

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS  
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO**

**PROJETO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA - CNPq/CPq  
Relatório Final**

Título : Utilização de Robôs Autônomos na Detecção e Desarmamento de Minas Terrestres

Bolsista : Marco Antônio Santuci Carvalho

Orientador : Prof. Mário Fernando Montenegro Campos

Período : Janeiro/1999 a Agosto/1999

## Índice:

<b>1 - Introdução.....</b>	<b>3</b>
<b>2 - Objetivo.....</b>	<b>3</b>
<b>3 – Atividades Realizadas .....</b>	<b>4</b>
<b>3.1 – Estudo sobre Minas Terrestres.....</b>	<b>4</b>
3.1.1) Introdução .....	4
3.1.2) Problemas enfrentados na limpeza de minas terrestres.....	4
3.1.3) Conhecendo melhor uma Mina Terrestre .....	5
3.1.4) Detetando e neutralizando minas terrestres .....	6
3.1.5) Tecnologias existentes na Detecção de Minas terrestres .....	6
3.1.5.1) Sensores correntes de fácil fabricação.....	7
3.1.5.2) Aplicações avançadas utilizando detectores de metais .....	7
3.1.5.3) Pesquisa corrente e desenvolvimento de sistemas .....	7
3.1.5.4) Detecção do volume do explosivo.....	8
3.1.5.5) Detecção de ondas milimétricas passivas.....	9
3.1.5.6) Acústica .....	9
3.1.6) Classificação das tecnologias .....	9
3.1.7) Escolha do sensor .....	10
<b>3.2 – Implementação do Detector de Metais.....</b>	<b>10</b>
3.2.1 – Projeto do circuito .....	10
3.2.2 – Montagem e Teste do Circuito .....	11
3.2.3 – Análise dos resultados .....	13
<b>3.3 – Construção do robô .....</b>	<b>13</b>
3.3.1) Considerações sobre a construção do robô .....	13
3.3.2) Implementação da parte física do robô.....	13
3.3.3) Implementação do hardware do robô .....	15
3.3.4) Implementação do software de controle do robô .....	16
<b>4.0 – Testes e resultados obtidos .....</b>	<b>17</b>
<b>5.0 – Conclusões Gerais.....</b>	<b>17</b>
<b>6.0 – Planos futuros .....</b>	<b>17</b>
<b>7.0 – Referências .....</b>	<b>18</b>

## **1 - Introdução**

A utilização dos robôs móveis nos dias de hoje tem se voltado para contribuir no auxílio de atividades que oferecem risco para o homem. Dentro deste contexto existe a utilização dos robôs móveis na Detecção e desarmamento de Minas Terrestres que é o propósito de estudo deste projeto de pesquisa.

Escolheu-se esta aplicação porque em certas partes do mundo até hoje, existem ainda muitos vestígios de Minas Terrestres que fazem muitas vítimas de mortes, lesões e amputações. A Detecção e o Desarmamento de Minas Terrestres feita atualmente se dá por meio de detectores de metais que são manipulados pelo homem ou através de cães farejadores treinados. Este tipo de atividade, portanto, é de grande risco para o homem que tem que se arriscar perigosamente descobrindo as minas no campo minado.

Através da utilização de robôs autônomos trabalhando em cooperação, a detecção e o desarmamento da Mina Terrestre pode ser feito sem a intervenção humana e o único risco corrido é a perda do robô, que é insignificante em relação à vida do homem.

Para complementar a pesquisa iniciada, a abordagem que se procurou seguir nesta segunda etapa do projeto foi mais prática em busca de resultados que fossem mais satisfatórios e visíveis.

## **2 - Objetivo**

Este projeto tem como objetivo avaliar na prática a eficácia da utilização de robôs Autônomos na detecção e Desarmamento de Minas Terrestres. Para isso pretende-se construir um robô equipado com sensores de maneira a fazer a detecção e o desarmamento de Minas Terrestres. Testes serão feitos com os robôs em ambiente apropriado para avaliação dos resultados.

### **3 – Atividades Realizadas**

Nesta Segunda etapa do projeto seguiu-se um roteiro para a implementação do robô detector de Minas Terrestres.

Primeiramente, foi feito um estudo aprofundado sobre as Minas Terrestres e também dos métodos que existem atualmente para a detecção. Este estudo foi necessário para que se pudesse conhecer o tipo de material contido nas minas, as partes de uma mina terrestre, enfim características relevantes para a sequência do projeto.

Posteriormente, foi avaliado qual o melhor sensor a ser colocado no robô, de acordo com as características das Minas Terrestres estudadas na etapa anterior para que se conseguisse fazer a detecção.

Por último foi desenvolvido um protótipo de um robô móvel onde foi acoplado um circuito de controle do robô e também o circuito contendo o sensor de detecção da Mina Terrestre. Alguns programas foram implementados no hardware do robô de forma que pudesse ser capaz de detectar as Minas Terrestres e comunicasse isto com um aviso de detecção da Mina.

Estas três etapas do projeto são descritas detalhadamente a seguir.

#### **3.1 – Estudo sobre Minas Terrestres**

##### **3.1.1) Introdução**

Os vários conflitos armados ocorridos até hoje no mundo deixaram e continuam deixando vestígios desastrosos para pessoas civis que nada tem a ver com as guerras. Mortes e sequelas deixadas para o resto da vida aterrorizam pessoas indefesas e inocentes que sofrem com uma arma que não escolhe vítima, atinge qualquer um que a aciona sem a menor intenção de fazer isso. Estamos falando das Minas Terrestres.

Estima-se que 120 milhões de Minas Terrestres não detonadas estão enterradas em cerca de 70 países. É estimado também que 80.000 delas foram limpas em 1995 e durante o mesmo período 2,5 milhões a mais foram instaladas. O custo para limpar uma mina é desproporcional em relação ao custo da arma. Preços de uma mina variam de US\$3,00 a US\$15,00 por unidade de acordo com o International Commmittee of the Red Cross. Em contraste, limpar uma mina pode custar cerca de US\$1.000,00 a unidade.

A limpeza de minas terrestres pós conflitos, chamada de “deminção humanitária” (humanitarian demining) é lenta. No Camboja, por exemplo, de 4 a 6 milhões de minas terrestres foram enterradas entre 1970 e 1990 durante conflitos internos entre várias facções armadas. Apenas 4,6 milhas quadradas podem ser limpas por ano com a tecnologia corrente. A esta taxa o Camboja sozinho levará quase 100 anos para ser limpo. É estimado que serão gastos US\$33 bilhões e 1100 anos para que toda a área minada no mundo seja limpa com a tecnologia corrente. A “deminção humanitária” é lenta e cara porque os métodos utilizados datam de antes da Segunda guerra mundial.

##### **3.1.2) Problemas enfrentados na limpeza de minas terrestres**

As tecnologias correntes se utilizam de limpadores voluntários que, manualmente, procuram as Minas por meio de um detector de metal e as extraem com algumas pequenas implementações adicionais. Quando o detector localiza um objeto metálico, o detector cuidadosamente aponta para a terra. O operador então faz o contorno do objeto metálico para saber o que pode ser. Se for uma mina, ela é exposta e retirada sendo posteriormente neutralizada pela detonação ou pela remoção do mecanismo de ativação. Este tipo de procedimento fica muito difícil de ser executado em áreas que antes eram campos desmatados e hoje estão com vegetação, por exemplo.

A limpeza torna-se complicada também pela variedade de tipos de minas terrestres. A mina funciona da seguinte forma: O sensor detecta o alvo. O estímulo provocado pelo sensor explode uma pequena quantidade de explosivo mais sensível que por sua vez provoca a detonação da carga principal que é menos sensível. Todos estes componentes são encapsulados ordenadamente em metal, plástico ou madeira resultando em cerca de 2500 tipos de minas e mecanismos de ativação

O sensor e o mecanismo de ativação juntos formam o fusível que pode ser configurado de várias formas. A tecnologia do fusível tem incluído desde simples sensores de pressão mecânicos até sofisticados processadores eletrônicos que podem controlar várias minas de uma vez. Sensores eletrônicos que podem detectar uma variedade de sinais de acordo com seus alvos tais como acústico, magnético ou térmico também são encontrados.

Robôs podem ser extremamente versáteis e flexíveis na detecção das Minas Terrestres mas ultimamente eles estão sendo limitados pelos componentes que detectam as minas. A detecção das minas tem sido dominada por tecnologias que exploram características associadas a elas. Sensores tais como detectores de metais, radar de penetração terrestre (GPR) e imagens infra-vermelho detectam aberrações em propriedades elétricas, óticas e térmicas de uma área, causados pela presença de minas terrestres. Por causa destas anomalias, eles inerentemente causam muitos alarmes falsos. O maior problema de acordo com alguns pesquisadores não está em detectar a mina e sim discriminar o que são elas em meio a tantos pedaços de metal muito deles detritos de guerras e objetos produzidos pelo homem.

A variedade não está somente no tipo de Minas Terrestres existentes mas também na variedade de ambientes onde elas tem sido colocadas. Não existe um único dispositivo de detecção que pode adequar a todas estas permutações.

### 3.1.3) Conhecendo melhor uma Mina Terrestre

Geralmente as minas são classificadas em três categorias:

- *Minas tanque*: reagem no chão com pressões de 150-300Kg ou por indução. Estes tipos de minas não estão relacionadas com a limpeza de minas tipo humanitária porque normalmente elas não são ativadas pelo peso dos humanos e são raramente usadas em países com guerra civil.
- *Minas antipessoais com fragmentação*: não são ou parcialmente são escavadas dentro do solo. Em alguns casos elas são desativadas antes de explodir ou explodem em determinada direção. Estes tipos de minas são frequentemente ativadas por fios e são letais em um raio de 30m.
- *Minas antipessoais de explosão*: incluem menos que 100g de explosivo. Este tipo mais comum de mina tem construção simples e diâmetro de 10cm. Quando enterradas ou escondidas na grama são difíceis de serem vistas. Estas minas explosivas são ativadas por uma pressão de cerca de 10Kg/dm<sup>2</sup>. Estas minas são designadas para matar e sim para machucar.

A ultima categoria representa o maior problema. Elas são baratas e difíceis de se localizar. Por estas razões são extremamente difundidas. A figura 1 mostra uma mina Anti Pessoal com baixo conteúdo de metal.



**Figura 1 – Mina terrestre anti pessoal com baixo conteúdo de metal**

O explosivo favorito da carga principal é o TNT (2,4,6 – trinitrotolueno). Outros explosivos utilizados são o RDX (1,3,5 - trinitro-1,3,5 – triazacyclohexane), composição B (uma combinação de RDX, TNT e wax), tetril(2,4,6 – trinitrofenilmetilnitramina) e o C-4[uma combinação de RDX, poli-isobuteno, di(2-etilhexil), sebacate e óleo combustível.

#### **3.1.4) Detetando e neutralizando minas terrestres**

O uso de robôs móveis para detecção de minas terrestres tem sido objeto de estudo da NASA, por exemplo, que através do seu programa espacial pode migrar facilmente tecnologia desenvolvida nos seus robôs para serem aplicados às minas. Ela desenvolve robôs chamados de Nanorobots que possuem 15 cm de altura, pesos entre 10 e 100g e coletivamente podem ser utilizados para “colonizar” áreas não exploradas. Eles conseguem se aproximar das minas e não ativa-las porque são muito leves.

Atualmente a maioria das minas são destruídas pela sua detonação com a ajuda de explosivos. A operação é perigosa e requer pessoas treinadas em manusear explosivos. Paralelamente, detonando minas metálicas mais fragmentos metálicos são produzidos confundindo com isso operações de deminação.

Estudos estão sendo feito no sentido de se produzirem compostos químicos que reajam com os explosivos e neutralizem-o . Desta forma evita-se que as minas sejam retiradas dos locais onde foram depositadas facilitando e agilizando a deminação das áreas atingidas.

#### **3.1.5) Tecnologias existentes na Detecção de Minas terrestres**

A seguir serão apresentadas algumas tecnologias no que diz respeito à detecção de minas. A maioria dos projetos durante os últimos anos foram direcionados para aplicações militares e informações detalhadas não são sempre facilmente disponíveis.

No caso de soluções desenvolvidas para aplicações militares vale ressaltar que elas não são normalmente encaixadas para a “deminação humanitária”. No primeiro caso, o objetivo é fazer rapidamente um atalho no campo minado para permitir que as tropas avancem sem atrasos. As taxas de detecção e destruição de minas de tipicamente 80% são aceitas. Para “deminação humanitária” o sistema tem que ter uma taxa de detecção que se aproxime da perfeição (especificações das Nações Unidas requerem melhor do que 99,6%)

### 3.1.5.1) Sensores correntes de fácil fabricação

#### 3.1.5.1.1) Tipos

Times de voluntários “procuradores de minas” usam detectores de metal que trabalham medindo o distúrbio de um campo emissor eletromagnético causado pela presença de objetos metálicos no solo.

Magnetômetros são utilizados quase exclusivamente para objetos ferromagnéticos. Estes sensores não irradiam qualquer energia, apenas medem a alteração do campo eletromagnético natural da terra.

#### 3.1.5.1.2) Problemas

Ambos os tipos de detectores não conseguem diferenciar uma mina/UXO(OneXplode Ordinance) de peças metálicas. Em muitos campos de batalhas, o solo é contaminado por uma grande quantidade de peças de metal fazendo com que cerca de 100 a 1000 alarmes falsos sejam gerados por uma mina real detectada. Cada alarme falso significa perda de tempo e indus perda de concentração.

Minas modernas podem não conter peças metálicas a não ser pelo pino de ativação, por exemplo. Embora os detectores de metal possam ser calibrados para serem sensíveis o suficiente para detectarem estes pequenos itens, isto pode não ser praticável, visto que irá também aumentar a detecção de pequenas peças e consequentemente também o aumento considerável da taxa de falsos alarmes.

### 3.1.5.2) Aplicações avançadas utilizando detectores de metais

Estudos foram feitos e estão sendo mostrados se é praticável discriminar minas/UXO's de peças metálicas através da utilização de detectores de metais, reduzindo a taxa de alarmes falsos. Alguns métodos consistem em usar um detector de metais observando uma curva de decaimento característica e comparando-a com outras armazenadas em memória. Problemas ocorrem neste caso porque a curva de resposta depende de vários fatores como por exemplo orientação do objeto metálico, tipo exato de metal, e esta coincidência é feita apenas para objetos conhecidos a priori. Outros estudos na mesma linha estudam em laboratório a possibilidade de caracterizar objetos/minas medindo resposta em frequência sobre uma grande faixa de frequência.

### 3.1.5.3) Pesquisa corrente e desenvolvimento de sistemas

#### 3.1.5.3.1) Radar de Penetração terrestre - Ground Penetrating Radar (GPR)

O GPR trabalha emitindo no chão, através de uma antena, uma onda eletromagnética cobrindo uma grande largura de faixa. A reflexão no solo causa uma variação no dielétrico tal que a presença de um objeto é medido. Movendo a antena é possível reconstruir uma imagem representando uma fatia vertical do solo. Adicionalmente, o processamento dos dados permite que se tenham fatias horizontais e representações 3D.

Esta tecnologia tem sido usada há 15 anos na engenharia civil, geologia e arqueologia para detecção de objetos enterrados e estudo do solo. Embora esta tecnologia seja promissora, em particular a resolução para detectar pequenos objetos considera o uso de frequências de alguns GHz o que limita com isso a profundidade de penetração e aumenta os ruídos na imagem. O preço também é uma limitação para aplicações humanitárias, comparadas com o custo do equipamento padrão.

#### 3.1.5.3.2) Imagem infra vermelho

Minas retem ou liberam calor em diferentes taxas. Através de câmeras infra vermelho é possível medir o contraste de temperatura entre o solo sobre a mina e o solo embaixo dela. A profundidade máxima alcançada é de cerca de 10-15cm. Os resultados obtidos dependem das condições do ambiente. Sistemas infra vermelho são mais utilizados atualmente para detecção de minas anti-tanque em veículos tais como caminhões apropriados.

#### 3.1.5.3.3) Detecção do traço explosivo (pesquisa em sensores químicos)

Para que os sensores sejam capazes de discriminar o que realmente existe nas Minas Terrestres é necessário a pesquisa por químicas associadas com elas, particularmente com o explosivo em si. Algumas aproximações utilizando sensores químicos baseadas em vapores ou traços químicos vão de baixo custo mas grande efetividade no caso do uso de cachorros até tecnologias avançadas baseadas em espectrometria de massa e noções exóticas de deposição de moscas de frutas e abelhas.

A quantidade de explosivos em minas terrestres disponíveis para detecção é extremamente pequena. Os explosivos achados nas minas são pouco voláteis. O maior problema em projetar um sensor químico para minas terrestres é como transferir traços químicos de explosivos do solo para o instrumento. Métodos de amostragem devem levar em consideração características únicas do TNT, especialmente sua viscosidade. Ele é viscoso em todas as superfícies mesmo em polímeros não viscosos tais como o teflon. A única exceção são o ouro e o índio.

Uma alternativa para detectar diretamente substâncias químicas do explosivo principal é detectar as impurezas associadas a ele. Os químicos também estão tentando desenvolver reações para fazer com que as moléculas do explosivo se tornem visíveis.

A forma de detecção química de maior sucesso disponível são os cachorros. Cachorros são extremamente sensíveis e podem ser treinados para cheirar uma variedade de explosivos. Eles também podem facilmente se mover em diferentes tipos de ambientes.

Cachorros são usados para achar minas porque possuem grande sensibilidade ao cheiro ( $10^{-12}$  a  $10^{-13}$  g de explosivo) permitindo que eles detectem minas com boa confiabilidade. Os problemas relacionados a este método são o custo do treinamento do cachorro, sensibilidade às condições do ambiente, tempo necessário para treinamento e o fato de eles se cansarem rapidamente.

A precisão na localização não é muito boa (muitos metros) dado que o odor do explosivo pode penetrar na terra e na vegetação numa área de 10 metros ou mais. A taxa de vapor da mina também decresce com tempo que foi enterrada sendo necessária que o cão tenha que examinar a área várias vezes. Mas os cães ajudam mesmo é na detecção de áreas que contém minas, onde não é necessário a localização precisa. Neste caso são coletados vapores do ar das regiões e dando para os cães examinarem fora do ambiente. Através desta forma pode-se evitar o risco de vida do cão.

Outros métodos de detecção do traço explosivo também são utilizados e descritos em vários artigos tais como, por exemplo o utilizado na Companhia Bofors da Suécia que lançou um projeto em 1995 que baseava-se na detecção de minas anti pessoais usando sensores de odores baseado em anticorpos. Este sistema basicamente trabalha pela medição da variação da frequência de oscilação de um cristal piezo-elétrico cuja superfície é coberta por anticorpos reagindo com moléculas de TNT.

A DARPA, agência militar de projetos de pesquisas avançadas lançou em 1996 um ambicioso projeto de pesquisa de três anos que visa o desenvolvimento de um “nariz de cachorro” eletrônico que possa ser usado em ambiente real enfatizando tecnologia para se ter baixo peso, baixo consumo e utilização de sistemas de baixo custo.

#### 3.1.5.4) Detecção do volume do explosivo



Esta técnica consiste em identificar o explosivo através do seu volume e tem encontrado aplicações principalmente na área de segurança (bagagem de avião e escaneamento de correspondências).

Entre as várias técnicas que estão em corrente estágio de desenvolvimento pode-se citar os métodos nucleares (ativação de neutrons) e os métodos NMR/NQR (Ressonância Magnética Nuclear e Ressonância Quadripolar Nuclear).

Um outro método utilizado inclusive comercialmente é o da Ativação Térmica de Neutrons (TNA). Este sistema obteve bons resultados para minas anti tanques (AT), enquanto que para minas anti pessoais a detecção já era mais difícil devido ao volume reduzido de explosivo. As desvantagens deste sistema incluem a complexidade do sistema e o limite de profundidade de penetração (10 a 20cm).

#### 3.1.5.5) Detecção de ondas milimétricas passivas

Na faixa das ondas milimétricas, o solo tem alta emissividade e baixa refletividade. Por outro lado, metais tem uma baixa emissividade e alta refletividade. A radiação do solo depende por sua vez da sua temperatura e a reflexão do metal principalmente do nível de radiação da atmosfera. É possível medir este contraste usando um dispositivo medidor de ondas milimétricas. Testes em condições ideais de laboratório tem demonstrado a capacidade de detecção de objetos metálicos enterrados a 3 polegadas de areia trabalhando em 44GHz. Com esta frequência fica evidente a desvantagem de se conseguir grande profundidade de penetração.

Medidores de MMW passiva são dispositivos mais simples que os GPR's. Eles podem ser usados para gerar imagens 2D de objetos colocados na superfície (possivelmente sobre alguma vegetação) ou enterrado de forma escondida (alguns cm), com melhores resultados em solos úmidos e para alvos metálicos.

#### 3.1.5.6) Acústica

A detecção ultrasônica convencional consiste na emissão de uma onda sonora com frequência maior que 20KHz. Esta onda sonora irá refletir nas fronteiras entre os materiais com diferentes propriedades acústicas. No caso de detecção de minas, estes sistemas tem de ter a capacidade de penetração em chãos molhados e duros tais como a argila e desta forma fariam algo complementar ao GPR.

Pesquisas experimentais tem sido conduzidas em laboratório no uso da técnica de eco do impulso ultrasônico para a detecção de uma mina anti-pessoal em uma estrutura de fácil detecção para este tipo de sensor como por exemplo uma plantação de arroz (possui muita água). Alguns métodos de processamento de sinais e métodos de reconhecimento de padrão tem sido implementados para discriminar entre uma mina anti pessoal e outros objetos.

O problema da utilização de frequências ultrasônicas são que elas praticamente não penetram no solo por isso a maioria dos testes feitos na detecção de minas são em ambientes onde existe água.

### **3.1.6) Classificação das tecnologias**

A OTAN publicou em março de 1996 um artigo onde é feito uma classificação das tecnologias potenciais dentre às apresentadas.

Nenhuma das tecnologias apresentadas parece de fato capaz de alcançar em um grande número de situações, detecções boas o suficiente enquanto mantem uma taxa baixa de falsos alarmes[6]. Cada tecnologia tem a sua aplicação bastante específica, determinada pela tecnologia, fatores sociais ou econômicos.

A tabela 1 apresenta os dados de acordo com a avaliação da OTAN.

<b>Tecnologia do sensor</b>	<b>Maturidade</b>	<b>Custo e complexidade</b>
Infra vermelho passivo	próxima	Médio

Infra vermelho ativo	próxima	Médio
Infra vermelho polarizado	próxima	Médio
Eletro óptico passivo	próxima	Médio
Multi-hiperspectral	Distante	Alto
Onda milimétrica passiva	Distante	Alto
Radar de onda milimétrica	próxima	Alto
Radar de penetração Terrestre	próxima	Médio
Radar de grande largura de faixa	Distante	Alto
Acústico ativo	Média	Médio
Sísmico ativo	Média	Médio
Sensor de campo magnético	próxima	Médio
Detecção de metais	Disponível	Baixo
Análise da ativação de neutrons	próxima	Alto
Detecção de partícula carregada	Distante	Alto
Ressonância quadripolar nuclear	Distante	Alto
Sensibilidade química	média	Alto
Sensores biológicos	Distante	Alto
Cachorros	Disponível	Médio
Procura (escavação)	Disponível	Baixo

**Tabela 1 – Comparação das tecnologias de Detecção de Minas Terrestres**

### 3.1.7) Escolha do sensor

Baseado nos dados da tabela 1, chegou-se a conclusão de que o sensor mais adequado para as nossas aplicações no momento era o Detector de metais. O Detector de Metais embora não sendo o sensor mais eficaz na Detecção das Minas apresentou-se favorável pelo seu baixo custo e também fácil implementação como pode-se verificar na seção 3.2.

A implementação do robô com o detector de Metais se mostrou plausível porque embora as minas terrestres atuais tenham pouco conteúdo de metal, existem países que contém áreas minadas desde as décadas de 60 e 70 e que certamente utilizavam encapsulamento ou maior quantidade de metal em sua composição.

## 3.2 – Implementação do Detector de Metais

### 3.2.1 – Projeto do circuito

Através de pesquisas na internet[9], conseguiu-se um circuito simples de um detector de metais que utiliza-se de dois osciladores do tipo Collpits ligados em paralelo. Estes osciladores são ligados em um amplificador de áudio (LM386) com ganho fixo de 20. A saída deste amplificador é ligado em um filtro passa baixas simples RC de 1ª ordem que por sua vez se liga a um alto falante.

Como mencionado, este circuito funciona a partir dos dois osciladores Collpits ligados em paralelo. Um deles contém um circuito RL com frequência variável em torno de 400Khz. O outro possui apenas uma bobina enrolada com características tais que juntamente com sua capacitância intrínseca oscilam em frequência próxima de 400Khz, porém defasada de 180° do sinal anterior. O circuito dos osciladores é ajustado de forma que na junção dos dois osciladores, o mínimo de oscilação esteja presente, ou seja, as oscilações se cancelem ao máximo para que se tenha o menor nível de tensão.

Quando algum metal é aproximado da bobina, existe uma mudança no fluxo magnético no material que faz com que a bobina altere a sua indutância variando com isso a frequência de ressonância do oscilador gerando uma diferença de frequência mínima na junção dos osciladores que é amplificada pelo amplificador. Se a diferença nas frequências for de até 20KHz pode-se

ouvir o som do metal sendo detectado. O filtro passa baixas na saída do amplificador serve para filtrar as frequências maiores do que a faixa audível.

Com este primeiro circuito projetado e entendido, fazia-se necessário a implementação de um circuito que pudesse converter o sinal na faixa audível em níveis de tensão para que fosse possível que a placa de controle de robô interpreta-se a detecção do metal de maneira correta. Optou-se então por um circuito integrado conversor frequência-tensão (LM2907). Este circuito converte a frequência aplicada em sua entrada em níveis de tensão. Através de poucos componentes externos o circuito pode ser acoplado ao outro descrito anteriormente de forma a converter o sinal desejado.

O circuito inteiro projetado pode ser visto na figura 2.

### 3.2.2 – Montagem e Teste do Circuito

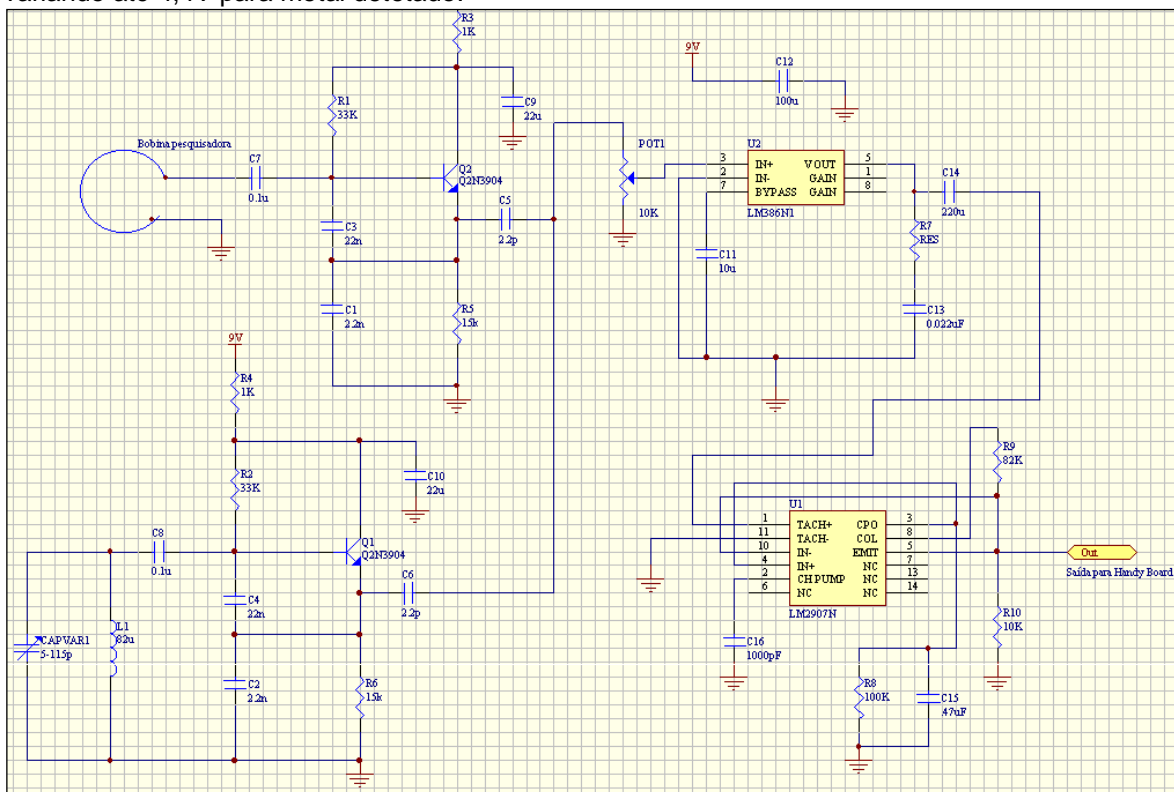
Para uma montagem do circuito protótipo da figura 2 foi necessário a utilização de uma placa universal, ao invés do tradicional Proto-board, devido às frequências dos sinais envolvidos.

Para confecção da bobina foi utilizado o fio AWG 22 enrolado com 4" de diâmetro em 25 espiras. Foi utilizado para o enrolamento, uma forma feita com pregos dispostos em um círculo de 4" de diâmetro. O circuito foi devidamente montado e então procedeu-se com o seu teste.

As frequências foram ajustadas de forma que o mínimo valor de tensão fosse obtido na saída dos osciladores. Feito isso aproximou-se diferentes metais perto da bobina e foi observado com o osciloscópio a mudança na frequência de ressonância do circuito. Na saída do amplificador foi observado uma mudança na frequência.

Antes da montagem do conversor LM2907, colocou-se na saída do amplificador um pequeno alto falante. Aproximando-se o metal, foi possível perceber diferentes frequências sonoras que se alteravam de acordo com o tamanho do metal.

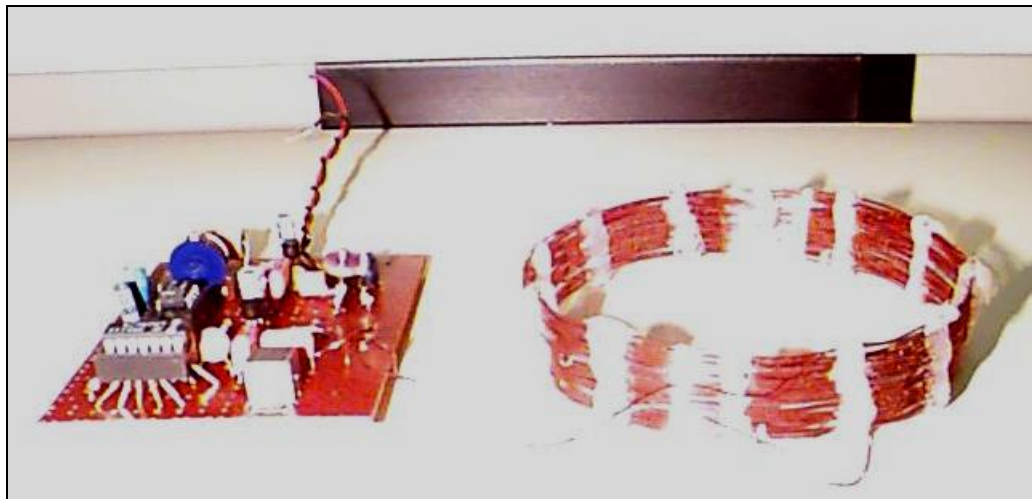
Foi acoplado, o conversor LM2907 e pode-se perceber a variação da tensão quando o metal era colocado próximo da bobina. Os níveis medidos foram de 1V para metal não detetado variando até 4,4V para metal detetado.



**Figura 2 - Circuito do Detector de Metais projetado**

Por causa do curto tempo para implementação do circuito e porque o seu funcionamento estava dentro das expectativas, decidiu-se por deixar o circuito montado na própria placa universal.

O circuito montado antes de ter sido colocado no robô pode ser observado na figura 3



**Figura 3 – Circuito do Detector de Metais implementado**

### **3.2.3 – Análise dos resultados**

Os resultados obtidos com o detector de metal foram muito satisfatórios. Metais com o tamanho de uma moeda foram detectados facilmente mesmo sob proteção de material isolante. O alcance da detecção de um metal foi da ordem de profundidade de 2cm.

Com os níveis de tensões obtidos na saída do conversor frequência-tensão foi possível um fácil acoplamento com o circuito microcontrolado do robô que será descrito na próxima etapa.

## **3.3 – Construção do robô**

### **3.3.1 – Considerações sobre a construção do robô**

Como visto anteriormente, as Minas Terrestres podem estar em diferentes tipos de ambientes que podem variar de um relevo acidentado, areia e até mesmo pântanos. Estas situações variadas de ambientes tem que ser levadas em consideração na construção de um robô detector de Minas Terrestres.

Outro fator a considerar é a capacidade de autonomia de robô, ou seja, quanto tempo o robô consegue permanecer em pleno funcionamento em uma missão de detecção de Minas. Se um robô não tiver autonomia suficientemente grande (mais de 2Hs, por exemplo) a utilização fica ineficiente devido as constantes trocas e recarregamentos de bateria.

Em relação ao aspecto físico do robô, ele deve ser o mais leve possível porque quanto mais leve menor o risco que ele corre de não detonar uma mina acidentalmente. Além disso, o seu motor ou conjunto de engrenagens deve possuir um torque elevado de forma a transpor pequenos obstáculos e também enfrentar subidas mais facilmente. O chassi do robô necessita de um reforço para proteger a placa de controle dos robôs e o detector de Metal de alterações meteorológicas abruptas tais como ventos fortes, chuvas, calor excessivo, etc.

O hardware do robô precisa ser bastante completo e equipado com sensores de forma que o robô possa interagir com o ambiente e tomar decisões a partir destas interações. O robô também necessita de um processamento local para que os dados dos sensores sejam interpretados e o robô possa através disso tomar decisões que permitam a detecção da Mina terrestre.

### **3.3.2 – Implementação da parte física do robô**

A implementação física do robô talvez seja a parte mais difícil, neste caso, para a implantação do projeto. Isto porque o acesso e manipulação de materiais necessários para a construção física do robô são difíceis ainda mais quando se quer a implementação em curto espaço de tempo (2 meses).

Sendo assim, decidiu-se construir um protótipo básico utilizando o Kit de Montagem LEGO DACTA 9609 disponível para os alunos do curso de Ciência da Computação da UFMG. Este Kit é acompanhado de várias peças e é ideal para as nossas aplicações porque possui engrenagens, rodas de borracha e outras importantes peças que permitem a rápida e fácil montagem de um protótipo de robô.

A concepção física do robô se baseou nas considerações descritas no item anterior. O chassi foi reforçado de maneira a aguentar impactos.

Partindo do princípio da utilização de um motor pequeno de alta velocidade foi necessário o uso de um conjunto de engrenagens para reduzir a velocidade e aumentar o torque que como dito anteriormente é bastante desejável nesta aplicação. O eixo de engrenagens construído pode ser observado no desenho da figura 4.



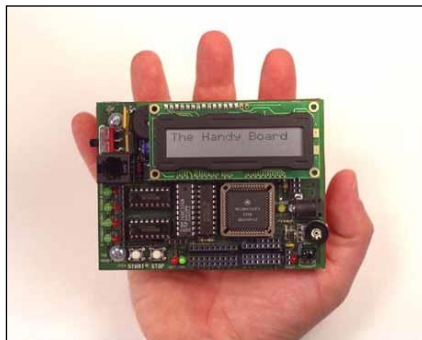
### 3.3.3 – Implementação do hardware do robô

Depois de muita pesquisa para decidir qual o melhor hardware para o robô, decidiu-se usar um projeto pronto que já é bastante popular em aplicações robóticas. Esta decisão se baseou principalmente em função dos resultados que queria-se obter em curto espaço de tempo.

O projeto citado é denominado Handy Board e foi desenvolvido pelo Prof. Fred Martin do Massachusetts Institute of Technology (MIT) dos EUA. Trata-se de um projeto bastante completo e amplamente divulgado na Internet. A placa adquirida foi da empresa Gleason Research que além da placa vem com um kit de 4 motores e alguns sensores de luz, toque, etc.

A Handy Board é uma placa que usa como processador local, o microcontrolador MC68HC11A1 da Motorola que é bastante versátil por possuir diversas características de hardware tais como vários pinos de I/O, comunicação serial, conversores A/D, etc. A placa também possui 32K de memória RAM que mantém seus dados armazenados por estar ligado diretamente à bateria que alimenta a placa.

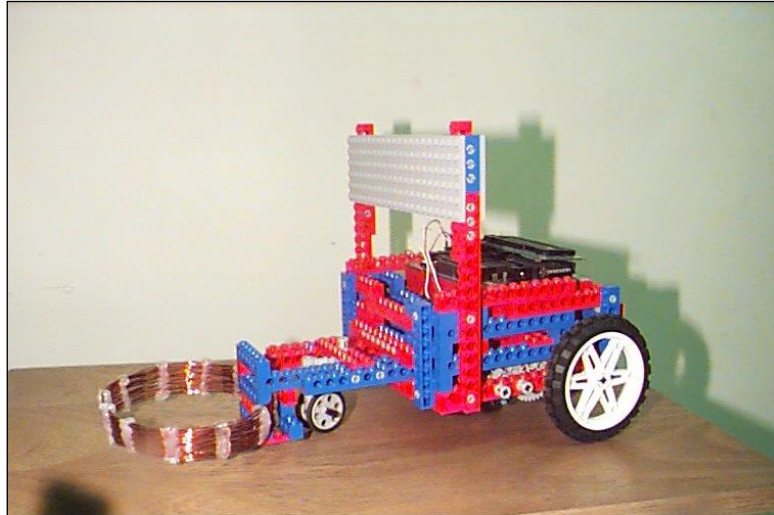
Para acionamento dos motores, a Handy Board possui dois chips SN754410NE que permitem o acionamento de 4 motores. Estes chips são duas pontes H que permitem o controle do motor por Modulação em Largura de Pulso (PWM). A Handy Board pode ser observada pela figura 6.



**Figura 6 - Placa de controle utilizada no robô - Handy-Board**

Além desta características citadas e outras que não foram usadas por enquanto neste projeto a Handy Board possui um compilador C, o Interactive C desenvolvido pelo Dr. Randy Sargent juntamente com o Prof. Fred Martin. Este compilador permite que se desenvolva programas em linguagem C e que podem ser descarregados para a placa facilmente via uma interface serial que acompanha a placa.

Como a Handy Board já estava montada, o circuito do detector de Metais foi ligado a ela e os dois foram colocados no robô. O robô inteiramente montado pode ser visto na figura 7.



**Figura 7 - Robô implementado**

### **3.3.4 – Implementação do software de controle do robô**

Para o robô detector de Minas terrestres mostrado na figura 7 foram implementados 2 rotinas básicas principais. Uma para controle do movimento do robô e a outra para detecção da Mina.

Para controle do movimento do robô preferiu-se fazer um programa de forma a fazer o robô se movimentar em ziguezague. Desta forma ele consegue varrer uma área inteira sem que espaços sejam deixados para trás comprometendo o sucesso da missão. O robô se movimenta de um lado para o outro em varrendo distâncias de aproximadamente 2m de largura. Isto é conseguido incrementando uma variável e verificando o seu valor com o decorrer do tempo. Dependendo do seu valor o programa modifica ou mantém o sentido de giro dos motores.

A rotina para detecção de Minas entra em operação toda vez que um Metal é detectado. Quando isto ocorre o robô emite um sinal luminoso piscante, indica no display quantas minas foram detectadas e o programa altera o movimento do robô para que ele possa desviar da mina detectada.



#### **4.0 – Testes e resultados obtidos**

Com o robô montado e o software implementado foi colocado o robô em ação num ambiente simulando um campo minado. Para isto o robô foi colocado em uma plataforma fechada e moedas foram colocadas simulando as Minas. A rotina de controle do movimento do robô funcionou perfeitamente. O robô se movimentou em zigue-zague quando a mina não era detectada.

A rotina de detecção da mina funcionou dentro do previsto mas devido as limitações de não se utilizar no robô nenhum outro sensor de auxílio à navegação, as vezes o robô não foi capaz de desviar corretamente das Minas o que neste caso é fatal porque embora o robô seja pequeno, o seu peso é capaz de detonar uma mina.

#### **5.0 – Conclusões Gerais**

Devido ao curto espaço de tempo conforme citado anteriormente não foi possível a implementação de muitos aspectos desejáveis em um robô detector de Minas. A não incorporação de sensores no robô dificultou a navegação e também não permitiu que outras facilidades fossem incorporadas.

O robô não atingiu totalmente o objetivo proposto porque não incluiu nenhum tipo de mecanismo de desarmamento das minas o que pretende ser feito com a continuidade da pesquisa.

O robô até o presente apresentado tem uso bastante limitado pois não possui um algoritmo de reconhecimento de Minas padrão o que quer dizer que qualquer metal encontrado será contabilizado como uma Mina terrestre. Com isso tem-se uma alta taxa de alarmes falsos tornando o sistema pouco confiável.

Apesar de todas as desvantagens citadas, o robô permite que tudo isso seja feito de maneira bem simples pois o hardware da Handy Board permite facilmente a incorporações de sensores tais como de toque, infravermelho, etc.

#### **6.0 – Planos futuros**

Pretende-se dar continuidade ao projeto de pesquisa através dos seguintes planos futuros:

- Melhoria no software de controle do robô e detecção de Minas Terrestres;
- Implementação de um padrão de reconhecimento de Minas terrestres;
- Implementação de sensores para melhorar a interação do robô com o ambiente;
- Implementação de um sistema de comunicação do robô com um outro robô ou computador para que ele possa ser controlado também de maneira remota.

## 7.0 – Referências

- [1] JONES, Joseph L. , FLYNN, Anita M.- Mobile Robots - Inspiration to Implementation. A K Peters Wellesley, Massachussets - 1993
- [2] MCLURKIN, James - Using Cooperative Robots for Explosive Ordnance Disposal  
Massachussets Institute of Technology - 1995
- [3] BROOKS, Rodney A. – A Robust Layered Control System For a Mobile Robot  
A.I. Memo 864 - Massachussets Institute of Technology – 1985
- [4] MARTIN, Fred - The 6.270 Robot Builder's Guide  
Massachussets Institute of Technology - 1992
- [5] MARTIN, Fred - The Handy Board Technical Reference  
Massachussets Institute of Technology - 12/06/1998
- [6] BRUSCHINI, Claudio , GROS, Bertrand - A Survey of Current Sensor Tecnology Research  
for the Detection of Landmines  
LAMI- DeTec - EPFL - 1997
- [7] ROUHI, A. Maureen - Land Mines: Horrors Begging for solutions  
Chemical & Engineering News - The American Chemical Society - 10/03/1997
- [8] MÄCHLER, Ph - Detection Technologies for Anti-Personnel Mines  
LAMI- DeTec - EPFL - 1995
- [9] HAGEMAN, Steve - Simple Metal Detector  
<http://www.sonic.net/~shageman> - 14/09/97
- [10] NATIONAL Semiconductors - LM2907/LM2917 Frequency to Voltage Converter - 02/1995