzida será leva em consideração. Por exemplo, após o UV parar, alguma decisão, como "virar à direita" (ou "esquerda") poderá ser tomada, e o UV iniciar deslocamento novamente. Este trabalho envolve o planejamento e construção da parte mecânica e eletrônica do UV, bem como da implementação do programa de controle usando a biblioteca escolhida.

2.5.3 Terceiro projeto: resgate

Fazer um programa usando o NQC ou outra biblioteca que comande um UV (Umnanned Vehicle) a entrar num ambiente composto por 4 paredes e retirar "pessoas" deste ambiente (ver "Competição", abaixo). Este trabalho envolve o planejamento e construção da parte mecânica e eletrônica do UV, bem como da implementação do programa de controle no NQC.

2.5.4 Competição final: resgate de humanos

O terceiro trabalho serve de base para a competição. Dois UVs, inimigos, devem entrar no ambiente (arena) composto por 4 paredes com uma porta de entrada apenas, e retirar **humanos amigos** deste ambiente. O tem dimensões de 1,5 por 2,0 metros e os humanos (na realidade, caixinhas feitas de isopor) estão espalhados aleatoriamente pelo ambiente. Há humanos de duas cores diferentes, também sendo diferentes da cor da parede. As cores escolhidas para os robôs não predominam no kit lego, para que se possa diferenciar humanos dos robôs. Uma garra posicionada na frente do UV consegue engatar um dos quatro ganchos posicionados sobre os robôs (isto seria pegar o humano). Numa outra forma experimentada pelos alunos, o robo envolve (agarra) o humano com uma garra. Outra maneira ainda, o robo "engole" o humano em seu interior e depois o solta, quando sair do ambiente.

3 Levantando dados multicategóricos

Acompanhar de forma sistematizada o trabalho de uma turma significa negociar com os alunos, logo no início do semestre, alguns critérios sobre como o trabalho deve ser realizado. Ou seja, metas a serem atingidas foram definidas e também compromissos para ambas partes, professores e alunos. Para o estudo das estratégias que os alunos usam para resolver problemas e para entender como acontece o aprendizado de conceitos, exige-se dentre outras tarefas, ministrar aulas e interagir com os alunos de forma individual, em pequenos grupos, e também coletivamente. A partir daí, no processo, coletamos, analisamos e tratamos informações usando os apontamentos feitos nos cadernos, principalmente. Essas informações uma vez organizadas e tratadas evidenciaram um conjunto de atributos e características que ajudaram a explicar fenômenos presentes no processo de aprendizagem dos alunos.

A análise principal consistiu da verificação de 43 cadernos. Ou seja, 100% dos cadernos foram avaliados e analisados num contexto em que as turmas foram divididas em grupos de 3 pessoas em função das afinidades e relacionamento entre os alunos. O caderno foi o material de bancada que funcionou como um portfólio (ou um diário) individual que o aluno levava para todas as aulas práticas a fim de anotar as etapas, as dúvidas, as sugestões/hipóteses suas e/ou de outros colegas, as implementações e experimentações, enfim todos e momentos que ele considerava importante durante o processo de desenvolvimento dos projetos no seu grupo. Embora trabalhando em grupo observou-se que, cada aluno tinha a sua opinião pessoal que nem sempre convergia com a do colega do mesmo grupo, sobre as implementações em um determinado projeto. Os aspectos levantados, evidenciados nos cadernos e nas páginas Web, são dados empíricos cuja organização e interpretação originou a construção de categorias de análise [MOL, 01]. A análise dos cadernos dos alunos permitiu comprovar que as anotações feitas por eles se constituíam em dados de natureza multicategórica que se inter-relacionavam com maior ou menor grau de correlação. Esta análise fundamentou-se na definição de categoria, com base no autor Molina Pagnez, como sendo *"um grupo com um conjunto de atributos ou características comuns, que tem poder de explicitar uma grande quantidade de fenômenos presentes no processo (...)"* [MOL, 01]. Para a análise dos cadernos, foi feita uma leitura prévia destes e agrupados os aspectos considerados mais relevantes. Foram eleitos como aspectos representativos aqueles que foram descritos/citados por no mínimo 80% dos alunos. Seis categorias foram definidas e analisadas: diferentes heurísticas para solucionar o problema; utilização de conceitos de outras disciplinas; solução por software, cooperação entre os colegas; denominação dos robôs; aproveitando idéias.

3.1 Categoria 1: Diferentes Heurísticas para Solucionar o Problema

Ao se defrontarem com os projetos de montagem, programação e controle dos robôs, os alunos desenvolveram ao longo do curso diferentes estratégias/heurísticas para solucionar os problemas propostos. O nível de complexidade dos problemas cresce à medida que se passava de um projeto mais simples para outro mais sofisticado. Algumas estratégias

utilizadas pelos alunos foram: elaboração de desenhos/esquemas, elaboração de protótipo, montagem de diversas estruturas, construção de diferentes versões de robôs, e definição de estratégias. A seguir será discutido e analisado três delas.

3.1.1 Elaboração de desenhos/esquemas

Esta foi a estratégia utilizada, muitas vezes pelos alunos, para explicar, por meio de esquemas (feitos a mão livre), para o professor e/ou outro colega a idéia da montagem que o grupo pretendia desenvolver como mostram as figuras 1 e 2. Os desenhos demonstram, de alguma forma, a antecipação das idéias, dos conceitos que o grupo tinha sobre o dispositivo mecatrônico que pretendia implementar. Analisando os desenhos dos grupos, sob a ótica de aprendizagem de conceitos, pode-se de certo modo considerar que, num primeiro momento, os desenhos dos grupos representaram um desenvolvimento de conceitos espontâneos que precisam alcançar um certo nível de compreensão para que posteriormente os alunos fossem capazes de absorver o conceito científico correlato. Conceito espontâneo é um conceito que é aplicado de forma não-consciente. Ao operar com conceitos espontâneos, o sujeito não está consciente deles, pois a sua atenção está sempre centrada no objeto ao qual o conceito se refere, nunca no próprio ato de pensamento (Vygotski, em *Pensamento e Linguagem*, p. 79) [VYG, 91].

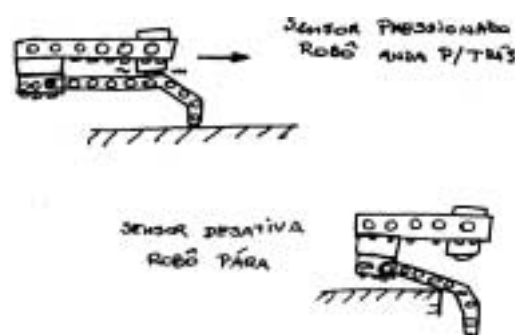


Figura 1 – Desenho a mão livre - sistema de decisão

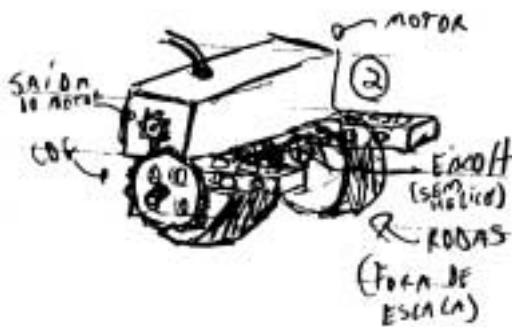


Figura 2 – Desenho a mão livre - sistema de garra com engrenagem e rosca sem fim

3.1.2 Elaboração de protótipo

A estratégia de desenvolvimento utilizada pelos alunos consistiu na construção de pequenos protótipos de alguns dos mecanismos que deveriam fazer parte dos robôs. Muitos protótipos foram construídos e testados isoladamente, uma vez funcionando, eles foram incorporados aos robôs. Alguns desses protótipos são: sistemas de redução de velocidade usando jogos de engrenagens, sistemas de acoplamentos de eixos, sistema diferencial/cardin, sistema de acionamento de sensores, sistema de garra para o braço robótico, sistema de direção, etc.. As figuras 3. e 4 mostram dois desses protótipos.

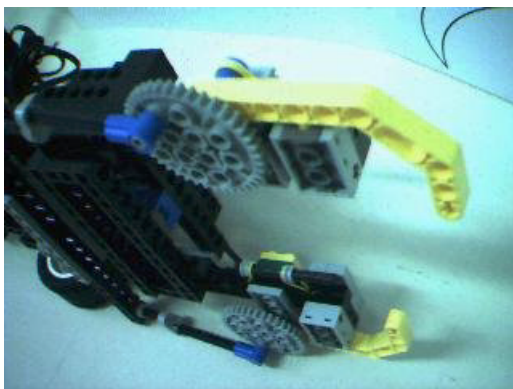


Figura 3 – Sistema de Garra

3.1.3 Construção de diferentes versões de robôs

Na maioria das vezes os alunos construíram diversas versões do robô, com diferentes denominações, partindo de alguma configuração que já conheciam para depois chegarem ao formato definitivo. Este processo envolveu por exemplo a utilização de conceitos de física ao

determinar a velocidade, matemática no cálculo da relação de engrenagens, e de computação na programação dos robôs. A figura 5, por exemplo, mostra a primeira versão do robô **Afrodite**, utilizando sistema de deslocamento baseado em esteiras. A figura 6 mostra a última versão deste robô utilizando sistema de deslocamento baseado em rodas.

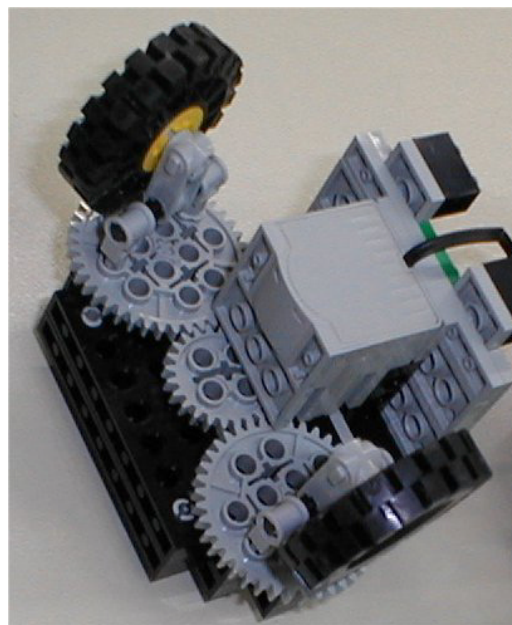


Figura 4 – Sistema de Garra

3.2 Categoria 2: Utilização de conceitos de outras disciplinas

Utilizar os conceitos de outras disciplinas significa lançar mãos de conteúdos e conceitos de outros campos do conhecimento, que não apenas a Robótica, para solucionar problemas específicos da robótica como, por exemplo, utilizar o software L-DRAW [LDR, 2001] para especificar a sequência da montagem de protótipos. Foi verificado que esta categoria praticamente se inter-relaciona com todos os aspectos levantados, o que mais uma vez demonstra a natureza interdisciplinar dos projetos desenvolvidos. Basicamente, os aspectos descritos nas seções a seguir constituem a categoria.

3.2.1 Formulando Matematicamente o Problema

Em muitas situações os alunos utilizaram recursos matemáticos na busca de solução para

um determinado problema, por exemplo, fazer o robô em movimento detectar a luz. Neste caso, foi definido um período de tempo (tempo de calibração) e considerada a velocidade inicial. Sabendo-se o tempo (t) e o número de voltas que a roda efetua, pode-se calcular a distância percorrida. O número de voltas da roda é contado usando-se um sensor de rotação. Ou seja, para uma roda de diâmetro (d) e um giro de 90° tem-se a distância percorrida (S) como sendo: $S = \pi d/2$. Uma vez obtido o S pôde-se calcular a velocidade (v) do robô, pois $v = S/t$. Neste exemplo, conceitos de Física e de Matemática foram usados para formalizar o problema de calcular a velocidade. Em muitos projetos a velocidade foi determinada de forma empírica, mas este grupo teve a preocupação de determiná-la cientificamente. Ainda sobre a formulação matemática de problemas, para reduzir a velocidade num eixo com polias, o aluno propôs:



Figura 5 – Robô Afrodite com sistema de deslocamento baseado em esteiras

*"conectando duas polias, mantém-se a velocidade escalar (v) de cada uma, mas não a velocidade angular (α). Como $v = \alpha * R$*
*Temos: $V_1 = V_2 \Leftrightarrow \alpha_1 * R_1 = \alpha_2 * R_2$*
 *$\Leftrightarrow \alpha_2 = R_1/R_2 * \alpha_1$ assim, se $R_2 > R_1$, $R_1/R_2 < 1$*
e $\alpha_2 < \alpha_1$ (para velocidade angular α_2 e α_1)
Por outro lado se:
 $\alpha_1 = \alpha_2 \Leftrightarrow V_1/R_1 = V_2/R_2 \Rightarrow$
 *$V_2 = R_2/R_1 * V_1$ e se,*
 $R_2 < R_1$, $R_2/R_1 < 1$ e $V_2 < V_1$ ".

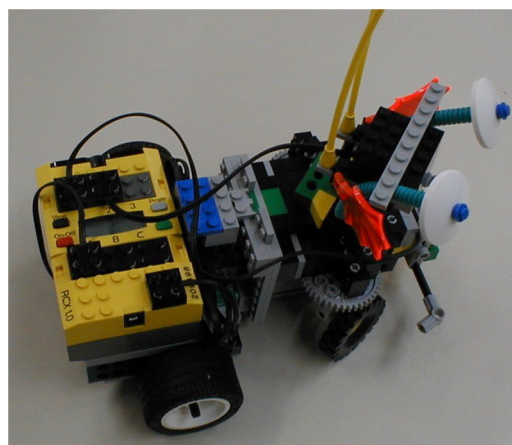


Figura 6.16 – Robô Afrodite baseado em rodas

3.2.2 Conceitos de física

O uso de conceitos de Física foi um dos aspectos que permeou os cadernos e páginas Web analisados. Foi marcante a utilização de conceitos de Física em praticamente 100% dos materiais analisados. Em muitas situações os alunos para explicarem as idéias a serem implementadas utilizavam conceitos como: momento de inércia, peso, gravidade, centro de massa, velocidade, dentre outros. Esses conceitos se inter-relacionam tanto verticalmente, com os aspectos levantados, quanto horizontalmente com as categorias criadas a partir desses aspectos.

3.2.3 Conceitos de estatística

A utilização de conceitos de estatística também foi um dos aspectos bastante evidenciado, em situações como, captar 50 amostras de luz para determinar a calibração do sensor de luz. Cálculo da tolerância de uma margem de erro a partir dos valores lidos no *display* do RCX. A utilização desses conceitos estava fortemente concatenada com a utilização de da programação e, mais uma vez, pelo menos duas disciplinas se inter-relacionado.

3.3 Categoria 3: Solução por software

Um usuário com conhecimentos sólidos de informática, de eletrônica e com alguma noção de mecânica como é o caso de estudantes de computação, consegue, de forma rápida, sair da situação de usuário comum (aquele que utiliza o ambiente LEGO-RCX sem se aprofundar/preocupar com os aspectos técnicos de hardware/software) e passar a ser um usuário da área técnica com condições de desenvolver

aplicações específicas, em diferentes áreas da robótica. Para os alunos de computação observou-se uma forte tendência na busca de solução por software. Por exemplo, numa situação de utilização do sensor de luz, antes de se propor um melhor posicionamento do mesmo, para detectar a luz, era proposta a elaboração de um algoritmo para teste desse sensor comparando centenas de leituras captadas, ou algo semelhante. Outro exemplo, descrito por um aluno: *"...tentativa de redução de velocidade do robô por software (sem perder potência) para que o robô não continue andando pelo efeito do momento de inércia..."*. A redução de velocidade do robô poderia ser obtida inclusive com diminuição de torque se fosse pensada uma solução mecânica utilizando jogos de engrenagens. Observou-se uma atitude bastante positiva dos alunos que foi a utilização de outros softwares diferentes do software Robolab originalmente apresentado. Alguns dos diferentes softwares utilizados foram: **LDRAW** [LDR, 01], **NQC** [NQC, 01], **PERL** e **LEGO-OS**.

No segundo projeto, apresentado acima, quase todos os algoritmos desenvolvidos pelos alunos se basearam em fazer do robô um "Seguidor de Arestas". Ou seja, fazer o robô, por intermédio de sensor de luz, procurar por buraco enquanto ele estiver "enxergando" a mesa e procurar por mesa enquanto ele estiver "enxergando" buraco. Com isso, o robô é capaz de se deslocar sem cair da mesa. Um pseudo-código elaborado para o seguidor de arestas é o seguinte:

- Gira 360° e pega a maior e a menor intensidade de luz
- Enquanto não há buraco na frente
- Anda o suficiente para as rodas traseiras ficarem na posição das dianteiras
- Pára
- Verifica se há buraco
- Gira para direita até achar a mesa (*)
- Anda
- Pára
- Gira para esquerda até achar buraco
- Volta para (*)

No terceiro projeto, a tarefa era entrar em uma arena, reconhecer a caixinha "amigo" e retirá-la para fora da arena. Para isso, uma vez reconhecido e capturado o amigo, o robô deveria ser capaz de saber se ele estava defronte de uma parede e caso estivesse, ele deveria seguir contornando a parede até chegar na porta de saída. Para contornar a parede um dos grupos desenvolveu o "sistema de tateamento" onde se elaborou um programa que possibilitava ao robô

seguir as arestas conferindo periodicamente, por meio de sensor de luz, se ele estava no caminho certo. Para o robô encontrar a saída (porta), foi sugerido também, além da utilização do sistema de tateamento, a utilização de um algoritmo baseado na memória visual onde a idéia era guardar o caminho percorrido. Para solucionar o problema de deslocamento do robô para sair de um espaço fechado que só tinha uma porta, um dos alunos propôs: *"... fazer um mapeamento do caminho de acordo com o movimento e o tempo dos motores para fazer o caminho reverso para voltar e sair do cercado. Mas se ele andar muito talvez não haja memória. Pode-se pensar usar uma pilha na memória para guardar o caminho, assim é fácil desfazê-lo."*

Estas descrições acima mostram alguns conceitos computacionais desenvolvidos em software, associados às estratégias de resolução de problemas utilizadas pelos alunos.

3.4 Categoria 4: Cooperação entre os colegas

A cooperação entre os alunos foi uma das categorias que se evidenciou. Isso propiciou um diálogo entre todos, inclusive com o professor, possibilitando uma relação muito franca em prol do aprendizado, muito interessante [FRE, 87]. Pôde-se observar que existiu por parte dos alunos, desde o início, uma preocupação em formar grupos com os colegas com os quais tinham mais afinidades. Houve situações em que algumas idéias utilizadas sem sucesso por um determinado grupo não eram reutilizadas por outro grupo, pois devido à cooperação que existiu entre os grupos uns informavam aos outros o que funcionou bem e o que não funcionou também. A partir dessas análises foi possível identificar que o ambiente de trabalho propiciado pela disciplina (Robótica: Sistemas Sensorial e Motor) foi um ambiente onde sugestão e ética no trabalho em equipe estava presente. Sugestão e ética podem ser discutidas sob dois enfoques: ética e cooperação no trabalho em equipe e estabelecimento de regras [FRE, 87].

Opinar sobre o projeto do colega ou discutir as regras sob as quais a competição deveria ser submetida e estabelecer critérios para a formação dos grupos, foram algumas características que se observou. Um exemplo do critério de formação de um dos grupos colocado no respectivo site foi o seguinte: *"Os integrantes serão selecionados por um critério rigoroso na busca de pessoas*

capazes de trabalhar em equipe e com ideais semelhantes, para assegurar um nível ótimo nos trabalhos realizados". Fica evidente que para esse grupo era importante a afinidade entre as pessoas que o constituíssem, que estava condicionado ao compromisso com o trabalho em grupo a qualidade do produto final. As sugestões de colegas do mesmo grupo ou mesmo de outros grupos foram sempre muito bem aceitas por todos. Em muitas situações houve o pedido de ajuda entre os alunos. Houve também a socialização de informação como aconteceu na seguinte mensagem disponibilizada na página dos alunos de um dos grupos:

"Atenção, antes de Começar a editar a página do seu grupo de robótica, leia estes avisos do Clyde. Gente, antes de editarem qualquer arquivo dentro desta Home page, lembrem-se de fazer algumas coisas:

- *Sempre alterem o arquivo que vocês acabaram de fazer para o grupo GOLEM, para as permissões de leitura para todos, e escrita para user e group. Os comandos para fazer isso são: `chgrp golem <nome do arquivo>`, `chmod a+r <nome do arquivo>`, `chmod g+w <nome do arquivo>`.*
- *Lembrem-se sempre de avisar o resto do grupo por e-mail quando vocês alterarem um arquivo, de maneira que todos possam olhar e dar sugestões.*
- *Quando alguém avisar por e-mail que alterou um arquivo, olhem e dêem sugestões".*

3.5 Categoria 5: Identificando os Robôs

Dar nome aos robôs desenvolvidos nos projetos e as páginas Internet construídas foram algumas das características que se evidenciaram e que nos demonstra não só a necessidade que os alunos tinham em se identificarem mas, que também realçou o lado lúdico que o ambiente de aprendizado da disciplina Sistemas Sensorial e Motor pôde proporcionar.

3.5.1 Denominando os grupos e os robôs

Alguns dos nomes dados aos robôs são: KGG - Kaixinha de Glub-Glub, Lagosta, Aanil, Annie e Afrodite. Estes nomes tinham a ver com as aparências que os robôs adquiram ao longo do projeto ou com a tarefa que eles deveriam desempenhar, ou alguma homenagem a algum integrante do grupo. A Lagosta era um robô com

a aparência de uma lagosta. O KGG - (Kaixinha de Glub-Glub) era um robô que capturava caixas de isopor. A Annie, por exemplo, é uma homenagem à filhinha de um dos integrantes do grupo. A Aanil (Assassino Narcisista de Inocentes Legos) foi o nome atribuído ao primeiro robô construído pelo grupo. Afrodite é o nome dado a um robô que não tinha uma forma bem definida, pois, segundo o grupo Afrodite é uma deusa e, portanto, podia assumir a forma que ela quisesse. As páginas construídas foram batizadas como, Lobo solitário, Adoradores do Tchuuu, Equipe 3MIC, Estaleiro Imperial e Afrodite (estes na UNICAMP) e Daileon, Hall9000, Robocep, Esteira, Caça Minas, pernalta, Empilhadeira, Gonzo, Cucaracha (estes na UFMS). Algumas das páginas dos alunos, bem como a página da disciplina, ainda estão no ar. Confira ao final do texto, nas referências bibliográficas.

3.6 Categoria 6: Aproveitamento de idéias

Em muitas situações a tentativa de solução de um problema, pelos alunos, envolveu a utilização de conceitos de outras disciplinas e também o aproveitamento de alguma idéia que já havia sido testada em outra situação. Por exemplo, com base no chassis montado para o projeto¹, uma vez depurado e solucionado os problemas ocorridos, utilizou-se o mesmo chassis já com algumas melhorias no projeto 2.

3.7 Definindo regras para a competição

Como visto acima, o encerramento do projeto 3 e também da disciplina se deu com realização de uma competição onde dois robôs UVs (Unmanned Vehicles), um de cada equipe, deveria entrar numa arena com 4 paredes e uma porta de entrada apenas, e retirar caixinhas "amigos" desta arena.

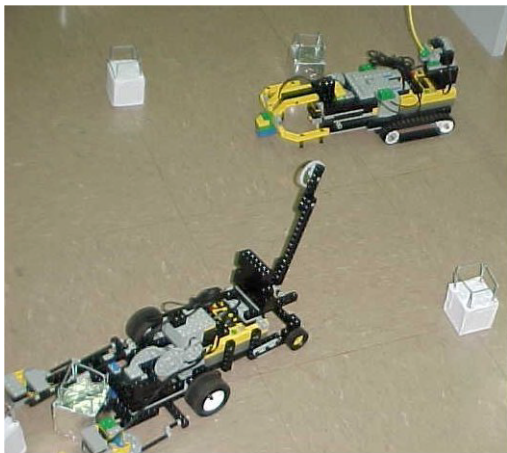


Figura 7 – Dois robôs competindo na arena

Uma situação interessante neste aspecto foi o momento de definição de regras para a competição em um das aulas. Durante esta aula os alunos discutiram e definiram várias normas que deveriam ser obedecidas no momento da competição como, por exemplo, a retirada do robô da área reservada para competição caso ele pare num dos vértices e não consiga sair. Este robô poderia ser retirado, porém, o grupo a qual ele pertencia perderia pontos. Um fato curioso de se descrever foi a atitude de um dos alunos que, logo após a definição das regras, perguntou aos colegas se não havia mais nenhuma regra a ser definida. Mediante a resposta afirmativa dos colegas, de que todas as regras estavam definidas, este aluno disse "**já que as regras estão definidas tudo que não foi definido está valendo**". Esta atitude demonstrou um gesto antiético de se aproveitar das brechas nas regras definidas para tirar vantagens, provavelmente para o seu grupo. Segundo este aluno, "**se não está na regra então não é proibido**". Ao final desta aula foram definidas as regras para a competição que depois de discutidas com o professor foram estabelecidas. Estas regras podem ser vistas na página da disciplina, ver final das referências (são extensas para enumerar aqui).

4. Conclusões e perspectivas

O artigo apresentou a forma como foi estruturado o curso, o que parece ter sido uma das condições que tornaram possível, ao final do semestre a realização dessa análise. Ao analisar a constituição de diversas categorias observou-se que existe uma relação entre aspectos observados no caderno dos alunos e nas home-pages e as categorias constituídas a partir deles. Por exemplo, a tentativa de se calcular o tempo de

giro do eixo do motor num robô com o formato de um carro, levou à manipulação de conceitos de *peso do chassis*, que por sua vez levou ao cálculo do *atrito das rodas*, e deste para a alteração do *centro de massa*, e finalmente a *diminuição do torque*. Isso demonstra um entre vários encadeamentos de raciocínios descritos pelos alunos envolvendo diferentes conceitos na mesma disciplina e, às vezes entre diferentes disciplinas que nada mais é do que a relação interdisciplinar que permeia todo o projeto de concepção estruturação, implementação e, principalmente, programação de dispositivos mecatrônicos. Ao analisar, por exemplo, a categoria **(Diferentes Heurísticas para solucionar o problema)** observou-se que existe uma relação entre aspectos observados nos cadernos e as categorias constituídas a partir desses aspectos. Isso não aconteceu somente com esta categoria, aconteceu com as outras também. Esta relação se deve ao fato de que no processo de construção de diferentes versões de robôs foram utilizados diversos conceitos científicos.

Embora tivesse sido elaborado um planejamento onde, por exemplo, os seminários seriam todos apresentados ao final da disciplina, a dinâmica do curso mostrou uma realidade diferente, em que seria mais proveitoso apresentar o seminário de cada projeto logo após o término deste. Um dos tópicos também discutido no artigo foi a possibilidade que se criou para desenvolver projetos em grupo, respeitando a individualidade de cada um, perpassando pelas questões da ética e cooperação inerentes ao trabalho em equipe. Ao longo do artigo, foram apresentadas e desenvolvidas uma série de idéias que apontam para estudos futuros passíveis de serem realizados sobre como a atividade de montagem automação e controle de dispositivos mecatrônicos pode permitir desenvolvimento de projetos que levam a um aprofundamento de estudo de conceitos científicos de forma abrangente. Ainda, concluímos enfatizando a necessidade de se incluir um curso similar em todo programa de disciplinas de computação, onde o aluno sai do seu "mundinho" virtual e vê o resultado prático de seus programas.

5. Notas e agradecimentos

A disciplina foi ministrado na UNICAMP pelo Prof. Luiz M. G. Gonçalves e pelo Prof. (PED-II) João Vilhete contando com 25 alunos. Na UFMS, foi ministrada pelo Prof. Luiz M. G. Gonçalves, no programa de mestrado, e contou com 18 alunos. Atualmente, o mesmo curso está sendo ministrado pelo Prof. Luiz M. G.

Gonçalves no Programa de Pós-Graduação de Engenharia Elétrica do Departamento de Engenharia e Computação e Automação da UFRN. Conta atualmente com 18 alunos, tanto de pós-graduação (Doutorado e Mestrado) quanto alguns da graduação (Engenharia de Computação e Ciência da Computação). O Prof. Luiz M. G. Gonçalves foi do Instituto de Computação da UNICAMP durante o ano de 2001.

Agradecimentos ao Prof. Roderic A. Grupen da University of Massachusetts e ao Prof. Mário F. M. Campos da Universidade Federal de Minas Gerais por cederem notas de aula sobre o tópico fundamentos de robótica.

6. Referências

- [DAB, 99] D'ABREU, J. V. V., CHELLA, M. T. *Desenvolvimento de Ambientes de Aprendizagem Baseado no Uso de Dispositivos Robóticos* In: X SBIE, Universidade Federal de Paraná – UFPR, Curitiba – PR, p 9 - 16, 1999.
- [FRE, 87] FREIRE, P. A *Pedagogia do Oprimido*. Paz e Terra, Rio de Janeiro, 1987.
- [MOL, 01] MOLINA PAGNEZ, K. S. M., *Projeto Eureka: uma trajetória*. Dissertação de mestrado, Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Educação, FE/UNICAMP, Campinas São Paulo, 2001.
- [VYG, 91] VYGOTSKI L. S., *Pensamento e Linguagem*, Martins Fontes, São Paulo, 1991.
- [JUN, 02] Jornal da Unicamp nº 170 fev. de 2002. “ *Inteligência Artificial: Alunos fazem exercícios com Brinquedos LEGO para Aplicar Conceitos Sofisticados de Robótica*”. Gráfica da UNCAMP.
- [JCE, 01] Jornal Correio do Estado (MS), novembro de 2001. “Alunos da UFMS realizam competição de robótica em curso ministrado por professor da UNICAMP”.
- [LDR, 01] <http://www.ldraw.org/> - Ferramentas para modelagem de robôs LEGO.
- [NQC, 01] <http://www.cs.uu.nl/people/markov/lego/> NQC- Not Quite C: linguagem de programação para RCX (). PERL
- Página atual da disciplina (UFRN): <http://www.dca.ufrn.br/~lmarcos/courses/robotica/>
- Páginas dos grupos da UNICAMP:
- <http://www.dcc.unicamp.br/~980863/golem/Quadrilha>
 - <http://www.dcc.unicamp.br/~ra992880/mc959/index.html> Afrodite
 - <http://www.dcc.unicamp.br/~ra002205/>
 - <http://3mic.cjb.net/> 3MIC

<http://www.ic.unicamp.br/~ra009206/robot>

Página dos grupos da UFMS:

- <http://www2.dct.ufms.br/~ei/robotica/>
- <http://www.daileon.rg3.net/> Daileon
- <http://www.dct.ufms.br/~lmontera/robotica/Hall9000>
- www.roboccep.cjb.net Esteira, C. minas, Pernalta
- <http://www.oficinadopardal.hpg.ig.com.br/index.html>
- <http://www.itms.hpg.ig.com.br/index.htm>
- <http://www.dourados.br/xirula/Paginas/Principal.html>

Apêndice A: Algumas notas tiradas das Home-Pages (UNICAMP)

A.1 Grupo Aanil

"Projeto 0: Aanil - Aanil Assassino Narcisista de Inocentes LEGOS, foi a primeira experiência do grupo com o kit mindstorms da LEGO, não realmente um projeto.

Projeto 1.0: Choogaboom v1.0 - Choogaboom é o nome do carro à prova de balas da quadrilha de morte, e do nosso robô do curso também. Nesta versão, ele deve ser capaz de desviar de paredes utilizando sensores de luz. O Choogaboom 1.0 utiliza um motor para a roda direita e um para a esquerda, e vira utilizando força invertida nas rodas.

Projeto 1.1: Choogaboom v1.1 - Bugs Corrigidos: Foram feitas uma série de modificações, que levaram à nova versão. A principal delas é o uso de uma roda solta atrás do robô.

Projeto 1.2: Choogaboom v1.2 - A versão 1.1 apresentava problemas sérios de desvio da rota original. Duas mudanças no robô consertaram isso: A roda solta fica na frente, e o uso de "rodas estereo" :P"

A.2 Grupo Afrodite

1ª forma de Afrodite

Implementação (não muito funcional :) de Afrodite com um mecanismo parecido com o funcionamento de um carro (vira rodas como um carro).

2ª forma de Afrodite

Implantação de um mecanismo (apelidado de pêndulo) que permite que a robô utilize somente um motor para movimentação (com capacidade de curvas, essa é a parte interessante! :).

3ª forma de Afrodite e primeiro projeto

Implementação utilizada para solucionar o problema do primeiro projeto (detectar obstáculo). A mais bonitinha, mas com poucas fotos.

4ª forma de Afrodite e segundo projeto

Forma que foi utilizada na resolução do segundo projeto. Utiliza "braços" que caem ao "encontrar" uma borda destivando o sensor de

toque e evitando que o robô caia. As fotos dela precisam ser escaneadas... logo as colocaremos aqui. :)

5ª forma de Afrodite e terceiro projeto (campeonato!)

Implementação para o campeonato (terceiro projeto). Ainda em fase de testes...