

Universidade do Algarve

Faculdade de Ciências e Tecnologia

**Alternativas de controlo de veículos por rádio frequência:
Uma abordagem utilizando a telerobótica via Internet através da rede
de telefonia celular.**

Aldric Trindade Négrier

Mestrado em Engenharia Electrónica e Telecomunicações

2010

Universidade do Algarve

Faculdade de Ciências e Tecnologia

**Alternativas de controlo de veículos por rádio frequência:
Uma abordagem utilizando a telerobótica via Internet através da rede
de telefonia celular.**

Aldric Trindade Négrier

Mestrado em Engenharia Electrónica e Telecomunicações

Dissertação orientada por:

Professor Dr. Helder Aniceto Amadeu de Sousa Daniel

Professor Dr. Luís Miguel S. C. Moura

2010

Agradecimentos

A realização deste Projecto no meu Mestrado em Engenharia Electrónica e Telecomunicações corresponde a um grande passo na minha actividade científica. Este projecto teve como motivação a tentativa de incorporar todos os conteúdos aprendidos durante o Mestrado. Mesmo assentando num trabalho individual, necessitou do envolvimento de várias pessoas que me auxiliaram com apoio material e com o seu conhecimento científico e sem os quais este trabalho não seria simples de elaborar. Desta forma agradeço às pessoas mencionadas em seguida e a muitas outras que contribuíram de alguma forma.

Começo por agradecer ao meu orientador Professor Dr. Hélder Daniel, pela sua orientação ao longo deste percurso, pela sua disponibilidade, correcções e todo o apoio no que diz respeito aos sistemas de tempo real.

Ao Professor Dr. Luís Moura por ter aceite o convite para co-orientador, pelo seu apoio, rigor e profissionalismo.

Ao Professor Dr. Henrique Leonel Gomes, Director do Departamento de Engenharia Electrónica e Informática, pelo seu apoio e cooperação no que diz respeito ao material electrónico e promoção e incentivo dos projectos dos alunos que fazem parte do DEEI.

À Universidade do Algarve (UALG) agradeço por todo o apoio material, mais precisamente: Ao Professor Dr. Ilídio Mestre, Director do Departamento de Engenharia Mecânica da UALG, pela cedência de utilização da Oficina de mecânica onde passei bons momentos na remodelação do EMAXX; Aos Técnicos Superiores Carlos Miguel dos Santos e Henrique Catarino da Oficina de Mecânica da Escola Superior de Tecnologia da UALG pelo seu apoio com o manuseamento das máquinas e ferramentas da oficina; Ao Técnico Mário Freitas da Oficina do Departamento de Física da UALG pelo seu apoio com o material, ferramentas e também o manejo das máquinas da oficina.

Ao Professor Dr. Rui Cabral e Silva, Director da FCT, pelo seu apoio ao longo deste projecto.

Ao Técnico Artur Neves pela amizade, apoio logístico e discussões.

À Ana Moreira pela sua paciência e ajuda nas revisões da escrita da dissertação e também pelas suas ideias sempre construtivas.

Ao amigo Dr. Paulo Condado pelas tardes de discussão de questões pertinentes e introdução ao maravilhoso mundo dos Smartphones.

Ao Fred Zabel pela ajuda na configuração do *OpenVpn* e introdução ao *Motion* em Linux.

E por último, dedico a minha maior consideração e gratidão à Sónia Lourenço, responsável pelas lojas algarvias TMN, e ao Mário Sousa, Director dos Produtos TMN, pela cedência gratuita de três placas de Banda Larga Móvel ao longo de três meses para os ensaios do veículo no terreno.

Resumo

Esta dissertação tem como principal objectivo a investigação de alternativas para o controlo de veículos telecomandados por rádio frequência, nomeadamente, a Telerobótica via Internet utilizando a Rede de Telefonia Celular (WWAN - Wireless Wide Area Network) ou a WLAN (Wireless Local Area Network).

A motivação para esta dissertação é inspirada nas limitações do mecanismo de controlo dos veículos telecomandados. O trabalho desenvolvido possibilita que os veículos telecomandados funcionem em três modos distintos: o clássico, o remoto numa WLAN e o remoto numa Rede de Telefonia Celular. No modo clássico, o utilizador controla o veículo através do telecomando. Já no modo remoto WLAN, o utilizador controla o veículo através de um computador remoto ou um *smartphone* ligado a uma WLAN à qual o veículo também se encontra ligado. Em relação ao modo Remoto numa Rede de Telefonia Celular, o utilizador controla o veículo através de um computador ou *smartphone* ligado à Internet e o carro encontra-se inserido numa Rede de Telefonia Celular também ligado a Internet.

O utilizador poderá assim escolher o Modo em que pretende fazer o controlo, bastando para isso apenas carregar na respectiva opção no telecomando, accionando assim o Modo escolhido.

Para este desafio foi necessário alterar um carro telecomandado, adaptando-o e equipando-o com o *software* e *hardware* necessários de modo a alcançar o objectivo indicado anteriormente. Os resultados experimentais foram obtidos tanto em laboratório como em ambientes exteriores, utilizando para isto a rede de telefonia celular e várias WLANs.

A principal contribuição desta dissertação é demonstrar que a experiência da condução de veículos telecomandados é melhor quando o utilizador tem a possibilidade de escolher o mecanismo de controlo de um dos três modos de funcionamento acima mencionados ao invés de um só.

Palavras-chave

Veículos Telecomandados por Rádio, Telerobótica, Controlo Via Internet, Controlo Remoto, Rede de Telefonia Móvel, Rede local sem fios (*Wireless Local Area Network*).

Abstract

The main objective of this work is the investigation of alternatives for the control of radio remote controlled vehicles, namely, Internet telerobotics using the Cellular Telephone Network (WWAN - Wireless Wide Area Network) or WLAN (Wireless Local Area Network).

The motivation for this work is inspired by the limitations of the mechanism of control of remote controlled vehicles. This work enables remote controlled vehicles operating in three distinct ways: the classic, the remote in a WLAN and the remote in a Cellular Telephone Network. In classic mode, the user controls the vehicle by using the remote controller. In the remote mode WLAN, the user controls the vehicle using a remote computer or a smart phone, connected to a WLAN to which the vehicle is also connected. Regarding the Remote mode in the Cellular Telephone Network, the user controls the vehicle through a computer or smart phone connected to the Internet and the car is within a Cellular Telephone Network also connected to the Internet.

The user can then choose the mode in which he wants to control, simply by pressing the corresponding option on the remote control, thereby triggering the mode chosen.

For this challenge it was necessary to modify a remote-control car, adapting and equipping it with the necessary software and hardware in order to achieve the objectives stated above. The experimental results were obtained both in laboratory and in outdoor environments, using the mobile telephone network and various WLANs.

The main contribution of this dissertation is to demonstrate that the experience of driving remote controlled vehicles is enhanced when the user has the possibility of choosing the control mechanism from one of the three modes of operation mentioned above, instead of being limited just to one of them.

Keywords

Radio Remote Controlled Cars, Telerobotics, Control Via Internet, Cellular Telephone Network, Wireless Local Area Network.

Conteúdo

Agradecimentos

Resumo

Abstract

Índice

1. Introdução	17
1.1 Estado de arte	17
1.1.1 Veículos telecomandados por rádio frequência.....	18
1.1.2 Telerobótica via Internet.....	19
1.1.3 Telefonia celular.....	20
1.2 Motivação.....	23
1.3 Objectivos.....	23
1.4 Contribuição principal.....	24
2. Modelos Conceituais.....	25
2.1 Modelo clássico de controlo de veículos telecomandados	25
2.2 Modelo telerobótico via Internet utilizando a rede de telefonia celular.....	26
2.3 Modelo Telerobótico utilizando uma rede ad-hoc WiFi.....	26
2.4 Dos modelos à realidade.....	27
2.4.1 Veículo Telecomandado.....	27
2.4.2 Computador de bordo	27
2.4.3 Adaptação do computador de bordo ao veículo.....	28
2.4.4 Meio de acesso à rede de telefonia celular	29
2.4.5 Telepresença e visão remota.....	29
2.4.6 Servomotores	30

2.4.7	Micro Controladores.....	32
2.5	Componentes necessários para a implementação do projecto	33
2.6	Tecnologias de software	33
2.6.1	Modelo Cliente Servidor.....	34
2.6.2	Live Video and Audio Streaming	34
2.6.3	Dynamic Domain Name Server	35
3.	Diferentes abordagens para a aquisição e envio de sinais.....	36
3.1	Implementação A: ligação sem fios.....	36
3.1.1	Análise do sinal de rádio frequência	37
3.1.2	Simulação em SPICE do modelo de comunicação	39
3.1.3	Bancada de electrónica para desenvolvimento dos protótipos dos circuitos.....	50
3.2	Implementação B: ligação com fios.	59
3.2.1	Ligação entre o telecomando e o micro controlador.....	60
3.2.2	Ligação entre os motores do veículo e o micro controlador.....	62
3.3	Ligação entre componentes no veículo	64
4.	Remodelação da estrutura do E-Maxx	65
4.1	Modelo adoptado	65
4.2	Modelo em 3D	65
4.3	Modelos em cartão.....	66
4.4	Protótipo em alumínio.....	67
5.	Telerobótica via Internet.....	72
5.1	O modelo cliente servidor.	72
5.2	O cliente e o <i>Graphical User Interface</i>	72
5.3	Fluxo de dados entre cliente e servidor	75
5.4	Processos que se executam no cliente.....	78
5.5	Processos executados no servidor	82
5.6	Ligação entre cliente e servidor	85
5.7	Sistema Operativo de tempo real do cliente e do servidor	85

5.8	“Live Streaming” Multimédia	86
5.8.1	Implementação A: FFserver / FFmpeg.....	86
5.8.2	Implementação B: Motion.....	87
5.9	Murmur e Mumble “Live Streaming” áudio	88
6.	Ensaio do veículo	89
6.1	Condução remota do veículo	89
6.2	Condução remota utilizando a WLAN.....	89
6.3	Condução remota utilizando a rede de telefonia celular	90
6.4	A latência no controlo	91
6.5	Comparação entre os três modos	91
7.	Conclusões e trabalho futuro	93
	Bibliografia	111

Índice de Figuras

Figura 1. Modelo clássico de componentes de veículos telecomandados.	17
Figura 2. Exemplos de tele-robôs: o <i>SpyKee</i> (Meccano).	20
Figura 3. Arquitectura simplificada de uma rede de telefonia celular.	21
Figura 4. Modelo Clássico de comunicação para veículos telecomandados.	25
A comunicação no modelo de telerobótica via Internet utilizando a rede de telefonia celular consiste na correspondência entre cliente e servidor. Neste modelo o servidor (computador de bordo do veiculo) disponibiliza um ou vários serviços aos quais o cliente pode aceder, desempenhando este último a tarefa de controlador do veículo. O indispensável na comunicação entre cliente e servidor neste modelo é que tenham ambos acesso à Internet para poderem comunicar. É também indispensável que o servidor tenha uma interface de rede de acesso ao meio da rede de telefonia celular, por exemplo, um modem 3G, para se conectar à Internet. O utilizador poderá efectuar o controlo do veículo utilizando para isso um computador ou um <i>smartphone</i> também ligados a internet, como ilustrado na Figura 5.	26
Figura 6. Modelo telerobótico, utilizando a rede de telefonia celular.	26
Figura 7. Modelo telerobótico numa rede ad-hoc WiFi.	27
Figura 8. Múltiplas perspectivas do Traxxas E-Maxx.	27
Figura 9. O Computador de bordo (Asus EeePc 901).	28
Figura 10. Desenho à escala real do computador de bordo alojado no carro.	28
Figura 11. ZTE MF636 HSPA 3.5G USB MODEM.	29
Figura 12: Uma webcam da Logitech para notebooks, à direita, e o esquema com a câmara alojada no veículo, à esquerda.	29
Figura 13. Perspectiva na primeira pessoa e perspectiva na terceira pessoa.	30
Figura 14. Múltiplas perspectivas instaladas no veículo.	30
Figura 15. Esquema de funcionamento de um Servo Motor.	31
Figura 16. Modulação por largura de pulsos.	31
Figura 17. Dois servo motores implementando o sistema Pan/Tilt.	31
Figura 18. Arduino diecimilia.	32
Figura 19. Pololu micro servo controller.	33
Figura 20. Arquitectura do modelo cliente servidor para o projecto.	34
Figura 21. Live vídeo and audio streaming.	35
Figura 22. Tipos de ligação entre componentes.	36
Figura 23. Ligação sem fios entre o micro controlador e os dispositivos eléctricos.	36

Figura 24. Modelo parcial sem fios do veículo telecomandado.	37
Figura 25. Telecomando e Sinal emitido pela antena (Escala: X- 5 ms, Y- 1 Volt).....	37
Figura 26. Sinal emitido pelo telecomando. Da esquerda para a direita, 1º pulso (CH0), o 2º pulso (CH1), o 3º pulso (CH2) e o 4º pulso (CH3) (Escala: X- 1 ms, Y- 1 Volt).....	38
Figura 27. Intervalo de tempo entre dois pulsos (Escala: X- 250 us, Y- 1 Volt).....	38
Figura 28. Simulação em PSPICE do circuito receptor.	39
Figura 29. Resultados da simulação em PSPICE do circuito receptor.	40
Figura 30. Cristal de quartzo.....	41
Figura 31. Circuito equivalente de um cristal de quartzo para simulação no PSPICE.	41
Figura 32. <i>Kick Start</i> do cristal para o início da oscilação.....	42
Figura 33. Exemplo de uma Netlist para PSPICE de um cristal de quartzo.	42
Figura 34. Tabela de valores de C0, C1, Q e R para diferentes tipos de cristais de quartzo.	42
Figura 35. Frequência de oscilação em serie e paralelo de um cristal.	43
Figura 36. Configuração de <i>Colpitts</i> com <i>Darlington stage</i> para extrair a frequência fundamental de um cristal.....	43
Figura 37. Simulação da configuração de <i>Colpitts</i> com <i>Darlington Stage</i>	44
Figura 38. Oscilação estável da frequência fundamental de um Cristal (<i>Colpitts</i> com <i>Darlington Stage</i>)	44
Figura 39. Período de oscilação à frequência fundamental de um cristal (<i>Colpitts</i> com <i>Darlington Stage</i>).	45
Figura 40. Configuração para o <i>3rd overtone</i> para oscilação em serie de um cristal.	45
Figura 41. Circuito para forçar o cristal a oscilar no <i>3rd overtone</i>	46
Figura 42. Oscilação no <i>3rd overtone</i> de um cristal.	47
Figura 43. Período de oscilação no <i>3rd overtone</i> de um cristal de quartzo.	47
Figura 44. Multiplicador/modelador activo implementado com um BJT.....	48
Figura 45. Resultado da multiplicação da modeladora e da portadora.	49
Figura 46. Circuito do <i>3rd overtone</i> junto ao circuito modelador para gerar um sinal AM.	49
Figura 47. Resultado da multiplicação da modeladora e da portadora (<i>3rd overtone</i>).	50
Figura 48. Bancada de electrónica para desenvolvimento de protótipos dos circuitos receptor e emissor.	50
Figura 49. Material de protecção respiratória e visual.....	51
Figura 50. Protótipo do circuito receptor.	52
Figura 51. Leitura do osciloscópio (protótipo do circuito receptor) (Escala X- 5 ms, Y- 500 mV)..	52
Figura 52. Ampliação da imagem do osciloscópio (protótipo do circuito receptor) (Escala X- 1ms, Y- 1 Volt).....	53

Figura 53. Protótipo do circuito para testar a frequência fundamental do cristal de quartzo	54
Figura 54. Imagem do osciloscópio (protótipo do circuito para testar a frequência fundamental do cristal).....	54
Figura 55. Protótipo do circuito para testar a frequência da portadora.....	55
Figura 56. Imagem do osciloscópio (protótipo do circuito para testar do <i>3rd overtone</i> do cristal)...	56
Figura 57. Protótipo do circuito emissor.....	57
Figura 58. Protótipo do circuito emissor em funcionamento.....	57
Figura 59. Imagem do osciloscópio dos protótipos do circuito emissor e receptor.....	58
Figura 60. Modelo parcial de comunicação do veículo telecomandado.	58
Figura 61. Ligação sem fios entre o comando e o micro controlador.....	59
Figura 62. Ligação com fios entre dispositivos.	60
Figura 63. Ligação entre o comando e o micro controlador	60
Figura 64. Ligação entre os potenciômetros do comando e o micro controlador.....	61
Figura 65. Aquisição do sinal dos potenciômetros no telecomando.....	61
Figura 66. Adição de novos potenciômetros no telecomando.	61
Figura 67. Plataforma em alumínio para alojar o micro controlador e o telecomando.....	62
Figura 68. Telecomando remodelado e alterado.....	62
Figura 69. Ligação entre os motores do veículo e o micro controlador.....	62
Figura 70. Ligação entre o micro controlador e o controlador de servos e os respectivos motores ..	63
Figura 71. Transistor switched Leds	64
Figura 72. Ligação entre componentes no veículo.	64
Figura 73. Desenho por Rykunov, à esquerda, e o protótipo da Mazda Nagara Concept, à direita. .	65
Figura 74. Primeiro desenho do protótipo.	65
Figura 75. Perspectiva na primeira pessoa e perspectiva na terceira pessoa.	65
Figura 76. GUI da Plataforma de desenvolvimento do GTK Radiant	66
Figura 77. Modelo a tridimensional do E-Maxx correndo no Quake 3 Arena.	66
Figura 78: Primeiro protótipo do veículo em cartão e arame.	67
Figura 79: Segundo protótipo do veículo em cartão à escala real.	67
Figura 80. Protótipo desenhado no Corel Draw e o resultado final após o processamento da chapa pela máquina CNC.....	67
Figura 81. Peças em alumínio resultantes do corte e sua legenda.	68
Figura 82. Detalhes sobre a estrutura da chapa de alumínio.....	68
Figura 83. Peças em alumínio para o suporte de diversos componentes e suas características.....	68
Figura 84. Colocação da chapa em cima do E-Maxx.	69
Figura 85. Montagem de suportes para o micro controlador e computador de bordo.....	69

Figura 86. Montagem de suportes para a Banda Larga móvel.....	69
Figura 87. Vigas de protecção, vista da parte superior e da parte inferior.....	69
Figura 88. Parafuso com suporte para eixo movel cilindico de 8mm.....	70
Figura 89. Prolongamento apoiado do eixo do motor.....	70
Figura 90. Suportes de motores e a respectiva câmara.	70
Figura 91. LEDs e os respectivos suportes	71
Figuras 92. Modelo do carro acabado com as luzes acesas.	71
Figura 93. Efeito das luzes do carro num ambiente escuro.	71
Figura 94. O modelo cliente servidor.	72
Figura 95. Janelas do Graphical User Interface do cliente.	73
Figura 96. Janela de <i>stream</i> de <i>live video</i>	73
Figura 97. Janela que apresenta estatísticas da ligação de rede.	74
Figura 98. Painel inferior do GUI.	75
Figura 99. O fluxo de dados entre o cliente e o servidor	75
Figura 100. Os dados no comando.....	76
Figura 101. Os dados no PC cliente.....	77
Figura 102. Os dados no servidor.	77
Figura 103. Os dados no micro controlador do carro.	78
Figura 104. Controlo por parte do cliente.	78
Figura 105. O Fluxograma do micro controlador do cliente.....	79
Figura 106. Inicialização de processos executados no cliente.	80
Figura 107. Tarefas em tempo real executadas no cliente.	80
Figura 108. Tarefa periódica em tempo real responsável pela actualização dos dados do GUI.....	81
Figura 109. O Fluxograma do Servidor	82
Figura 110. Tarefa periódica em tempo real responsável por estabelecer novas ligações de controlo	83
Figura 111. Tarefa periódica em tempo real responsável pela leitura dos dados do cliente e escrita para o Arduino.	83
Figura 112. Tarefa periódica em tempo real responsável pela monitorização dos dados de controlo	84
Figura 113. O fluxograma do micro controlador no servidor.....	84
Figura 114. Serviço de <i>live video Streaming</i>	86
Figura 115. Serviço de <i>live video Streaming</i>	87
Figura 116. Imagem das diferentes perspectivas do veículo: na 1ª pessoa, à esquerda, e na 3ª pessoa, à direita.....	89
Figura 117. Percurso dos ensaios do veículo no Campus de Gambelas e da Penha da Universidade do Algarve.....	90

Figura 118. Esquema do modelo de controlo de veículos telecomandados com a inclusão de um computador de bordo num veículo..... 93

Figura 119. Computador de bordo de veículos telecomandados e descrição dos seus componentes.95

Figura 120. Componentes de um carro telecomandado sem e com o computador de bordo, respectivamente: 1- Pneu, 2- Chassis, 3- Baterias, 4- *Eletronic Switch Controller* (ESC), 5- Receptor EMF, 6- Motor DC, 7- Servo Motor, 8- Computador de bordo e 9- Câmara.**Error! Bookmark not def**

1.Introdução

Esta dissertação aborda a problemática do controlo de veículos telecomandados por rádio frequência. A designação de veículo aqui refere-se a todos os tipos de recriações em escala reduzida de modelos remotamente controlados. Estes podem ser descritos como qualquer dispositivo móvel controlado por um meio que não limita o seu movimento e com uma origem externa ao dispositivo.

Nos modelos tradicionais de veículos electrónicos controlados remotamente a comunicação dos comandos é efectuada através de três componentes básicos (Figura 1): o transmissor, localizado no telecomando, o receptor, localizado no veículo, e o canal de comunicação. O primeiro é necessário para que os comandos de um utilizador sejam enviados para o veículo. O segundo, é usado para receber e processar os sinais de rádio, que transportam os comandos, enviados pelo transmissor, previamente ao processamento e aplicação dos comandos aos servos. E, por último, os canais servem de condutores dos sinais de rádio entre o transmissor e o receptor.

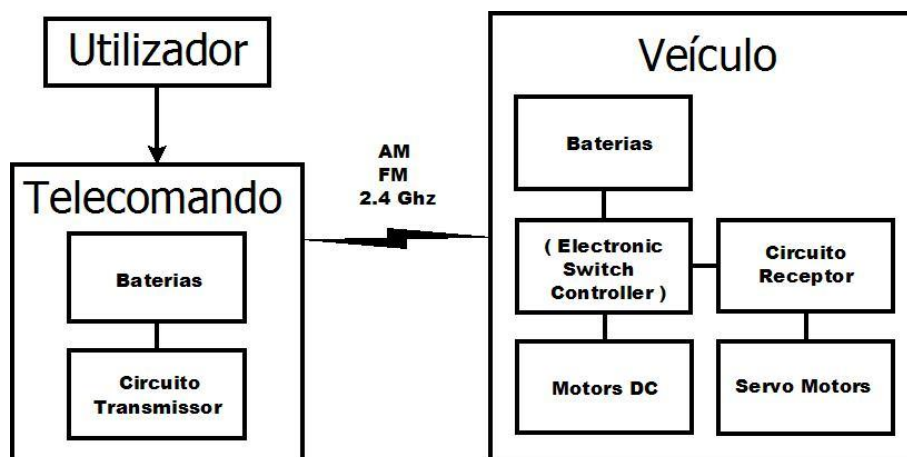


Figura 1. Modelo clássico de componentes de veículos telecomandados.

No modelo de controlo remoto clássico apenas o utilizador com o telecomando pode efectuar o controlo do veículo e este tem de estar em linha de vista com o veículo de modo a tomar decisões relativas ao controlo.

O foco de atenção deste projecto são alternativas de controlo de veículos telecomandados por rádio frequência recorrendo a tecnologias recentes como a Telerobótica via Internet utilizando as redes WWAN e WLAN, que removem a limitação do utilizador ter de estar em linha de vista com o veículo.

1.1 Estado de arte

1.1.1 Veículos telecomandados por rádio frequência

Os carros encontram-se entre os modelos controlados por rádio mais frequentes, mas estes abrangem comboios, aviões, barcos, tanques, helicópteros entre outros. O primeiro dispositivo controlado por rádio surgiu em 1892, quando o cientista Nikola Tesla criou um barco controlado remotamente (1). Posteriormente, os modelos controlados por rádio foram desenvolvidos para propósitos militares, mais precisamente, durante a 2ª Guerra Mundial.

O aparecimento de carros controlados remotamente, ainda bastante primitivos deu-se mais tarde em 1940, há cerca de 70 anos atrás. Apesar da rapidez que alcançavam, até 113km/h, a tecnologia que possuíam era limitada de modo que só era possível controlar carros presos por um fio em pistas circulares, movidos a nitro metano. O controlo remoto com precisão foi atingido apenas no final de 1960 com o desenvolvimento de unidades de controlo por rádio que tornou a direcção assistida por servomotor, acelerador e travagem possíveis. Em 1960, a empresa italiana El-Gi (Elettronica Giocattoli) iniciou a comercialização de vários carros dirigidos por rádio com o primeiro modelo *Ferrari 250LM*, à escala de 1:12 (2).

Na década de 1970, a empresa Mardave produziu o primeiro *kit* de carros movidos a nitrogénio ou a gás feito na Europa (3). Quatro anos mais tarde emergiam os primeiros carros eléctricos e, em 1976, a empresa japonesa Tamiya lançou diversos carros eléctricos de estrada (*on-road*) firmes (4), simples de reparar e com melhoramentos como motores mais potentes e pneus texturizados. Três anos depois, a mesma empresa lançou carros *off-road* com sistemas de suspensão real que permitiam a condução em praticamente qualquer espaço. Estes últimos desenvolvimentos permitiram o início do *hooby* do carro telecomandado como é conhecido hoje em dia.

Em 1980, a empresa britânica Schumacher Racing revelou a tecnologia do diferencial de bola que substituiu o eixo padrão sólido, o que facultou que os carros fossem aperfeiçoados para distintas condições de terreno. Seis anos mais tarde, a Schumacher Racing lançou o veículo Competition All Terrain (CAT) e ganhou o campeonato do mundo *off-road* em 5 dos 10 anos seguintes, levando a uma grande popularidade dos carros de quatro rodas *off-road* por todo o mundo (5).

Durante a década de 1990 mais dispositivos, incluindo equipamentos miniaturizados tornaram-se alcançáveis e os carros mais rápidos. Por volta do século 21, o controlo por rádio tornou-se popular ao ponto de superar outros brinquedos, e os motores para corridas melhoraram drasticamente, particularmente para carros eléctricos e nitro metano.

Actualmente, a competição entre empresas centrais no mercado como a Associated Electrics, Team Losi, Traxxas e Kyosho conduzem a um acelerado desenvolvimento de modelos de alta qualidade.

1.1.2 Telerobótica via Internet

A telerobótica é compreendida como a ponte entre o controle humano e as máquinas autónomas (6). O campo da telerobótica surgiu da necessidade de desenvolver sistemas capazes de realizar operações não adequadas para o ser humano. Impostas limitações na autonomia de robôs, estas conseguem ser superadas através do controlo remoto por operadores humanos. Este tipo de sistema é designado telerobô.

O interesse por esta tecnologia da telerobótica tem aumentado nestes últimos anos devido à multiplicidade de processos que podem ser automatizados e otimizados por robôs: além das tradicionais aplicações no espaço, submarinos, e manuseamento de matérias perigosas, novos campos de aplicação foram recentemente sugeridos ou estudados, tais como nas áreas de segurança ou microcirurgia (6) que se revelam dispendiosas e que levam mais tempo quando executadas por humanos. Para além destas, é também nos ramos da educação (7) e entretenimento (8) que se adivinha a sua crescente utilidade.

A telerobótica via Internet refere-se a um sistema robótico controlado remotamente e monitorizado através da Internet. A Internet permite um raio de acção de longo alcance, que se encontra em expansão e que oferece a plataforma para a proliferação de aplicações telerobóticas (9).

Em 1990, foram realizados os primeiros experimentos na área da telerobótica (como em (10)) porém, foi através da internet, em 1994 que a telerobótica teve o seu nascimento com o projecto *Goldberg's Mercury* (11), um robô com um controlo de 3 graus de liberdade, e mais tarde com o projecto *Taylor's Australia's Telerobot* (12), um robô industrial com 6 graus de liberdade. Desde então, os progressos nesta área têm sido brilhantes. Esta crescente incitação à telerobótica provém do desenvolvimento da Internet e de outras tecnologias avançadas, as quais possibilitam a interacção por parte de pessoas, em várias aplicações, através do acesso virtual a recursos de computação em qualquer local no mundo, não sendo necessário adoptar um sistema de comunicação dispendioso.

A área da telerobótica apresenta uma evolução contínua no desenvolvimento de novas estratégias de controlo, *interfaces* e aplicações avançadas que baseiam-se em muitas tecnologias desenvolvidas em outras áreas técnicas, como a sintetização de voz e reconhecimento de gestos (Inteligência Artificial) e “*interfaces* pessoa-máquina”

O Spykee, ilustrado na Figura 2, é um brinquedo robótico comercializado pela empresa Erector/Meccano. Trata-se de um robô que se movimenta, ouve, fala e monitoriza o que o utilizador

desejar pois pode ser controlado localmente ou em modo remoto ligando-o a uma rede local sem fios (WLAN) através de um computador (13).



Figura 2. Exemplos de tele-robôs: o *SpyKee* (Meccano).

1.1.3 Telefonia celular

As comunicações pessoais móveis têm vindo a revolucionar os serviços de telecomunicação e a forma como as pessoas os utilizam.

Previamente ao conceito de telefonia celular, introduzido em 1971 por Martin Cooper (14), os sistemas móveis necessitavam utilizar um único transmissor de alta potência de forma a alcançar uma grande área de cobertura, porém, impunha que o número de utilizadores fosse limitado visto que cada frequência teria de ser alocada a apenas um utilizador na mesma área de cobertura para evitar interferência.

Actualmente, é empregado o conceito celular. Neste sistema, existem vários transmissores de baixa potência, ao invés de um, e a cada um é designada a cobertura de uma determinada zona geográfica, designada por célula. Assim, as células permitem comunicação com vários utilizadores, através de um número limitado de canais, numa dada gama de frequências disponíveis e estão associadas a rádios transmissores e receptores de pouca potência, cuja cobertura depende de parâmetros como a sua localização, presença de obstáculos, entre outros.

O crescimento de utilizadores pode ser colmatado através da reutilização dos mesmos canais (frequências) de uma dada área. Isto é, aumentando as estações de base na mesma área de cobertura, substituindo um único transmissor de alta potência por vários de baixa potência, ficam disponíveis mais canais, permitindo que mais utilizadores se liguem à mesma célula.

Uma rede de telefonia celular ou móvel é constituída por três elementos base: a Estação transceptora base (BTS, *base transceptor station*), a Estação móvel (MS, *mobile station*) e a Central de comutação móvel (MSC, *Mobile-services switching center*) (15). As Estações transceptoras base conectam-se à rede através da Central de comutação móvel e estão encarregadas da alocação de canais e da execução de chamadas entre os aparelhos móveis.

As Estações móveis são os próprios aparelhos de telefonia celular. Estes possuem um transceptor portátil, que suporta voz e dados, e que comunica com a Estação transceptora base mais próxima em qualquer um dos canais alocados.

A Central de comutação móvel é a responsável pelas ligações com a Rede de Telefonia Publica (PSTN, *Public Switched Telephone Network*) e pela interligação entre um conjunto de células. Ainda, fornece apoio às tecnologias de acesso, às funções de processamento de chamadas e tarifação e administra os equipamentos das Estações transceptoras base.

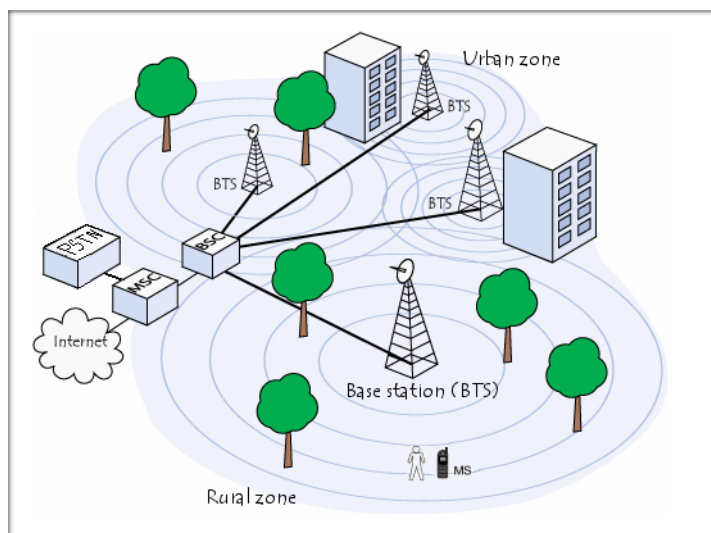


Figura 3. Arquitectura simplificada de uma rede de telefonia celular.

As tecnologias utilizadas têm vindo a evoluir e podem ser descritas, para fins de estudo, em termos de gerações de sistemas celulares: a primeira (1G), a segunda (2G) e a terceira (3G).

Geração	Época	Tipo de sinal	Débito de downlink	Frequência do sinal
1 G	1970 – 1990	Analógico	-	800 MHz
2 G	1990 – 2000	Digital	6.5 e 13 kbit/s	400, 450, 850, 900, 1800 e 1900 MHz
2.5 G	2000 – 2002	Digital	115 kbp/s	2100 MHz
3 G	Desde 2002	Digital	384 kbp/s	850, 1700, 1900, 2100, MHz
3.5 G	Desde 2004	Digital	3.6, 7.2 e 14 Mbit/s	2100 MHz

Tabela 1. Características de Gerações de telefonia celular.

A Primeira geração, ou 1G, utilizava a modulação analógica de sinais e operava sobre redes com tecnologia de comutação de circuito. Neste sistema, o único serviço presente era o de voz, havia baixa capacidade espectral e facilidade nas interceptações das conversações. Além disso, dada a inexistência de normalização, cada país criou o seu próprio sistema, levando à existência de

sistemas que só funcionavam dentro dos limites de cada país (16). Desta forma, houve necessidade de desenvolver um sistema que superasse estes problemas, a geração 2G. O AMPS (*Advanced Mobile Phone Service*) é um exemplo de sistema de telefonia móvel de 1G desenvolvido nos anos 80 e que operava na faixa dos 800 MHz.

Na Segunda Geração, ou 2G, os dados são transmitidos convertendo um sinal analógico em digital mas transportados sobre uma rede com tecnologia de comutação de circuito, como na 1G. Esta geração apresenta como vantagens sobre a 1ª geração analógica; maior eficiência espectral na codificação digital de voz, melhor qualidade de voz; facilidade de comunicação de dados e a criptografia. Exemplos de tecnologias de acesso digital desta geração são o CDMA (*Code Division Multiple Access – Acesso Múltiplo por Divisão de Código*) e o TDMA (*Time Division Multiple Access – Acesso Múltiplo por Divisão de Tempo*). O GSM (*Global System for Mobile Communications*) é outro exemplo de sistema de 2G que permite, por exemplo, *roaming* internacional na Europa e o uso de um cartão de memória para gravação de dados (17). Entre a Segunda e Terceira Geração surge a 2.5 G com uma técnica avançada de modulação permitindo a comutação de pacotes, e não de circuitos, que apenas utiliza o caminho quando existem dados para transmitir. Assim, o espectro de frequência e da banda disponível é usado com maior eficiência.

O Padrão de transmissão de rádio por pacote (GPRS, *General Packet Radio Services*) é a evolução da tecnologia GSM em 2.5G e, actualmente, é o padrão que oferece a maior cobertura móvel para aparelhos de mão com acesso à internet. Vem adicionar à rede GSM a funcionalidade de comutação de pacotes, o que permite otimizar a transferência de tráfego de dados e a transmissão ocasional de grandes quantidades de tráfego (16).

O EDGE (*Enhanced Data Rates for Global Evolution*) é considerada uma tecnologia 3G com a mesma estrutura do GSM (HSCSD e GPRS), mas com uma nova técnica de modulação (8-PSK, *Eight-Phase Shift Keying*) e novas técnicas de codificação de canal, triplicando a largura de banda oferecida pelo GPRS (16). Permite a transmissão de dados e acesso à Internet de alta velocidade e serviços de dados avançados, como o *”streaming”* de áudio e vídeo, o acesso rápido à Internet e download de arquivos pesados. Embora o EDGE seja tecnicamente uma tecnologia da 3ª Geração, geralmente é classificada como um padrão 2,75G, já que é uma melhoria feita nas redes 2,5G (GPRS) e não a criação de um sistema propriamente dito (18).

A Terceira Geração, ou 3G, apresenta serviços de telefonia e comunicação de dados a velocidades maiores que os seus antecessores permitindo uma melhor qualidade no envio de imagens, vídeo-conferência, entre outros.

A Geração 3.5 G, utiliza a tecnologia HSDPA (*High Speed Downlink Packet Access*) e HSUPA (*High Speed Uplink Packet Access*), que são dois padrões complementares. A sigla HSUPA refere-se à alta velocidade com a qual os utilizadores podem enviar arquivos de dados

(*uplink*). O HSDPA refere-se à velocidade com a qual podem ser recebidos arquivos de dados (*downlink*), suportando velocidades de 1.8, 3.6, 7.2 e 14 Mbit/s. Este é um serviço baseado em pacotes do WCDMA (*Wideband Code Division Multiple Access*) que tem como principais objectivos aumentar a taxa de dados e a capacidade da rede, além de um melhor desempenho em relação aos tempos de latência, característica importante para a experiência do utilizador (19).

Com a evolução da tecnologia de rede de telefonia celular tornou-se possível transferir grandes quantidades de dados a grandes velocidades na zona de cobertura da rede que, actualmente tende para tornar-se omnipresente. Esta rede fornece também acesso à Internet, o que permite o uso de serviços como, por exemplo, aplicações telerobóticas.

1.2 Motivação

No modelo clássico, as decisões relativas ao controlo de veículos telecomandados são consumadas por um utilizador com o telecomando que efectua o controlo caso o veículo esteja em linha de vista. Esta e a limitação de apenas o utilizador com o telecomando poder controlar o veículo são a motivação inerente a esta dissertação, que aborda alternativas para efectuar o controlo de veículos telecomandados, recorrendo a várias tecnologias, nomeadamente, a telerobótica via Internet e a utilização das redes WWAN e WLAN.

Outro factor motivador para a elaboração desta dissertação é o facto de a implementação do projecto requerer a integração de várias áreas de conhecimento, como programação, electrónica, telecomunicações e mecânica, das quais a maior parte foi leccionada ao longo do curso de engenharia de Electrónica e Telecomunicações, possibilitando assim aplicar os conceitos aprendidos.

1.3 Objectivos

O principal objectivo desta dissertação é investigar alternativas de controlo para veículos telecomandados, possibilitando o seu funcionamento em três modos distintos: o clássico, o remoto numa WLAN e o remoto numa Rede de Telefonia Celular. No modo clássico, o utilizador controla o carro através do telecomando, sendo enviada a informação por rádio frequência através da antena transmissora do telecomando para a antena receptora localizada no carro. Já no modo remoto WLAN, pretende-se que o utilizador controle o carro através de um computador remoto ligado directamente ou indirectamente a uma WLAN, à qual o carro também se encontra ligado. Em relação ao modo Remoto numa Rede de Telefonia Celular, o objectivo é permitir que o utilizador

controle o veículo através de um computador ligado à Internet e o carro se encontre inserido numa Rede de Telefonia Celular. Desta forma, o utilizador poderá escolher o modo em que pretende fazer o controlo, bastando para isso apenas seleccionar a respectiva opção no telecomando. Nos modos remotos WLAN e remoto numa rede de telefonia celular, qualquer utilizador com acesso à mesma rede do veículo poderá efectuar o seu controlo, independentemente da sua localização.

Para este desafio será necessário alterar um carro telecomandado por rádio segundo o modelo clássico, adaptando-o e equipando-o com o *hardware* e *software* necessários de modo a alcançar o objectivo indicado inicialmente.

1.4 Contribuição principal

A principal contribuição desta dissertação é demonstrar que a experiência da condução de veículos telecomandados por rádio frequência apresenta uma maior qualidade de serviço quando o utilizador tem a possibilidade de escolher o mecanismo de controlo de um dos três modos de funcionamento mencionados anteriormente ao invés do único e actual modo clássico.

2. Modelos Conceituais

2.1 Modelo clássico de controlo de veículos telecomandados

O modelo original de comunicação de veículos telecomandados é composto por emissor, receptor e o canal de comunicação, como ilustrado na Figura 4. A informação para o controlo do veículo parte do telecomando e atravessa o canal (atmosfera) através de ondas de rádio (ondas electromagnéticas) chegando ao receptor do veículo com a informação de controlo. A informação contida nas ondas de rádio frequência serve para controlar o veículo, deslocando-o para a frente ou para trás, e fazendo-o virar para a esquerda ou para a direita.

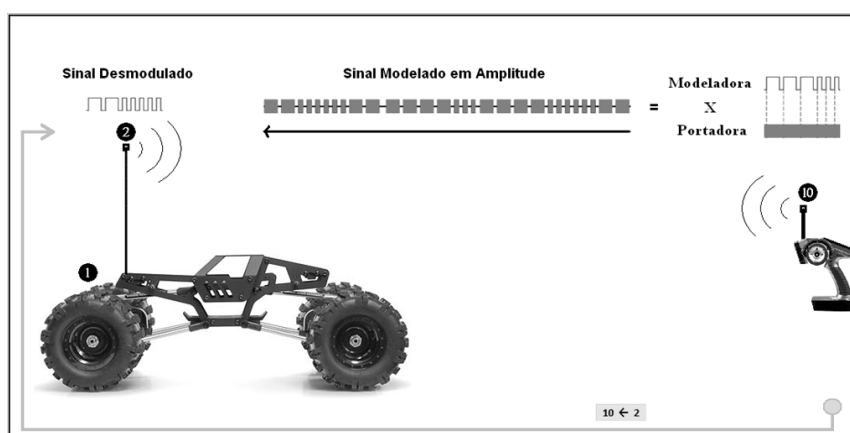


Figura 4. Modelo Clássico de comunicação para veículos telecomandados.

No exemplo da Figura 4 o sinal emitido pelo telecomando (emissor) é do tipo *pulse width modulation* (PWM), isto é, trata-se de um sinal gerado por modelação de pulsos de largura variada. Cada pulso tem como características: a repetição periódica ao longo do tempo, uma determinada largura e todos têm a mesma amplitude. O comprimento destes varia consoante o comando que se pretende dar ao veículo, por exemplo, se quisermos que o carro ande para a frente, um dos pulsos do sinal vai aumentar de comprimento, se quisermos que o carro ande em marcha atrás o mesmo pulso vai diminuir de comprimento. O mesmo sucede com o pulso que controla a direcção do veículo: virar para a esquerda traduz-se num aumento da largura do pulso e virar para a direita corresponde a uma diminuição. Em suma, existe um pulso que está associado à aceleração do motor e outro pulso à direcção do veículo, assim, se quisermos controlar o veículo basta controlar a variação da largura dos pulsos associada a cada um dos movimentos. Este é um exemplo clássico de funcionamento da comunicação de veículos telecomandados por rádio frequência.

2.2 Modelo telerobótico via Internet utilizando a rede de telefonia celular

A comunicação no modelo de telerobótica via Internet utilizando a rede de telefonia celular consiste na correspondência entre cliente e servidor. Neste modelo o servidor (computador de bordo do veículo) disponibiliza um ou vários serviços aos quais o cliente pode aceder, desempenhando este último a tarefa de controlador do veículo. O indispensável na comunicação entre cliente e servidor neste modelo é que tenham ambos acesso à Internet para poderem comunicar. É também indispensável que o servidor tenha uma interface de rede de acesso ao meio da rede de telefonia celular, por exemplo, um modem 3G, para se conectar à Internet. O utilizador poderá efectuar o controlo do veículo utilizando para isso um computador ou um *smartphone* também ligados a internet, como ilustrado na Figura 5.

Neste trabalho, pretende-se acrescentar novos componentes a um veículo telecomandado de modo a conseguir controlar o veículo telecomandado através da internet, alterando assim, o modo de comunicação clássico dos carros telecomandados e transformando-o num modelo telerobótico, como ilustrado na Figura 6.

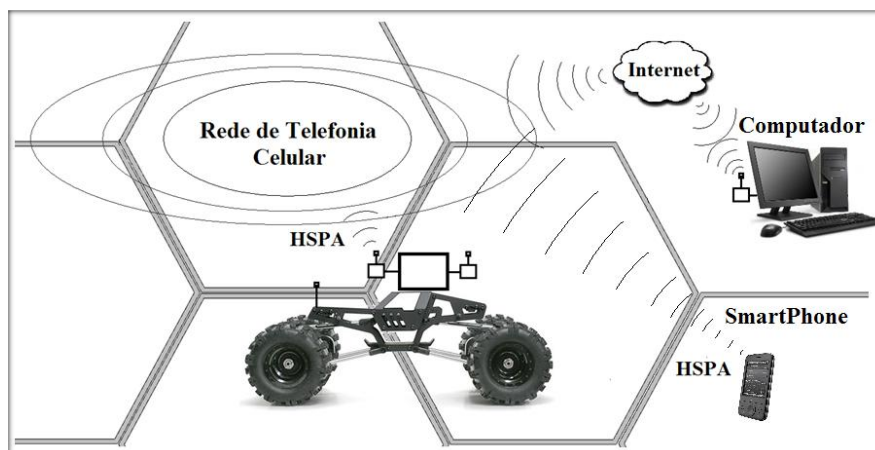


Figura 6. Modelo telerobótico, utilizando a rede de telefonia celular.

Neste novo modelo, o veículo pode ser controlado por qualquer utilizador ligado à Internet e não apenas pelo cliente na posse do telecomando.

2.3 Modelo Telerobótico utilizando uma rede ad-hoc WiFi

Similar ao modelo anterior, neste modelo o controlo do veículo é efectuado por um utilizador através de um computador ou um *smartphone*. A diferença está no facto de que não é necessário a ligação a Internet. O computador a bordo do veículo cria uma rede Wireless ad-hoc que será acessada pelo cliente (computador ou *smartphone*), sendo o controlo efectuado por esta rede ad-

hoc (Figura 7). Este modelo tem a vantagem de permitir a utilização do veículo em modo telerobótico sem a necessidade de ter uma conexão à Internet.

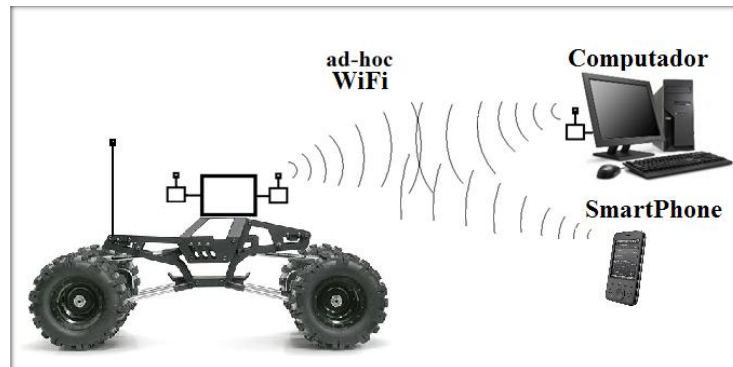


Figura 7. Modelo telerobótico numa rede ad-hoc WiFi.

2.4 Dos modelos à realidade

A implementação dos modelos mencionados nos pontos 2.2 e 2.3, requer várias tecnologias de *hardware* e *software*. O trabalho apresentado em seguida descreve a implementação desses modelos na prática, recorrendo à remodelação de um carro telecomandado adicionando-lhe novos componentes

2.4.1 Veículo Telecomandado

A empresa Traxxas é um dos líderes Mundiais de fabricantes de veículos telecomandados, oferecendo uma variedade de carros e barcos com motores eléctricos bem como com motores de combustão (20). O carro telecomandado escolhido para o projecto foi o E-maxx, um carro todo o terreno com motor eléctrico, à escala de 1:10, ilustrado pela sequência de fotografias na Figura 8.



Figura 8. Múltiplas perspectivas do Traxxas E-Maxx.

Este veículo foi escolhido também por ter o centro de gravidade relativamente alto e um sistema de amortecedores verticais, o que possibilita suportar o peso extra que lhe será acrescentado.

2.4.2 Computador de bordo

Um dos componentes indispensável para este projecto é o dispositivo que irá servir de computador de bordo (o servidor) e ficará alojado a bordo do veículo. Este dispositivo foi seleccionado com base nas seguintes especificações: sistema operativo de tempo real, dois interfaces USB, um para ligar o modem 3G e outro para ligar uma câmara Web, suporte de vibrações, bateria com bastante autonomia e tamanho reduzido.

O dispositivo ideal para realizar esta tarefa é um Single Board Computer porque é menos complexo que um portátil sendo também mais fácil a interacção com o *hardware*, mas por questões de disponibilidade foi utilizado um ultra portátil. Os ultra portáteis tem discos rígidos Solid State Drive (SSD) com características anti-choque, tem também uma autonomia de vida bastante longa graças às baterias de lítio. O *Asus EeePc 901* (Figura 9) foi o computador escolhido para desempenhar a função de computador de bordo. As suas características podem ser consultadas no anexo B.

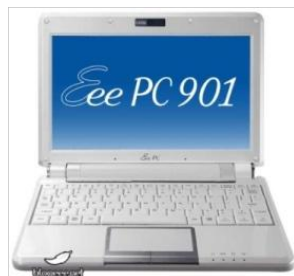


Figura 9. O Computador de bordo (Asus EeePc 901)

2.4.3 Adaptação do computador de bordo ao veículo

A adaptação depende das dimensões físicas, visto que o computador de bordo é inserido em cima do chassis do carro, de forma a ficar protegido (Figura 10). Este foi colocado em paralelo com os eixos das rodas do veículo porque a zona da bateria é a mais pesada do ultra portátil e, nesta posição, o centro de massa original do veículo não sofre uma significativa alteração.

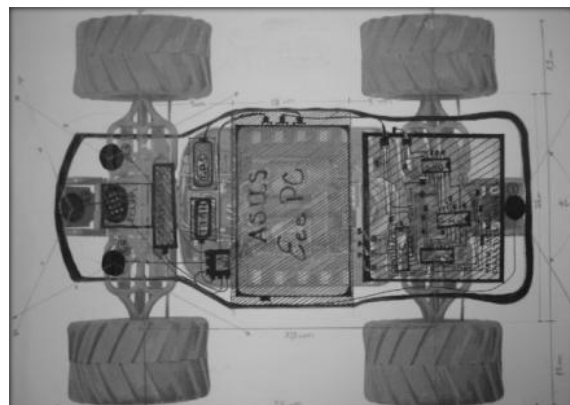


Figura 10. Desenho à escala real do computador de bordo alojado no carro.

2.4.4 Meio de acesso à rede de telefonia celular

O computador de bordo do carro necessita de um dispositivo adequado a fazer a ligação à rede de telefonia celular, para poder aceder à Internet. O ZTE MF636 HSPA 3.5G USB MODEM (Figura 11) é um Modem USB capaz de suportar múltiplos modos de operação, sendo compatível com redes HSPDA/ HSPUA/ UMTS/ EDGE/ GPRS/ GSM (21). Este dispositivo possui uma interface USB para conexão a um computador e suporta serviços de dados através da rede de telefonia celular, comunicando sem fios a qualquer momento numa zona com cobertura.



Figura 11. ZTE MF636 HSPA 3.5G USB MODEM

2.4.5 Telepresença e visão remota

A condução remota de um carro telecomandado, fora da linha de vista, requer que o utilizador receba informação de vídeo da posição do veículo para poder tomar decisões no que diz respeito a rotas a seguir. Neste projecto, foi utilizada uma câmara Logitech (Figura 12) que possui um sensor óptico Carl Zeiss de dois megapixéis com focagem automática para restituir uma excelente qualidade de vídeo, podendo atingir uma resolução de 1600 x 1200 pixéis. Esta câmara é responsável pela captura de vídeo e fica alojada no veículo.



Figura 12: Uma webcam da Logitech para notebooks, à direita, e o esquema com a câmara alojada no veículo, à esquerda.

2.4.5.1 Visão remota e sistema *Pan/Tilt*

O sistema Pan/Tilt permite controlar a rotação da câmara da esquerda para a direita (Pan) e de cima para baixo (Tilt) aumentando assim os graus de liberdade e assim permitindo maior confiança para a tomada de decisões no que diz respeito ao controlo do veículo.

2.4.5.2 Visão remota com múltiplas perspectivas

A importância da liberdade de movimento da câmara é um dos factores que influencia a qualidade do serviço de condução remota. Assim, de modo a termos duas perspectivas diferentes na condução remota (Figura 13), foi pensado a adopção de um braço mecânico que permite à câmara ficar tanto à frente como atrás do veículo (viga móvel no desenho da Figura 14).



Figura 13. Perspectiva na primeira pessoa e perspectiva na terceira pessoa.

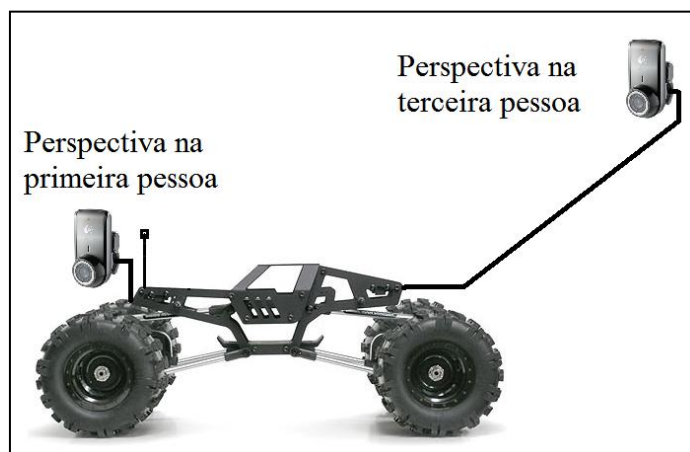


Figura 14. Múltiplas perspectivas instaladas no veículo.

2.4.6 Servomotores

Os movimentos de Pan e Tilt bem como a movimentação do braço mecânico para mudar a perspectiva da câmara foram implementados usando servo motores.

Os Servo Motores são dispositivos que operam em malha fechada, ou seja, recebem um sinal de controlo, verificam a posição actual, deslocam-se para a posição desejada e reportam a posição final. Em contraste com os motores contínuos que giram indefinidamente, o eixo dos servos motores utilizados possuem a liberdade de apenas cerca de 180° grau mas são precisos quanto a posição. Possuem três componentes básicos, ilustrados na Figura 15.

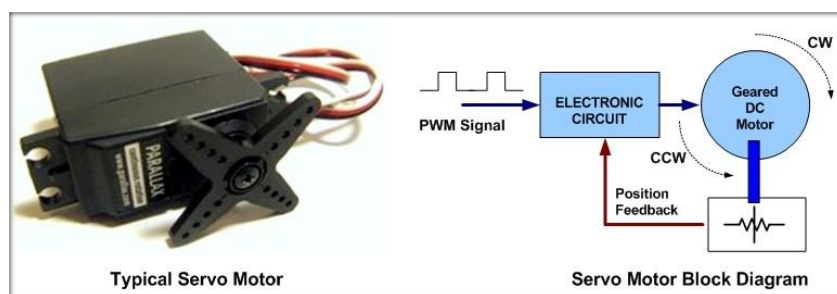


Figura 15. Esquema de funcionamento de um Servo Motor.

O sinal de controlo utiliza o protocolo PWM (modulação por largura de pulso) que possui três características básicas: largura mínima, largura máxima e taxa de repetição. A largura do pulso de controlo (Figura 16) determina a posição do eixo:

- Largura máxima equivale ao deslocamento do eixo em $+90^\circ$ da posição central;
- Largura mínima equivale ao deslocamento do eixo em -90° ;
- Demais larguras determinam a posição proporcionalmente.

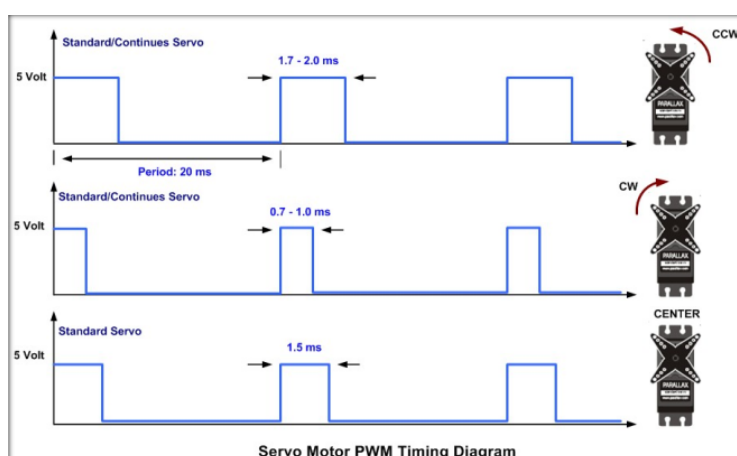


Figura 16. Modulação por largura de pulsos.

2.4.6.1 Movimentos *Pan/Tilt*

Dois servomotores podem gerar movimentos de Pan e Tilt, se para tal foram agrupados de uma determinada forma (Figura 17):



Figura 17. Dois servo motores implementando o sistema Pan/Tilt.

Nesta configuração, a rotação do eixo do primeiro servo motor faz rodar o segundo servomotor.

2.4.6.2 Mega servo motor

Para a mudança de perspectiva, o servomotor tem de apresentar bastante torque (mega servo) para suportar o peso do braço em alumínio, a câmara e os dois servomotores. A função deste servo motor é movimentar a câmara de frente do veículo para a parte de trás do veículo de modo a alterar a perspectiva da câmara.

2.4.7 Micro Controladores

2.4.7.1 O Arduino

O Arduino (22) é baseado numa simples plataforma de *hardware* livre, projectada com uma placa composta por um micro controlador ATMEGA, algumas linhas de E/S digital e analógica e uma interface serial ou USB, para interligar-se ao hospedeiro, que é usado para aceder e programar o micro controlador. O micro controlador no Arduino é programável utilizando a linguagem de programação Arduino (baseado no *Wiring*) e o ambiente de desenvolvimento baseado na linguagem *Processing*.



Figura 18. Arduino diecimila.

2.4.7.2 Pololu Micro Serial Servo Controller

O *Pololu Micro Serial Servo Controller* é um controlador de servo motores compacto que suporta até 8 servos. A comunicação com este controlador é feita através de uma linha serie TTL. A Figura 19 serve para ilustrar este pequeno controlador.

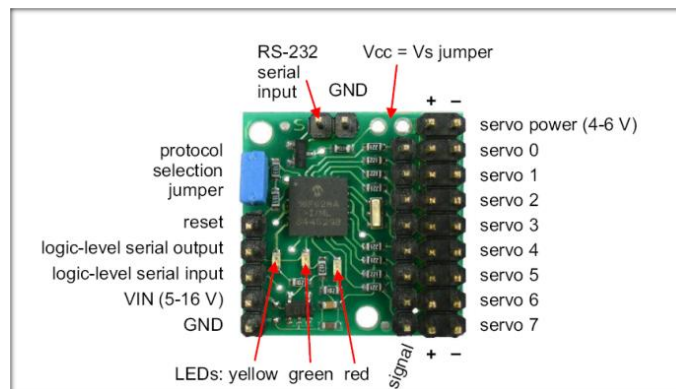


Figura 19. Pololu micro servo controller.

A vantagem deste dispositivo é que ele é inteiramente dedicado ao controlo de servos, tornando-se assim num nó independente dedicado a uma tarefa específica no sistema.

2.5 Componentes necessários para a implementação do projecto

A maior parte do material necessário à implementação deste projecto encontra-se descrito na tabela 2. Esta contém os componentes mais importantes para a construção do protótipo do veículo, mas exclui os acessórios e ferramentas necessárias para a execução da montagem mecânica e construção de circuitos.
















Componente	Nome	Itens	Componente	Nome	Itens
	Modem ZTE MF622 HSDPA USB	1		Asus Eee Pc 901	1
	Traxxas E-maxx	1		Arduino Duemilanove	2
	Traxxas TQ-3 (3-Channel)	1		Pololu micro servo Controller	1
	Logitech quickcam for notebooks	1		Cirrus micro servo	2
	Hitec Servo	1		Baterias de 3.6V 2600 mAh	2
	Baterias de 6V 5000 mAh	1		Suporte de LED's	50
	Baterias de 7.2V 4600 mAh	2		Molas duras	8
	LED's	50		Rolamento de suporte de veio	2

Tabela 2: Lista de material para a implementação do projecto.

2.6 Tecnologias de software

Para o desenvolvimento do protótipo foi necessário implementar algumas tecnologias e usar algumas ferramentas de software em Linux, descritas a seguir:

2.6.1 Modelo Cliente Servidor

No modelo cliente/servidor existem dois tipos de intervenientes: servidores e clientes. Servidores e clientes são componentes de *software* que podem estar alojados no mesmo computador ou em computadores diferentes de alguma forma conectados. Os servidores disponibilizam serviços e os clientes acedem aos mesmos. A comunicação entre servidor e cliente é feita através de um protocolo de alto nível que poderá ser transportado sobre o protocolo TCP/IP, de modo a que a comunicação possa ser efectuada em redes TCP/IP. Assim os servidores e clientes poderão ser desenvolvido para comunicarem através da Internet. O servidor normalmente corre em *background* e fica constantemente à espera de pedidos de clientes. Assim que recebe um pedido, trata desse pedido e serve o cliente (23).

Neste protótipo o servidor encontra-se num computador a bordo do veículo e o cliente num outro computador, ao qual um utilizador pode aceder para efectuar o controlo do veículo, como ilustrado na Figura 20.



Figura 20. Arquitectura do modelo cliente servidor para o projecto.

2.6.2 Live Video and Audio Streaming

O *live video* e o *audio streaming* permitem que o servidor envie para o cliente vídeo e áudio, adquiridos por dispositivos a bordo do veículo, contribuindo assim para a qualidade da tomada de decisão na rota a seguir.

O *Streaming* é uma forma distribuição de informação multimédia numa rede através de pacotes. É frequentemente utilizado para distribuir conteúdos multimédia através da Internet. Normalmente os conteúdos recebidos não são permanentemente arquivados pelo utilizador que está a receber o *stream*.

Num cliente um aplicativo designado por leitor permite que os arquivos multimédia sejam reproduzidos.



Figura 21. Live vídeo and audio streaming.

Os protocolos mais utilizados na distribuição de arquivos de *streaming* são, *User Datagram Protocol* (UDP), *Real-time Streaming Protocol* (RTSP), *HTTP adaptive bitrate streaming*.

2.6.3 Dynamic Domain Name Server

O *Dynamic Domain Name Server* DDNS é usado para atribuir um nome a um IP que poderá variar. Isto poderá ser útil se o IP de um servidor variar, o que sucede normalmente com os IPs atribuídos pelos operadores de telecomunicações. Com o serviço DDNS o cliente não precisa de determinar qual o IP do servidor, que pode variar, mas sim aceder ao servidor pelo nome registado na base de dados do DDNS. O DDNS é o responsável por associar o nome ao IP actual do servidor (24).

3. Diferentes abordagens para a aquisição e envio de sinais.

Neste capítulo analisamos duas abordagens diferentes para adquirir o sinal do telecomando e para enviar o sinal do computador de bordo do veículo para o próprio veículo, estas ligações estão assinaladas na Figura 22 pelos pontos de interligação a vermelho.



Figura 22. Tipos de ligação entre componentes.

Explorando duas possibilidades, podemos ter uma ligação directa com fios ou uma ligação *wireless*. A descrição da solução sem fios é mais técnica porque implica a construção de um receptor e um emissor AM.

3.1 Implementação A: ligação sem fios.

A grande vantagem da ligação sem fios é o facto de se poder fazer as ligações a qualquer carro telecomandado sem haver necessidade de fazer alterações às ligações existentes no carro. A Figura 23 serve para ilustrar uma ligação sem fios entre o comando do carro ao computador do cliente e entre o computador de bordo do veículo e o próprio veículo.



Figura 23. Ligação sem fios entre o micro controlador e os dispositivos eléctricos

A implementação da solução sem fios, requer a construção de um receptor AM bem como um emissor AM. O receptor está representado na Figura 23 pelo nó número 9 e o emissor pelo nó número 3.

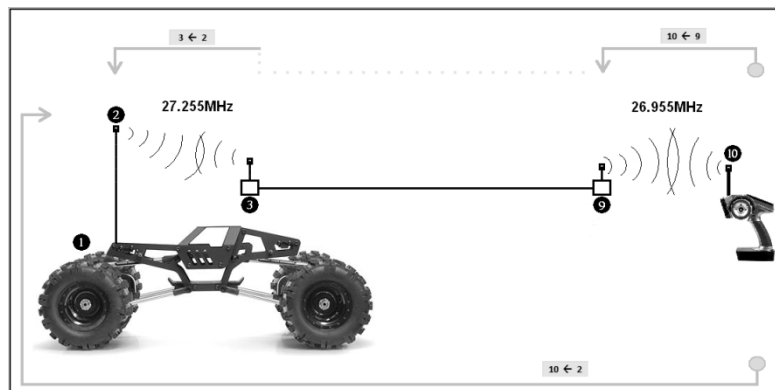


Figura 24. Modelo parcial sem fios do veículo telecomandado.

O telecomando e o receptor (nó número 9) vão comunicar entre si através de uma portadora à frequência de 26.955 MHz. Por outro lado, o emissor (nó número 3) e o receptor do veículo vão comunicar entre si usando uma portadora à frequência de 27.255MHz. A diferença de frequências entre os dois canais ilustrados na Figura 24 faz com que não haja interferência na comunicação.

3.1.1 Análise do sinal de rádio frequência

Antes de abordar a implementação dos nós 3 e 9 da Figura 24, teremos que analisar e caracterizar o sinal electromagnético gerado pelo telecomando. Foi utilizado um osciloscópio para visualizar o sinal gerado pelo telecomando: colocamos a ponta de prova do osciloscópio directamente em contacto com a antena do veículo, obtendo a imagem da Figura 25.

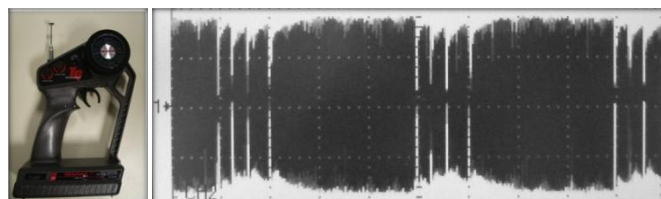


Figura 25. Telecomando e Sinal emitido pela antena (Escala: X- 5 ms, Y- 1 Volt)

O sinal emitido pela antena é um sinal PWM (*Pulse Width Modulation*) composto por quatro pulsos periódicos, separados por intervalos de 200us representados nas Figura 26 e Figura 27, respectivamente. Foram atribuídos nomes aos pulsos, CH0, CH1, CH2, CH3, que têm as seguintes características:

CH0- é o pulso de maior duração e compensa a variação dos outros pulsos para manter o período constante; **CH1** - pulso responsável pelo controle da direcção do veículo; **CH2** - pulso responsável pelo controle da rotação do motor; **CH3** - pulso sem qualquer função, tem uma duração constante.

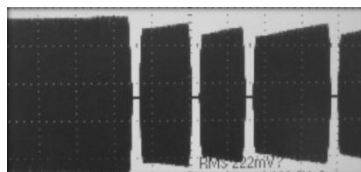


Figura 26. Sinal emitido pelo telecomando. Da esquerda para a direita, 1º pulso (CH0), o 2º pulso (CH1), o 3º pulso (CH2) e o 4º pulso (CH3) (Escala: X- 1 ms, Y- 1 Volt)

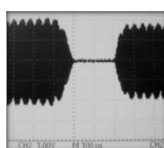

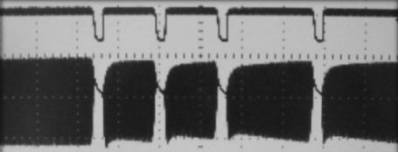

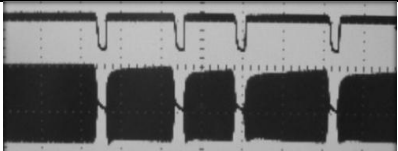

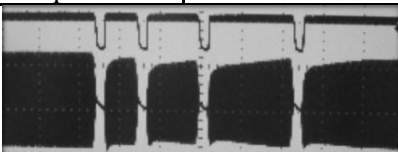

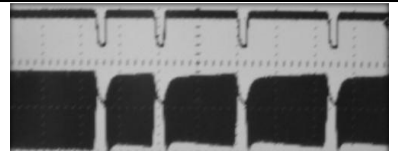


Figura 27. Intervalo de tempo entre dois pulsos (Escala: X- 250 us, Y- 1 Volt)

Com o telecomando ainda ligado ao osciloscópio, manipulamos o telecomando, fazendo acelerações e mudanças de direcção de forma a constatar as alterações do sinal. Na tabela 3, podemos ver o resultado das variações da largura dos pulsos quando variamos o acelerador ou a direcção do telecomando.

	Direcção (CH1)	Aceleração (CH2)
Telecomando	Neutro	Neutro
		
Telecomando	Direita	Neutro
		
Telecomando	Esquerda	Neutro
		
Telecomando	Neutro	Frente
		
Telecomando	Neutro	Marcha atrás

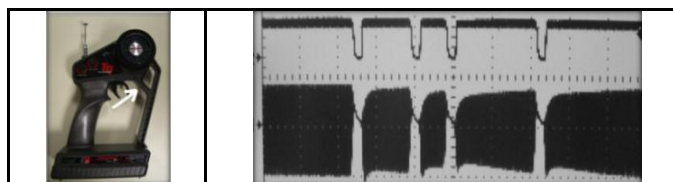


Tabela 3: Variação da largura dos pulsos do sinal (Escala: X- 1ms, Y- 1 Volt).

Conclui-se que a posição de um determinado comando no telecomando (direcção ou aceleração) define o comprimento do respectivo pulso. O sinal propagado pela antena do telecomando tem uma frequência de 26.955 MHz e uma amplitude de 2 volt.

3.1.2 Simulação em SPICE do modelo de comunicação

Por questões práticas, a construção dos circuitos eléctricos foram inicialmente testadas num simulador. Todas as simulações foram feitas utilizando a aplicação PSPICE usando modelos SPICE para os vários componentes electrónicos.

3.1.2.1 Simulação do receptor (nó número 9).

O esquema usado para a simulação do circuito receptor AM consiste num detector de envolvente e está ilustrado na Figura 28.

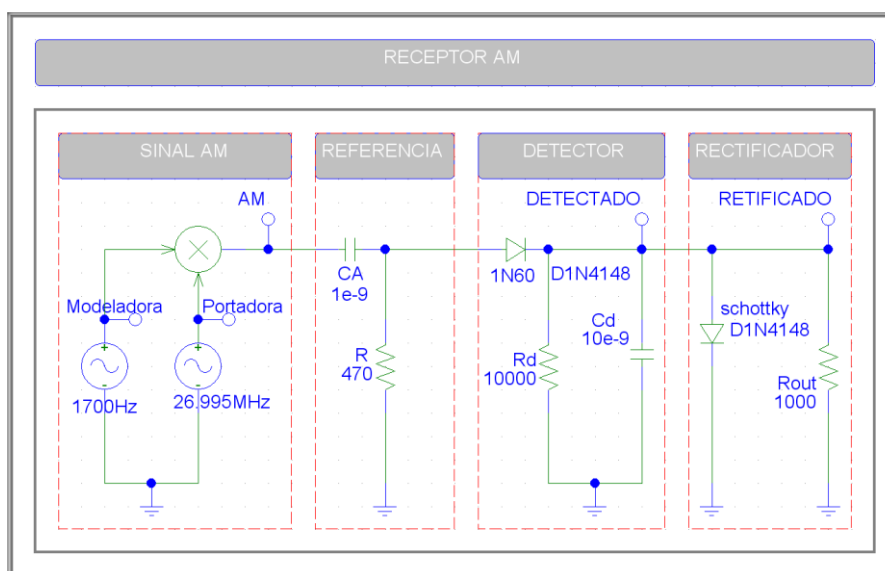


Figura 28. Simulação em PSPICE do circuito receptor.

Podemos subdividir a simulação do receptor em quatro partes principais: Sinal AM, referência, detector e rectificador. O sinal AM é obtido através da multiplicação da portadora a 26.955 MHz com a modeladora a 1700Hz, o resultado é um sinal à mesma frequência que a do sinal emitido pela antena do veículo. O detector é composto por um diodo de gerúndio 1N60 com uma queda de

tensão aos terminais de 0.25 Volt e que tem como objectivo eliminar a parte negativa do sinal AM. O detector é também composto por um filtro RC em paralelo para detectar a modeladora. O filtro RC tem uma constante de tempo que é representado pela seguinte equação matemática:

—

O rectificador é composto por um diodo *Schottky* ligado à terra que tem uma queda de tensão (em condução) de cerca de 0.7 Volt servindo para rectificar o sinal de saída do circuito funcionando assim como um limitador de amplitude (*trimmer*) de sinal. De notar que a informação está embebida na fase do sinal modulador (PWM) pelo que a limitação de amplitude não impõem distorção neste tipo de sinal.

Após a execução da simulação do circuito no PSPICE podemos ver o resultado na Figura 29.

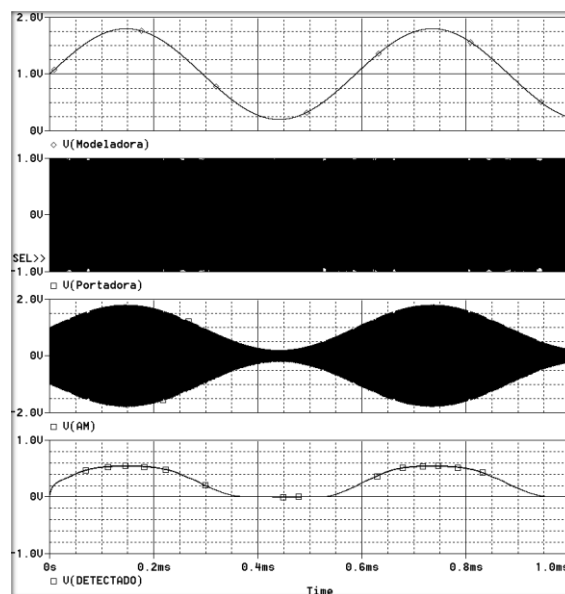


Figura 29. Resultados da simulação em PSPICE do circuito receptor.

Observamos que o receptor foi capaz de detectar um sinal modulado em amplitude. Fazendo ajustes ao filtro RC podemos ter mais ou menos distorção no sinal recebido em comparação com o sinal original, isto deve-se ao facto do filtro RC controlar o tempo de descarga do sinal. Se a constante RC for muito pequena, o tempo de descarga irá ser pequeno e haverá menos distorção do sinal, em contrapartida, se a constante de tempo RC for elevada isso fará com que o filtro demore a descarregar, distorcendo assim o sinal.

3.1.2.2 Simulação do emissor

Para se construir um emissor para o nó número 3 temos que ter um sinal que oscile a 27.255MHz para servir de portadora.

3.1.2.2.1 Cristal de quartzo à frequência fundamental

Vamos utilizar um cristal oscilador de 9085000 Hz, ilustrado na Figura 30, e fazer com que ele oscile no terceiro harmónico (*3rd overtone*). Quando a portadora estiver a oscilar vamos multiplicar o sinal com o sinal da moduladora e o resultado será um sinal modulado AM.



Figura 30. Cristal de quartzo.

Inicialmente, vamos criar um circuito para testar se a frequência fundamental do cristal é realmente 9085000 Hz. Um cristal, em PSPICE, pode ser modelado através do circuito equivalente mostrado na Figura 31.

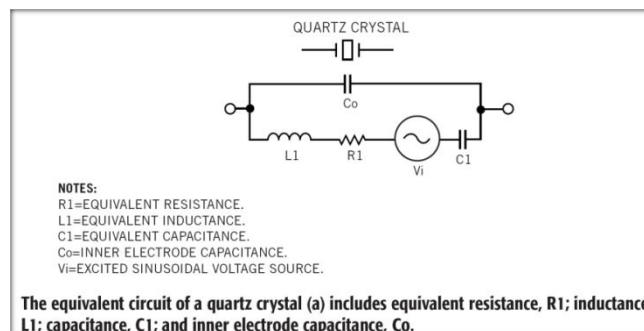


Figura 31. Circuito equivalente de um cristal de quartzo para simulação no PSPICE.

Analisando a Figura 32 podemos constatar que a fonte de tensão serve apenas para dar um *kick start* ao cristal para que ele comece a oscilar à frequência fundamental. Passado algum tempo, após o início da simulação, a fonte de tensão vai perdendo amplitude (Figura 32) e o cristal oscila naturalmente sem ajuda da fonte, o objectivo da fonte é dar um “empurrão” ao cristal, caso contrário, o cristal demoraria bastante tempo ao oscilar. Este procedimento só é necessário no simulador porque na prática o cristal oscila sem fonte interna.

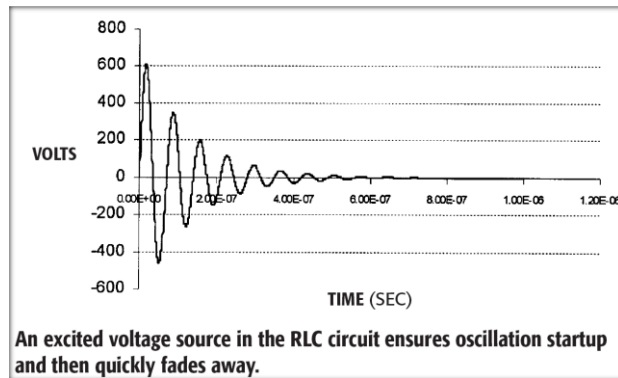


Figura 32. Kick Start do cristal para o início da oscilação

A Netlist relativa ao cristal em PSPICE encontra-se na Figura 33, onde podemos ver que a fonte de tensão tem inicialmente 0.7 K Volt de tensão e um factor de amortecimento (*damping factor*) de $8e+6$.

```

Listing 1—SPICE netlist
Co      xtalin      xtalout      4pf
L1      xtalxi      1            9.076mH
C1      xtalout    3            13.613f
R1      1           2            25
Vsin    2           3            sin(0 0.7k 14.318Meg 0.1n 8e+6 0)

```

Figura 33. Exemplo de uma Netlist para PSPICE de um cristal de quartzo.

Com este circuito equivalente de um cristal podemos consultar os valores do L, R e C específicos para os diferentes cristais, que se encontram na Figura 34. O cristal que vamos utilizar é *plane*, com uma frequência de 9085000 Hz por isso os valores de C0 C1 Q e R podem ser encontrados na última linha desta tabela.

Shape of Crystal	Frequency range (MHz) for cases			Typical Equivalent Data			
	HC-6/U	HC-25/U	HC-35/HC-45	C ₀	C ₁	Q	R ₁
Biconvex	0.75 - 1.5	—	—	3 - 7 pF	8 fF	> 100 000	100 Ω - 500 Ω
Planoconvex	1.5 - 3	2.7 - 5.2	—	4 - 7 pF	10 fF	> 100 000	< 200 Ω
Planoparallel with bevel	2 - 7	4.5 - 10.5	10 - 13	5 - 7 pF	20 fF [10 fF]	> 50 000	10 Ω - 100 Ω
Plane	7 - 20 (30)	10.5 - 20(30)	13 - 20 (30)				

Figura 34. Tabela de valores de C0, C1, Q e R para diferentes tipos de cristais de quartzo.

O cálculo do valor de L depende do tipo de oscilação em que o cristal se encontra, podendo oscilar em paralelo ou em série, dependendo da configuração no circuito. As expressões matemáticas para o cálculo da frequência de oscilação de um cristal em série e em paralelo estão abaixo descritas, respectivamente:

A descrição destas duas frequências está representada no gráfico da Figura 35. A oscilação em série do cristal apresenta uma impedância negativa e a oscilação em paralelo apresenta uma impedância positiva. A frequência de oscilação em paralelo é maior que a frequência de oscilação em série.

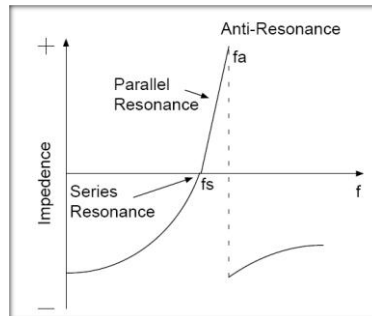


Figura 35. Frequência de oscilação em série e paralelo de um cristal.

Tendo a informação completa sobre o circuito equivalente de um cristal vamos tentar colocar o cristal a oscilar à frequência fundamental. Para isso vamos utilizar o circuito com a configuração de *Colpitts* com um par *Darlington*, apresentado na Figura 36.

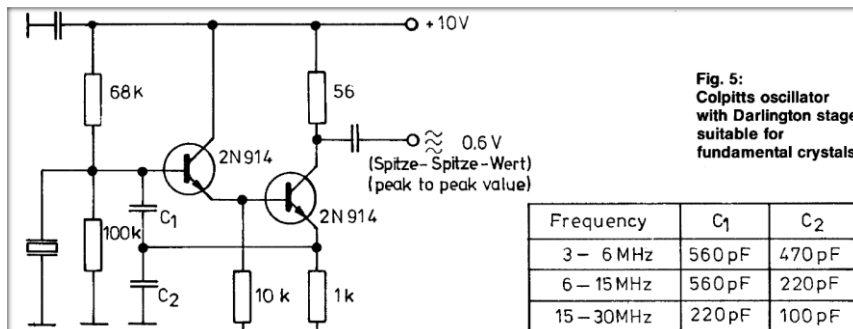


Figura 36. Configuração de *Colpitts* com *Darlington stage* para extrair a frequência fundamental de um cristal.

O cristal que queremos testar tem uma frequência fundamental de 9.085 MHz por isso para fazer uma simulação do circuito (Figura 37) os valores de C1 e C2 serão os da segunda linha da tabela da Figura 36.

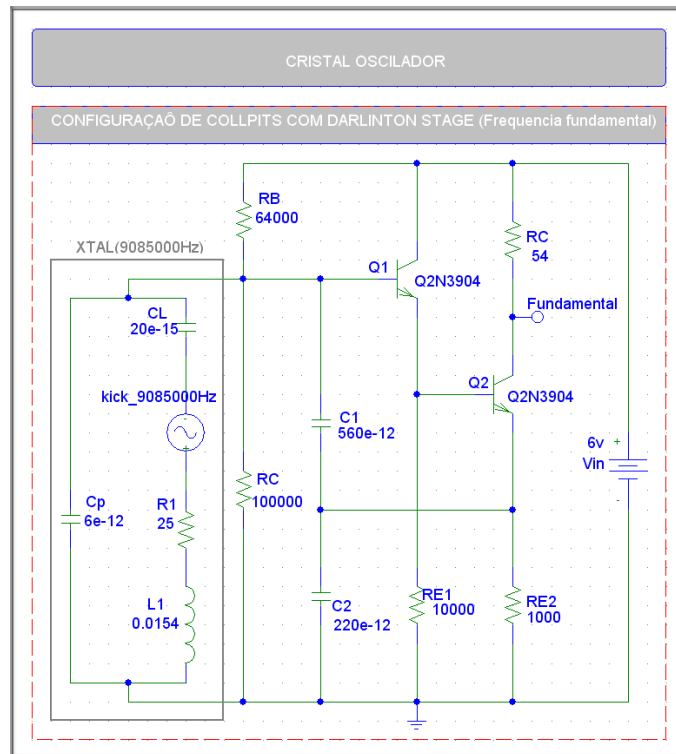


Figura 37. Simulação da configuração de *Colpitts* com *Darlington Stage*.

O resultado desta simulação mostra o cristal a oscilar, ilustrado na Figura 38. Observamos um sinal sinusoidal estável com uma amplitude de 200mv.

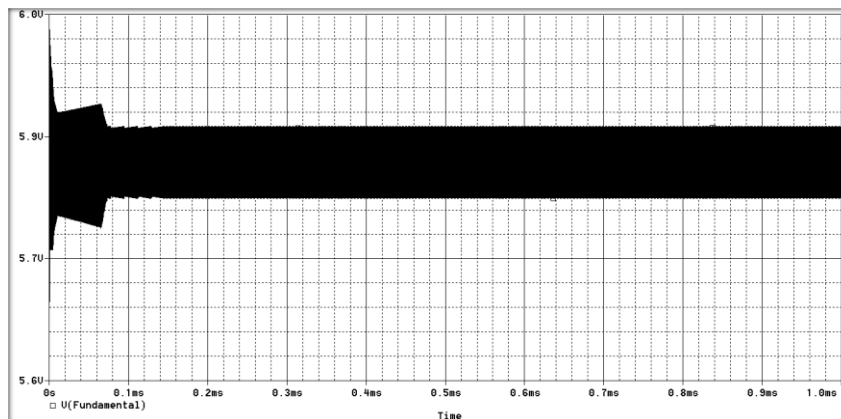


Figura 38. Oscilação estável da frequência fundamental de um Cristal (*Colpitts* com *Darlington Stage*)

Podemos calcular a frequência de oscilação que é o inverso do período mostrado na Figura 39, neste caso:

$$F=1/T \quad F= 1/110.268e-9 \quad F=9084800\text{Hz}$$

Assim, fica demonstrado que o cristal oscila a uma frequência igual à frequência fundamental de 9085000 Hz quando colocado no circuito com esta configuração.

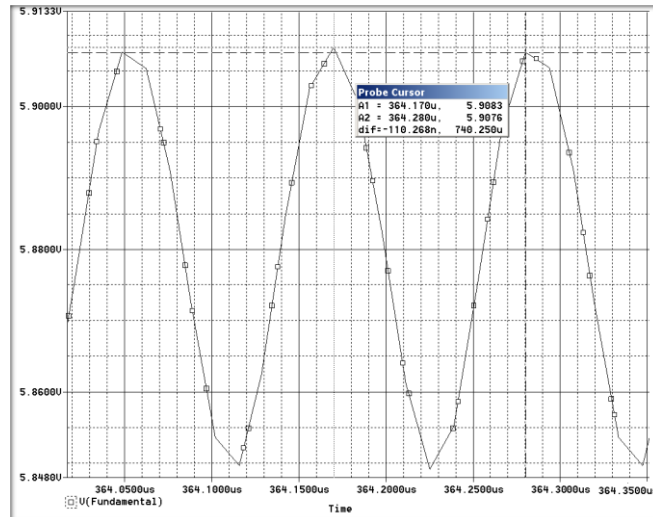


Figura 39. Período de oscilação à frequência fundamental de um cristal (*Colpitts* com *Darlington Stage*).

3.1.2.2.2 Cristal de quartzo a frequência do “3rd overtone”.

Agora que já sabemos a frequência fundamental de oscilação do cristal podemos forçar o cristal a oscilar a uma frequência três vezes superior à da frequência fundamental visto que a limitação física dos cristais de quartzo é de 20MHz a 30 MHz sendo os posteriores mais raros.

Colocando o cristal num circuito apropriado, Figura 40, vamos fazer com que ele se sinta forçado a oscilar três vezes mais rápido, o que é equivalente a dizer “3rd overtone”.

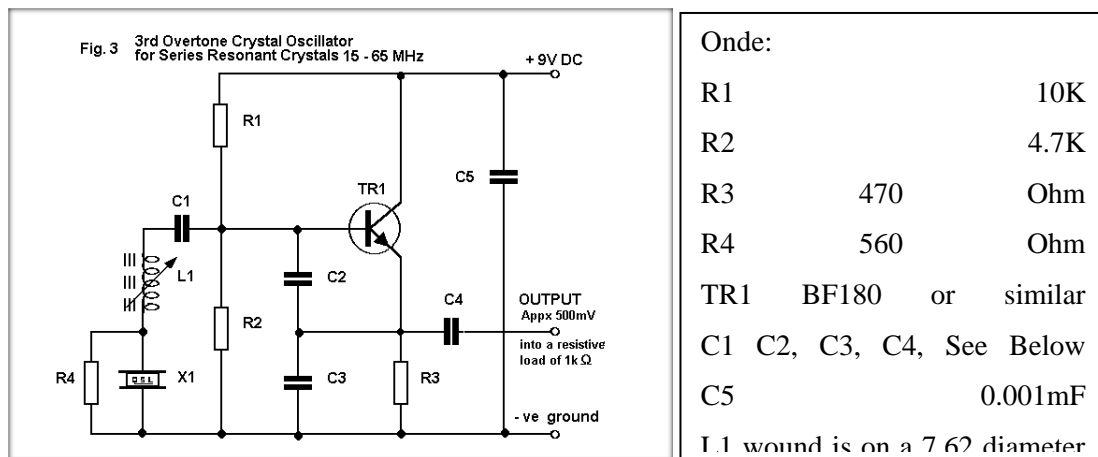


Figura 40. Configuração para o 3rd overtone para oscilação em serie de um cristal.

Na tabela acima (Figura 40) podemos encontrar os valores para os condensadores e para a bobine para as diferentes frequências forçadas. No nosso caso, os valores a escolher são os da 3ª linha, visto a frequência ser de 27.255MHz, para a configuração do circuito da Figura 40.

Frequency MHz	C1	C2	C3	C4	L1
15 - 20	100 pF	100 pF	68 pF	33 pF	12 Turns 30SWG Close Wound
20 - 26	100 pF	100 pF	68 pF	33 pF	8 Turns 30SWG Close Wound
25 - 31	100 pF	68 pF	47 pF	33 pF	8 Turns 30SWG Close Wound
30 - 43	100 pF	68 pF	47 pF	33 pF	6 Turns 30SWG Close Wound
42 - 55	100 pF	68 pF	47 pF	33 pF	5 Turns 30SWG 6 mm long
48 - 65	68 pF	33 pF	15 pF	15 pF	5 Turns 30SWG 6 mm long

Tabela 4 Tabela de valores para os elementos do circuito.

Após a recolha de todos os dados para os diferentes componentes do circuito, simulamos o circuito da Figura 40 e verificamos se o cristal oscila a uma frequência três vezes superior à frequência fundamental.

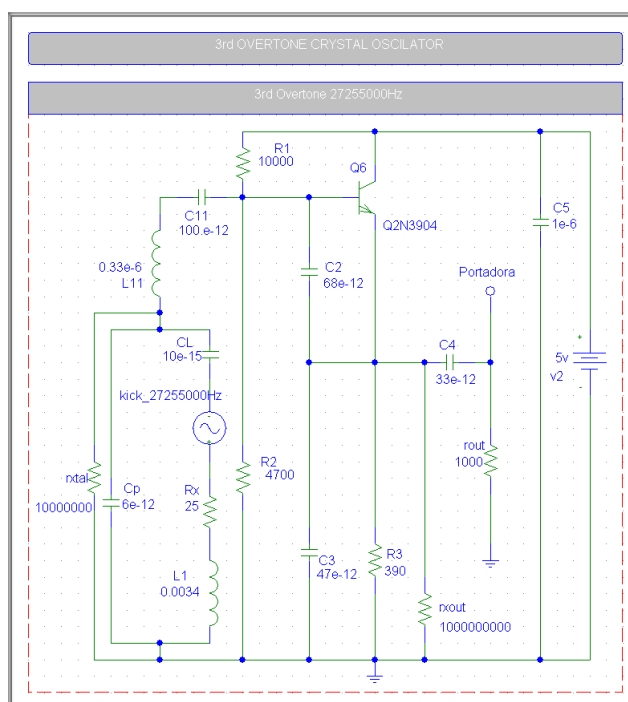


Figura 41. Circuito para forçar o cristal a oscilar no 3rd overtone.

O resultado desta simulação mostra o cristal a oscilar, é ilustrado na Figura 42. Observamos um sinal sinusoidal estável com uma amplitude de 2.5V.

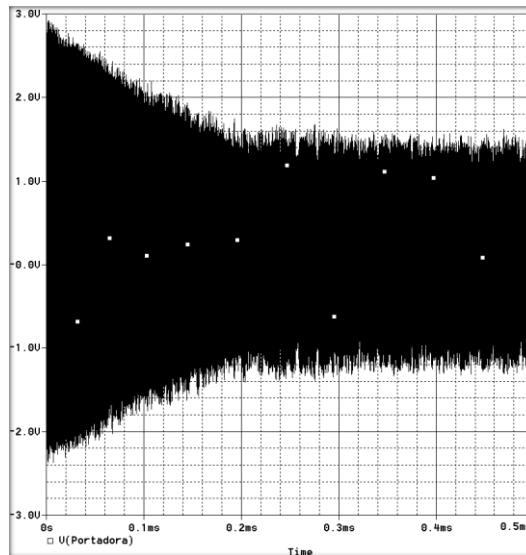


Figura 42. Oscilação no 3rd overtone de um cristal.

Calculando a frequência de oscilação que é o inverso do período, através dos dados da Figura 43.

$$F=1/T \quad F=1/36.597e-9 \quad F=2.7325e+007$$

Fica assim demonstrado que o cristal oscila à frequência forçada do a uma frequência três vezes superior à frequência fundamental quando colocado no circuito com esta configuração.

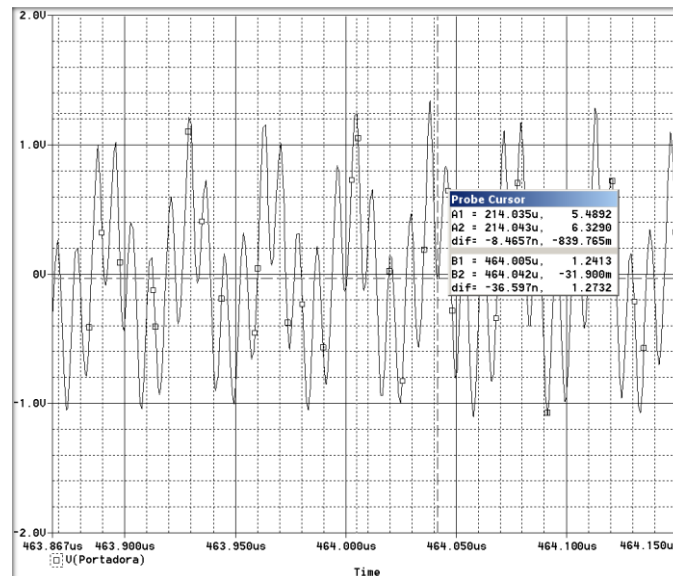


Figura 43. Período de oscilação no 3rd overtone de um cristal de quartzo.

3.1.2.3 Simulação do Multiplicador.

Um multiplicador ou modulador é um circuito que se destina essencialmente, a fazer a translação de sinais de banda base para alta frequência, o modulador utilizado é um modulador

activo visto que além de fazer a modulação também providencia ganho ao sinal de saída. Para implementar o modulador foi utilizado transístores bipolares de junção (BJT) modelo BC547.

O sinal AM é o resultado da multiplicação temporal do sinal modulador com o sinal da portadora, esta multiplicação/modulação pode ser conseguida através do circuito da Figura 44.

Os sinais de entrada no multiplicador são a moduladora a 1700 Hz e uma portadora a 27.255 MHz.

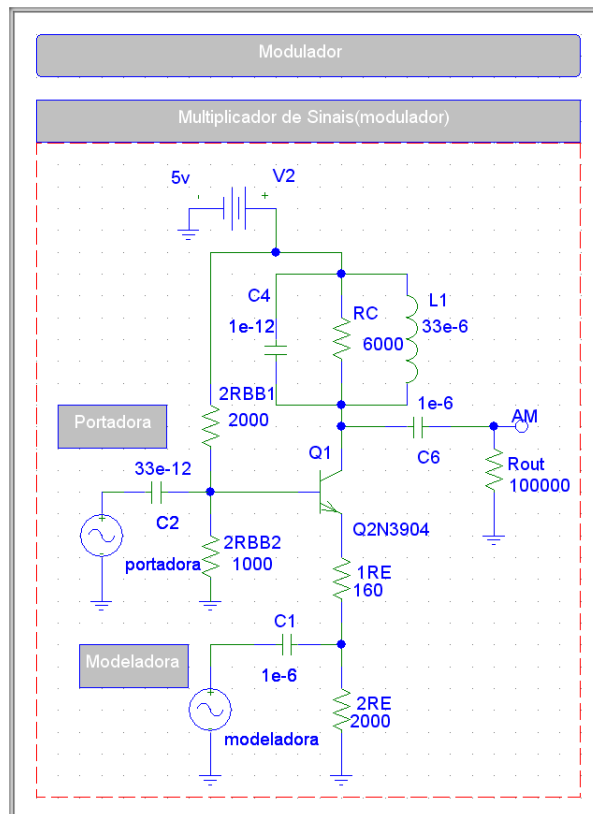


Figura 44. Multiplicador/modelador activo implementado com um BJT.

O circuito multiplicador tem um filtro RLC junto ao colector do transístor, funcionando como um filtro de rejeição de banda (*Stop Band*). Os valores de L e C foram calculados sabendo que a frequência da portadora é de 27.255 MHz. Onde $L=33\text{ uH}$ e $C=1\text{ pF}$.

O resultado desta simulação é um sinal AM a oscilar à frequência da portadora e com a modulação AM, como ilustrado na Figura 45.

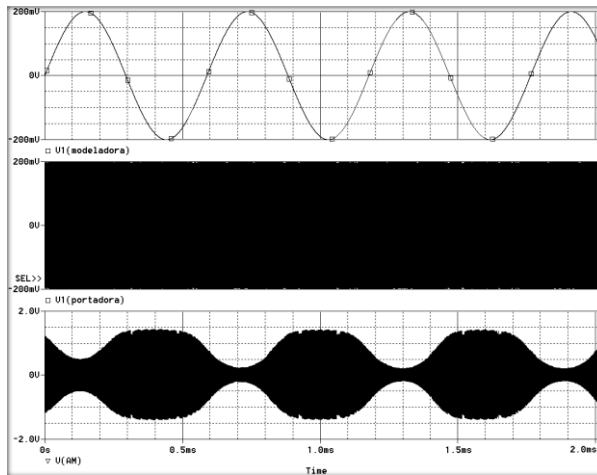


Figura 45. Resultado da multiplicação da modeladora e da portadora.

3.1.2.4 Simulação do circuito emissor.

Para criar um circuito emissor temos que juntar o circuito que implementa a nossa portadora ao circuito multiplicador/modulador, como ilustrado na Figura 46.

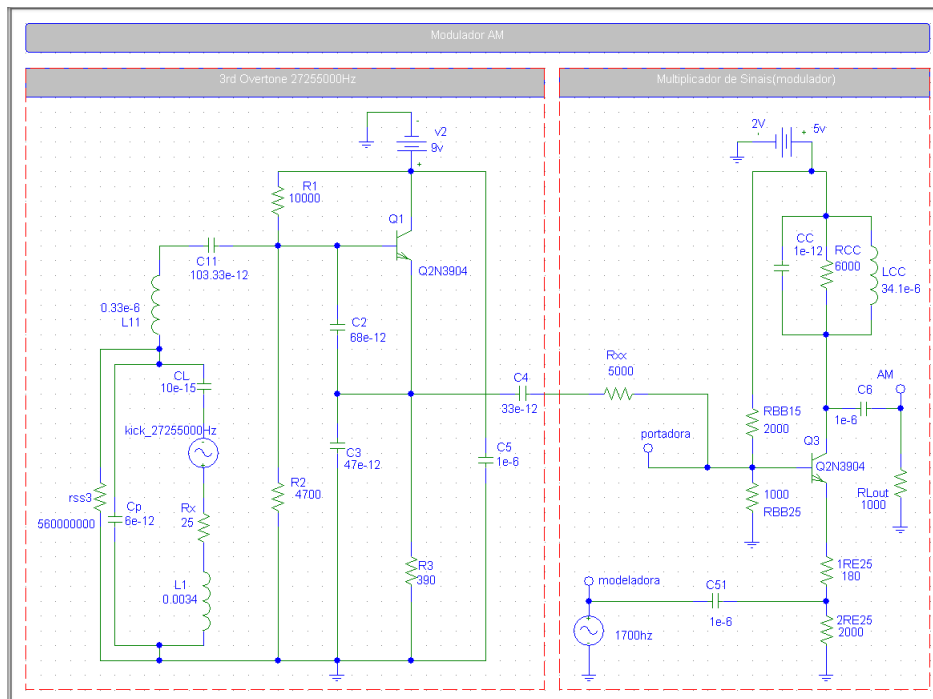


Figura 46. Circuito do 3rd overtone junto ao circuito modelador para gerar um sinal AM.

Podemos notar que existe uma resistência de 5000 Ω entre a portadora e o circuito multiplicador, com o propósito de atenuar a amplitude do sinal da portadora para garantir uma melhor eficiência da multiplicadora.

O resultado desta simulação será um sinal modulado AM, como podemos observar na Figura 47.

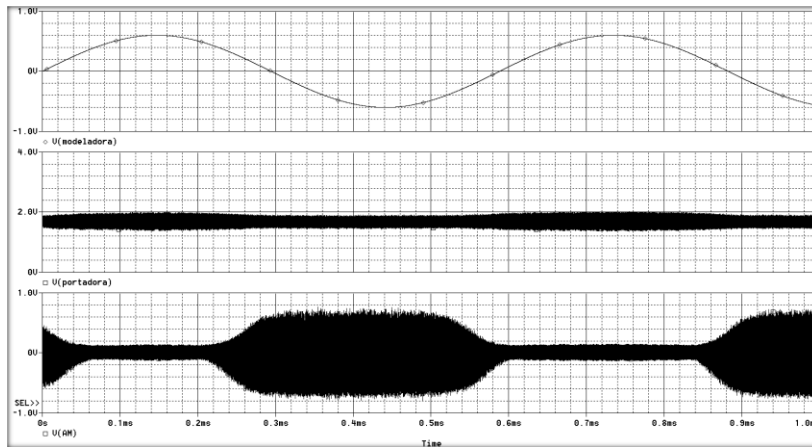


Figura 47. Resultado da multiplicação da modeladora e da portadora (*3rd overtone*).

3.1.3 Bancada de electrónica para desenvolvimento dos protótipos dos circuitos

Uma vez simulados com êxito os circuitos eléctricos passamos para o desenvolvimento dos protótipos em placa de desenvolvimento. Para o desenvolvimento dos circuitos (receptor e emissor) foi necessária uma bancada de electrónica que é composta por dois osciloscópios, um gerador de sinal, uma fonte de alimentação, um multímetro, várias placas de desenvolvimento e dispositivos eléctricos tais como: resistências, condensadores, bobines, diodos e transístores. Foi também utilizado um ferro de soldar para fixar os dispositivos à placa de desenvolvimento.

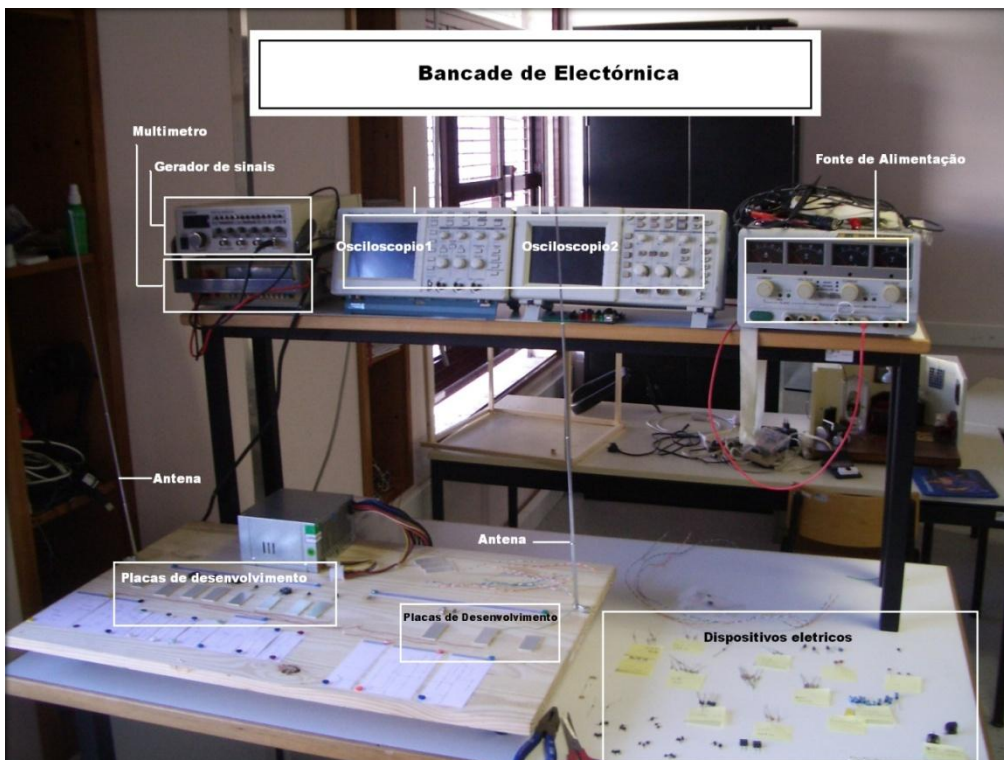


Figura 48. Bancada de electrónica para desenvolvimento de protótipos dos circuitos receptor e emissor.






A função que se pretende de um multímetro é que ele faça leituras de valores de resistência, diferenças de tensão e medições de passagem de corrente eléctrica. A função do gerador de sinal é de gerar sinais sinusoidais ou pulsos rectangulares a frequências desejadas com vista a efectuar diversas experiências, por exemplo a criação de um sinal na banda base. Dois osciloscópios para ver as formas dos sinais e o seu comportamento ao longo do desenvolvimento dos protótipos dos circuitos. A fonte de alimentação serve para alimentar os circuitos com corrente eléctrica. As placas de desenvolvimento são placas onde podemos juntar componentes eléctricos para construir circuitos, através do processo de soldadura. O processo de soldadura requer algum cuidado, o ferro de soldar encontra-se a 300 graus centígrados e é necessário ter cuidado para não danificar os componentes eléctricos e evitar sofrer queimaduras. Para estancar os componentes junto a placa de desenvolvimento foi utilizado estanho, neste processo houve libertação de gases devido à sua ebulição e libertação de vapores inorgânicos que quando inalados danificam o aparelho respiratório, assim sendo, foi utilizada uma máscara NORTH 5400 Full Face Mask de modo a proteger o aparelho respiratório e o aparelho visual. Acoplado à máscara foi utilizado um filtro AB2k2P3 de protecção contra gases orgânicos e inorgânicos, vapores de dióxido sulfúrico, amoníaco e partículas sólidas (fumo) e líquidas.



Figura 49. Material de protecção respiratória e visual

3.1.3.1 Protótipo do circuito do receptor

O circuito receptor vai receber o sinal AM da antena do telecomando e vai obter o sinal modulador em banda base. O protótipo do circuito receptor tem os seguintes componentes:

Nome do Componente	Valor	Foto do Componente	Descrição
Condensador CA	1nf		Colocado em contacto com o sinal de entrada
Resistência R	1kΩ		Pode ser um valor entre 0.5kΩ a 1kΩ
Diodo D1	1N60		0.25Volt
Potenciómetro RD	10KΩ		Potenciómetro Ajustável
Condensador CD	40pf		Parte do filtro RC



Diodo D2	Diodo Schottky		0.7Volt
Resistência Rout	10KΩ		Resistência de saída

Tabela 5: Componentes do protótipo do circuito receptor.

O resultado do processo de montagem dos componentes eléctricos na placa de desenvolvimento está ilustrado na Figura 50 abaixo.

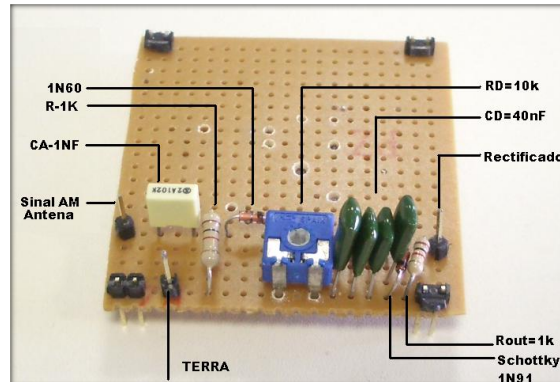


Figura 50. Protótipo do circuito receptor.

Para testar o circuito colocamos o sinal da antena à entrada e observamos o sinal à saída. O resultado é apresentado na Figura 51. Podemos observar que o sinal detectado tem uma amplitude de 0.7 Volt e apresenta um pouco de *ripple* por causa do filtro RC. O protótipo do receptor funciona como o desejado.

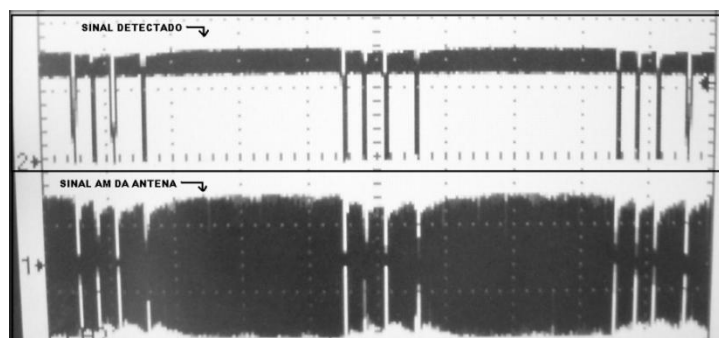


Figura 51. Leitura do osciloscópio (protótipo do circuito receptor) (Escala X- 5 ms, Y- 500 mV).

Se fizermos uma ampliação da Figura 51 verificamos que o filtro RC tem um intervalo de 200 us entre dois pulsos consecutivos (Figura 52).

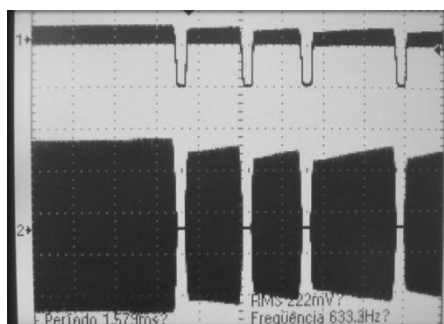


Figura 52. Ampliação da imagem do osciloscópio (protótipo do circuito receptor) (Escala X- 1ms, Y- 1 Volt).

O protótipo do receptor foi construído com êxito visto que faz a desmodulação do sinal AM.

3.1.3.2 Protótipo do circuito para testar a frequência fundamental do cristal

Para testar a frequência fundamental do cristal foi utilizado o mesmo circuito usado na simulação feita no PSPICE, apresentado aqui na Figura 28. O protótipo do circuito para testar a frequência fundamental do cristal tem os seguintes componentes:











Nome do Componente	Valor	Foto do Componente	Descrição												
XTAL	9085000Hz		Cristal de Quartzo												
Condensador CXtal	30pf		Condensador ajustável em serie com o XTAL												
Resistência RB1	64kΩ		-												
Resistência RB2	100kΩ		-												
Condensador C1	560pf		Condensador cerâmico												
Condensador C2	220pf		Condensador cerâmico												
Resistência Rc	54Ω		-												
Resistência Re1	10KΩ		-												
Resistência Re2	1KΩ		-												
BJT- BC547 Dois Transístores bipolares	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Type:</th> <th>Gain:</th> <th>Vbe</th> <th>Vce</th> <th>Current</th> <th>Case</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>BC547</td> <td>NPN</td> <td>70@100mA</td> <td>0.7v</td> <td>45v</td> <td>100mA</td> </tr> </tbody> </table>		Type:	Gain:	Vbe	Vce	Current	Case	BC547	NPN	70@100mA	0.7v	45v	100mA	
Type:	Gain:	Vbe	Vce	Current	Case										
BC547	NPN	70@100mA	0.7v	45v	100mA										

Tabela 5: Componentes do protótipo do circuito para testar a frequência fundamental do cristal.

O condensador Cxtal é ajustável, varia entre 10 pF a 60 pF, basta variá-lo para estabilizar a frequência fundamental do cristal. O resultado está apresentado na Figura 53.

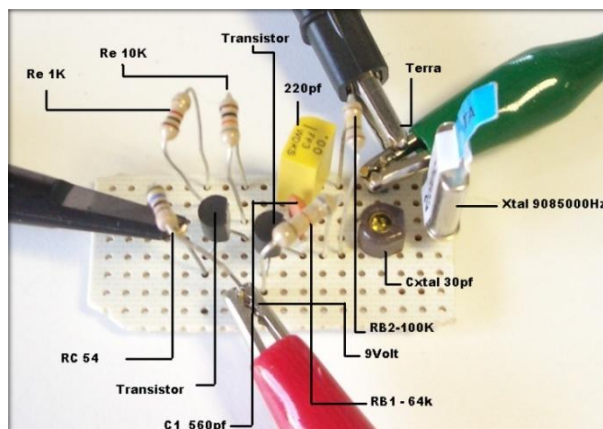


Figura 53. Protótipo do circuito para testar a frequência fundamental do cristal de quartzo

Na Figura 54 observa-se o resultado desta experiência, onde se comprova que a configuração de *Colpitts* com *Darlington stage* faz o cristal oscilar à frequência fundamental.

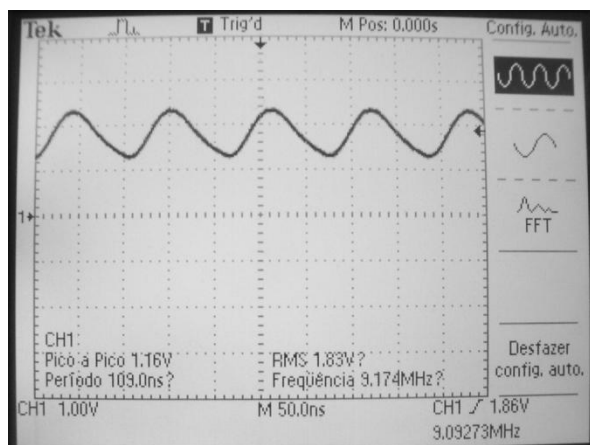



Figura 54. Imagem do osciloscópio (protótipo do circuito para testar a frequência fundamental do cristal).

Podemos observar que a frequência do sinal 9.092373 MHz é aproximadamente igual à frequência fundamental de 9.085MHz. A diferença dos valores de frequências deve-se ao facto de não ter utilizado os valores dos condensadores C1 e C2 exactamente iguais aos valores tabelados, devido às limitações dos condensadores disponíveis. Não sendo esta diferença significativa.

3.1.3.3 Protótipo do circuito da que implementa a portadora.

O protótipo do circuito para testar a frequência da portadora requerer os elementos abaixo tabelados:

Nome do Componente	Valor	Foto do Componente	Descrição
XTAL	9085000Hz		Cristal de Quartzo












Condensador C11	100pf				Condensador cerâmico												
Resistência Rxtal	10kΩ				Potenciômetro ajustável												
Bobine L11	0.34uH				-												
Condensador C1	68pf				Condensador cerâmico												
Condensador C2	47pf				Condensador cerâmico												
Condensador Cin	1uf				-												
Condensador Cout	33pf				Condensador cerâmico												
Resistência RB2	4k7Ω				-												
Resistência RB1	10KΩ				-												
Resistência R3	390Ω				$R3 \times C2 = 0.5/F$												
BJT- BC547 Transistores bipolares	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Type:</th> <th>Gain:</th> <th>Vbe</th> <th>Vce</th> <th>Current</th> <th>Case</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>BC547</td> <td>NPN</td> <td>70@100mA</td> <td>0.7v</td> <td>45v</td> <td>100mA</td> </tr> </tbody> </table>				Type:	Gain:	Vbe	Vce	Current	Case	BC547	NPN	70@100mA	0.7v	45v	100mA	
Type:	Gain:	Vbe	Vce	Current	Case												
BC547	NPN	70@100mA	0.7v	45v	100mA												

Tabela 6: O protótipo do circuito para testar a frequência do *3rd overtone* do cristal

Podemos encontrar o circuito que implementa a portadora na Figura 55, que fará o cristal oscilar à frequência forçada.

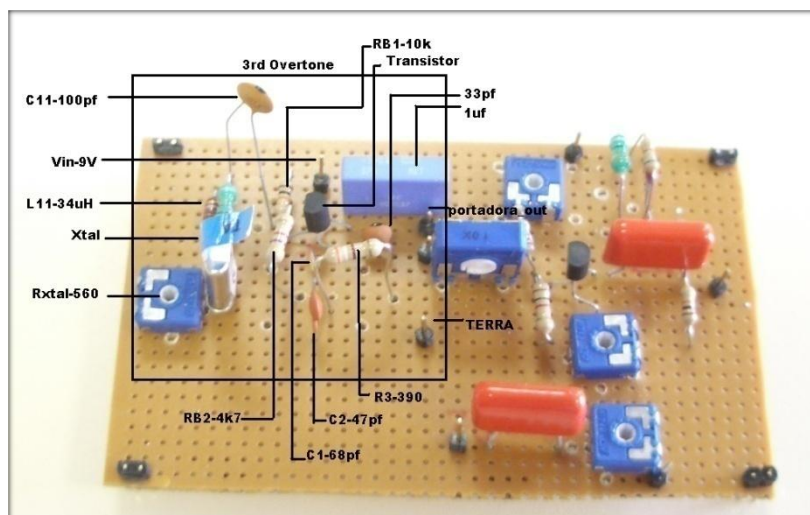


Figura 55. Protótipo do circuito para testar a frequência da portadora.

O resultado é uma leitura no osciloscópio de 27.2549 Mhz (Figura 56), uma diferença de 100Hz do esperado de 27.255 Mhz, o que é um bom resultado para o sinal portador.

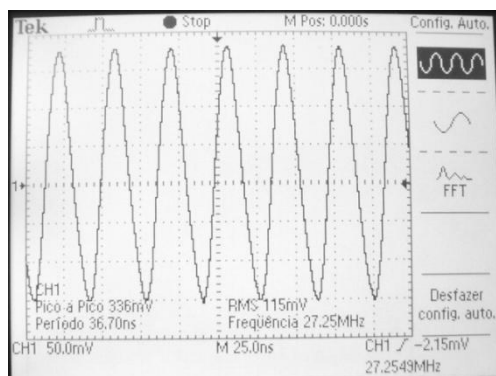












Figura 56. Imagem do osciloscópio (protótipo do circuito para testar do 3rd overtone do cristal).

Nesta experiência é notou-se que a configuração do circuito tinha uma oscilação mais estável quando a fonte de alimentação estava colocada a 9 Volt do que quando colocada a 5 Volt. Por isso, para garantir uma maior eficiência de oscilação, o circuito da portadora deverá ser alimentado a 9 Volt.

3.1.3.4 Protótipo do circuito emissor

O emissor resulta da multiplicação do sinal da portadora com o sinal do receptor, obtendo-se sinal AM a 27.255MHz, implementado pelo circuito da Figura 57. O protótipo do circuito emissor, tem os seguintes componentes:

Nome do Componente	Valor	Foto do Componente	Descrição
Resistência Rin	10kΩ		Potenciômetro ajustável
Resistência RB1	10kΩ		Potenciômetro ajustável
Resistência RB2	4k7Ω		-
Resistência RE1	10kΩ		Potenciômetro ajustável
Resistência RE2	10kΩ		Potenciômetro ajustável
Condensador Cout	1uf		-
Condensador Cm	1uf		-
Resistência RC	10KΩ		Substituir por potenciômetro
Bobine L	34uH		-
Condensador C	1pf		Condensador cerâmico




Resistência Rout	10k Ω						-	
BJT- BC547 Transístores bipolare	Type:	Gain:	Vbe	Vce	Current	Case		
	BC547	NPN	70@100mA	0.7v	45v	100mA		

Tabela 7: O protótipo do circuito emissor.

O circuito emissor, é composto pelo circuito que implementa a portadora e o circuito multiplicador, tal como ilustrado na Figura 57.

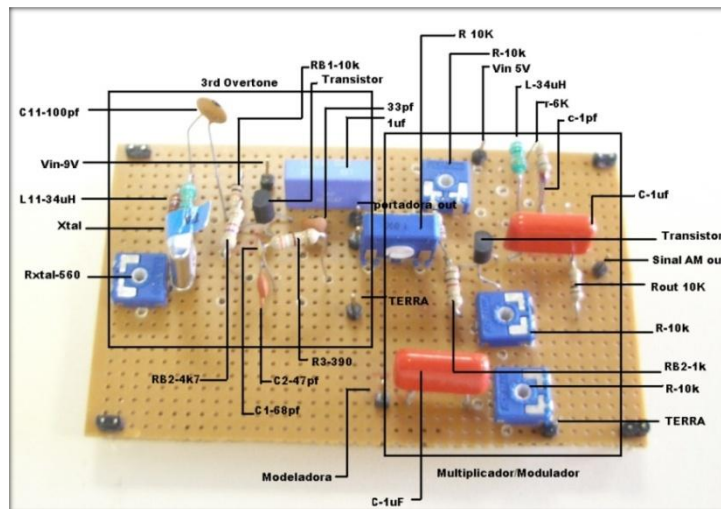


Figura 57. Protótipo do circuito emissor.

Para testar o circuito faz-se de modelação o sinal do telecomando através do protótipo do circuito receptor e de seguida injecta-se esse sinal na entrada do multiplicador, Figura 58. O circuito multiplicador irá multiplicar o sinal da portadora a 27.255MHz com o sinal da moduladora, criando o sinal AM que vai controlar o veículo.

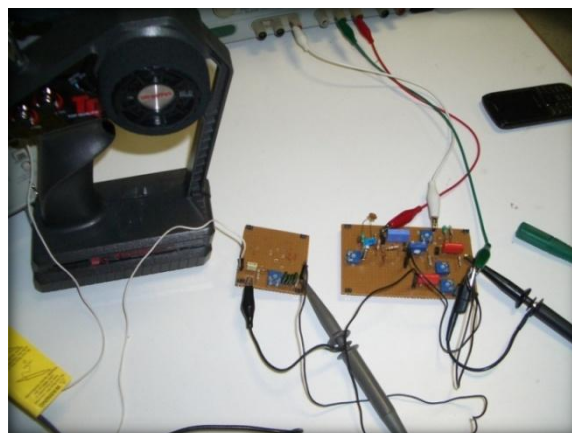


Figura 58. Protótipo do circuito emissor em funcionamento.

Esta última experiência colocou o protótipo do receptor a de modular o sinal do telecomando a 26.955 MHz passando-o para o multiplicador que fez a multiplicação deste com a portadora de 27.255 MHz. O resultado foi um sinal AM propagado pela atmosfera a 27.255 MHz que foi captado pelo receptor do veículo a 27.255 MHz, estabelecendo assim o canal de comunicação pretendido.

A Figura 59 mostra o sinal detectado e o sinal a enviar para o veículo criados pelos nossos protótipos receptor e emissor, respectivamente.

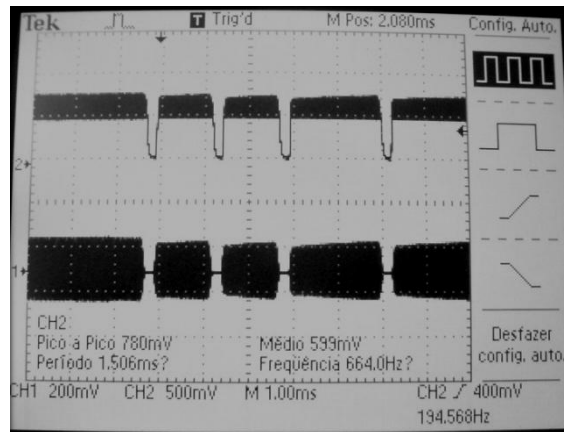


Figura 59. Imagem do osciloscópio dos protótipos do circuito emissor e receptor.

3.1.3.5 Conclusão sobre a solução sem fios

O trabalho desenvolvido acima, proporciona uma ligação de rádio frequência entre o telecomando e o protótipo do receptor e outro *link* de rádio frequência entre o protótipo do emissor e o receptor do veículo.

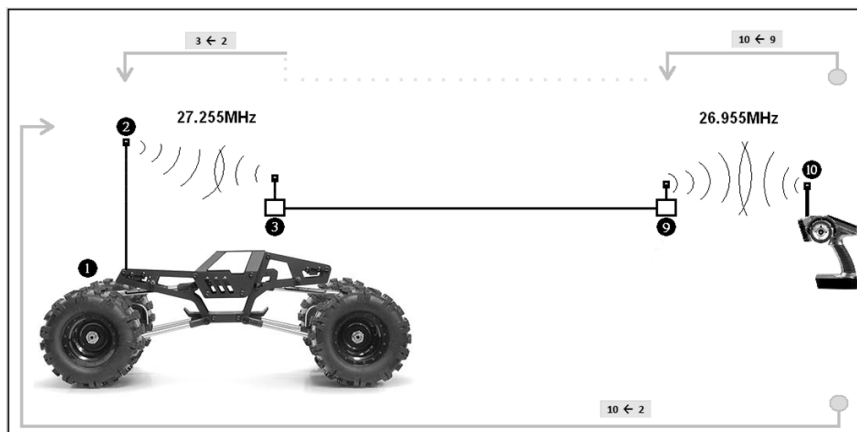


Figura 60. Modelo parcial de comunicação do veículo telecomandado.

Esta solução tem a vantagem de ser *wireless*, mas traz consigo algumas desvantagens, nomeadamente:

- Comunicação susceptível a interferências de rádio frequência.

- O sinal enviado do comando tem um período de 20 ms, o que limita o número de pulso por período, limitando assim o número de comandos que podemos enviar directamente do comando para o veículo.

O passo seguinte consiste na ligação entre o circuito receptor e o Arduino para estabelecer uma comunicação “wireless” entre eles.



Figura 61. Ligação sem fios entre o comando e o micro controlador

O objectivo do micro controlador (Arduino) é medir os tempos entre pulsos que o circuito receptor esta a receber do comando, para isto colocamos a saída do circuito receptor numa porta analógica do Arduino e cronometramos o tempo em que o sinal passa de zero para um valor diferente de zero e paramos de contar quando ele passa de novo para o zero. Esta leitura dá-nos o tempo de um pulso que corresponde a um dos comandos do telecomando.

O resultado desta medição não correu como esperado, porque o Arduino executa uma rotina interna na qual o processador fica ocupado durante 0,128ms. Esta rotina interna é repetitiva, mas com um período variável, podendo executar-se durante a cronometragem do tempo do pulso, podendo fazer com que esta seja inflacionada em 0.128ms. Este erro na medição poderá resultar num erro de 15 graus no movimento dos servo motores relativamente ao comando, o que poderá ter influência na direcção e na aceleração, podendo ter um resultado catastrófico.

Nesta fase existem pelo menos duas alternativas a explorar:

- Utilizar outro micro controlador capaz de conseguir cronometrar um sinal analógico sem interrupções. Tendo em conta que não nos livramos da limitação do numero de comandos que podemos enviar em 20ms e as interferências por rádio frequência.
- Optar por uma solução com fios que tem a vantagem de não sofrer de interferência de rádio frequência e não teríamos uma limitação do número de comandos que quiséssemos enviar e sobretudo pode ser implementado com o micro controlador (Arduino).

3.2 Implementação B: ligação com fios.

A alternativa à ligação sem fios entre os dispositivos é a ligação com fios, ilustrado na Figura 62. Esta solução é mais simples do que a solução anterior porque não é necessária a construção de circuitos eléctricos (receptor e emissor) porque o sinal é adquirido directamente da fonte através da ligação física com fios.



Figura 62. Ligação com fios entre dispositivos.

3.2.1 Ligação entre o telecomando e o micro controlador

Neste ponto é descrito como é efectuada a aquisição dos sinais do telecomando para passá-los para o computador do cliente (Figura 63). O telecomando é composto internamente por quatro potenciómetros que controlam a amplitude dos sinais que representam à direcção, à aceleração, o ajuste da direcção e o ajuste da aceleração.

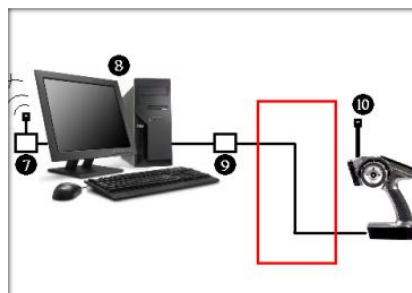


Figura 63. Ligação entre o comando e o micro controlador

Como se pretende controlar a câmara do carro remotamente, introduzimos mais dois potenciómetros para o controlo da câmara e mais dois para a deslocação no menu do GUI do utilizador.

Na Figura 64 esta representado o esquema das ligações lógicas entre os potenciómetros e o micro controlador, onde cada potenciómetro tem uma ligação a terra, aos 5v e à respectiva porta analógica no micro controlador.

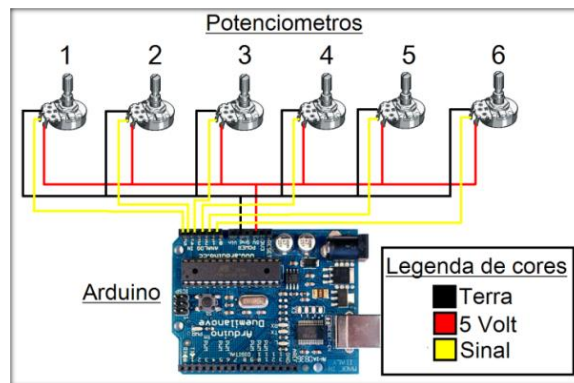


Figura 64. Ligação entre os potenciômetros do comando e o micro controlador.

Uma vez localizados os potenciômetros no telecomando os seus sinais são adquiridos fisicamente por meio de fios (Figura 65).



Figura 65. Aquisição do sinal dos potenciômetros no telecomando.

Durante este processo foram instalados quatro novos potenciômetros dentro do telecomando, cada um com o seu respectivo botão associado do lado de fora da caixa (Figura 66).



Figura 66. Adição de novos potenciômetros no telecomando.

Este telecomando remodelado funciona com o micro controlador e para integra-los numa peça única, foi construído uma base em alumínio com cobertura de esponja e borracha para acolchoar e isolar os dispositivos (Figura 67).

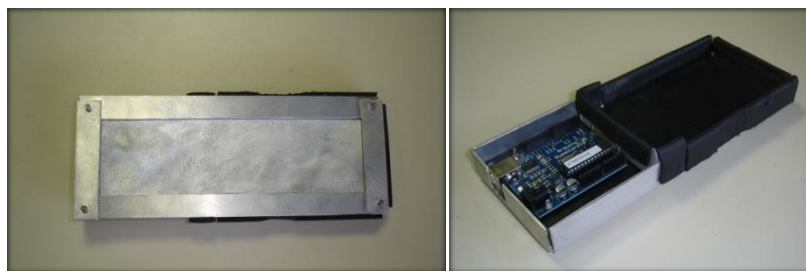


Figura 67. Plataforma em alumínio para alojar o micro controlador e o telecomando.

O micro controlador foi aparafusado a borracha da base em alumínio e o comando preso por uma fita, passando assim a constituir um único objecto ilustrado na Figura 68. Nesta configuração os sinais do telecomando estão prontos a serem transmitidos para o computador do cliente via ligação USB do micro controlador.

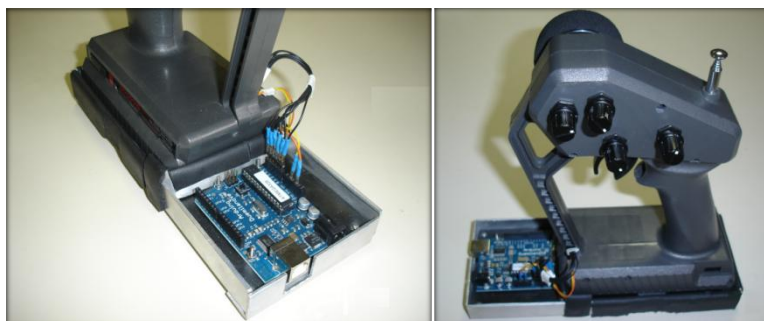


Figura 68. Telecomando remodelado e alterado.

3.2.2 Ligação entre os motores do veículo e o micro controlador.

Neste ponto é descrita a ligação entre o micro controlador e os motores do veículo (Figura 69). O telecomando internamente é composto por quatro potenciómetros que representam à direcção, à aceleração, o ajuste da direcção e o ajuste da aceleração.

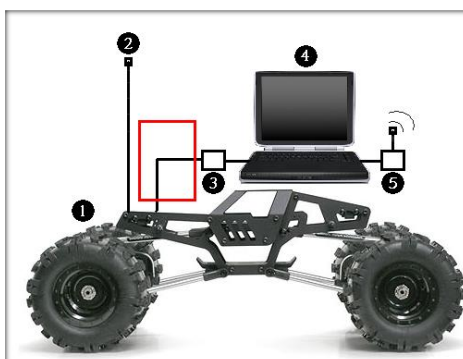


Figura 69. Ligação entre os motores do veículo e o micro controlador.

O carro dispõe de dois servo motores ligados à direcção e um *electronic speed controller EVX2* que controla os dois motores DC. Adicionalmente foi acrescentado ao carro um Hitec Mega Servo e

2 Cirrus micro servos de 9 gramas. O controlo dos servos é feito por um controlador de servos (pololu micro servo controller) ligado ao micro controlador de uma porta série ilustrado na Figura 70.

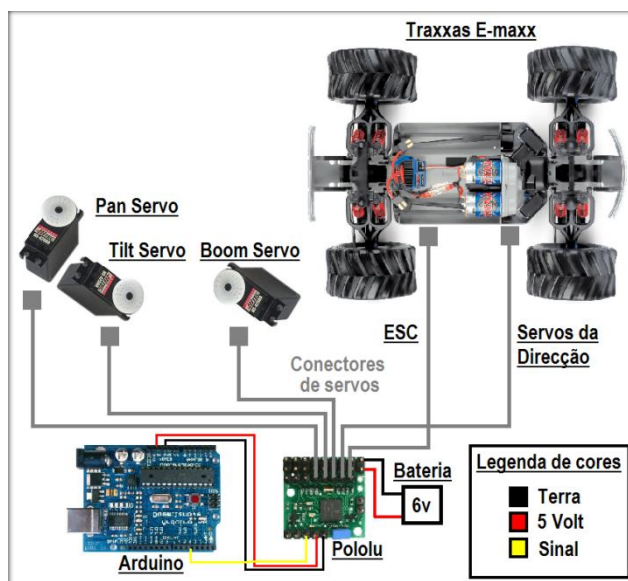


Figura 70. Ligação entre o micro controlador e o controlador de servos e os respectivos motores

No carro, o micro controlador desempenha as seguintes tarefas: ligar e desligar os leds, reencaminhar os dados para do controlador de bordo e passa-los para o Pololu Micro Servo Controller.

Os leds no carro estão ligados em seis grupos, o primeiro grupo são seis leds azuis que servem para iluminar a parte de baixo do carro. O segundo grupo é composto por quatro leds brancos que funcionam como faróis em frente do carro. O terceiro grupo é composto por os dois leds vermelhos que estão posicionados na parte traseira do carro. O quarto grupo é composto por leds que estão colocados em cima do carro que servem para iluminar a parte de cima do chassis. O quinto grupo de leds são leds brancos que servem para iluminar o braço mecânico e o ultimo grupo é composto por doze leds (quatro vermelhos, quatro verdes e quatro azuis) que estão colocados no interior das rodas do carro e que vão alternando de cor (RGB).

Cada conjunto de leds está ligado ao colector de um transístor e ao pólo positivo da bateria de 3.6 Volt, o emissor do transístor está ligado a terra e a base do transístor está ligado a saída digital do micro controlador. Quando se pretende ligar um determinado conjunto de leds basta colocar a saída digital do micro controlador a HIGH para que o transístor ente em saturação e o respectivo conjunto de leds ligados a esse transístor acendem, para que a corrente flua do pólo positivo da bateria para os leds e de volta para o pólo negativo bateria, acendendo assim os leds. O esquema das ligações entre os conjuntos de leds e o micro-controlado pode ser visto na Figura 71.

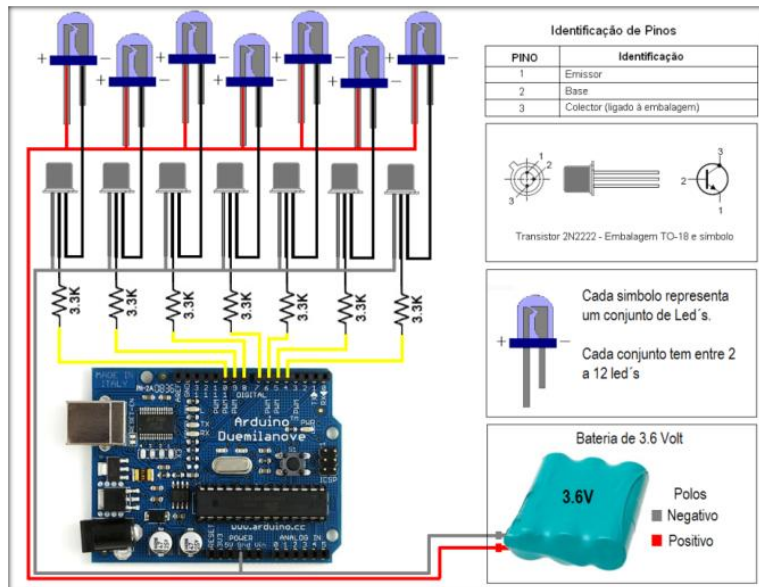


Figura 71. Transistor switched Leds

3.3 Ligação entre componentes no veículo

As ligações entre todos os componentes no carro, apresentadas nos pontos anteriores, podem ser consultadas a Figura 72. Nesta figura está visível a ligação entre diferentes componentes que formam o sistema.

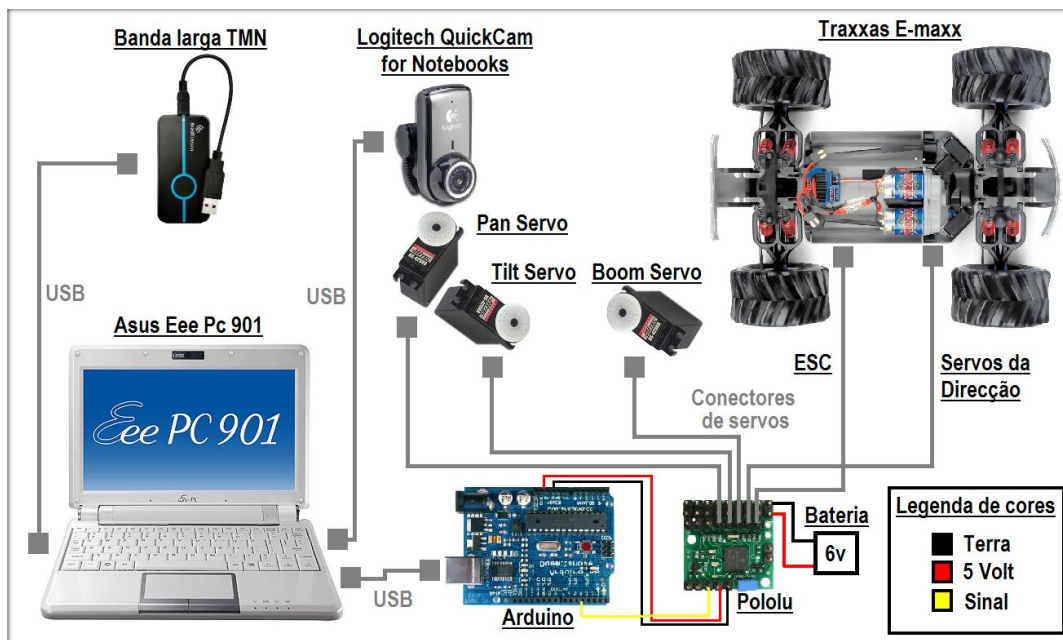


Figura 72. Ligação entre componentes no veículo.

4. Remodelação da estrutura do E-Maxx

4.1 Modelo adoptado

Inspirado no desenho de Rykunov e no protótipo da Mazda Nagare Concept (Figura 73), o primeiro modelo (Figura 74) realça as curvaturas que são características marcantes de ambos os modelos. Este design não tem só em vista o aspecto mas também os conceitos de construção para acomodar e proteger um computador de bordo e outros componentes electrónicos no E-Maxx.



Figura 73. Desenho por Rykunov, à esquerda, e o protótipo da Mazda Nagara Concept, à direita.

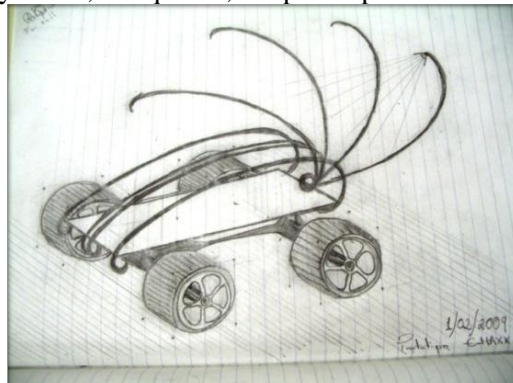


Figura 74. Primeiro desenho do protótipo.

De modo a termos duas perspectivas diferentes na condução remota, ilustradas na Figura 75, foi adaptado um braço mecânico que permite à câmara ficar tanto à frente como atrás do veículo. A Figura 74, mostra este braço em várias posições.



Figura 75. Perspectiva na primeira pessoa e perspectiva na terceira pessoa.

4.2 Modelo em 3D

O desenho assistido por computador (CAD) utilizado tanto em engenharia como em design serve para auxiliar a criação de projectos e desenhos técnicos. Estes ambientes fornecem ferramentas para a construção de entidades geométricas planas ou objectos tridimensionais. O design do modelo tridimensional do novo E-Maxx (Figura 76) foi criado utilizando o GTKRadiant (25) que é um editor para desenho de ambientes tridimensionais, para jogos como por exemplo o Quake e o Doom.

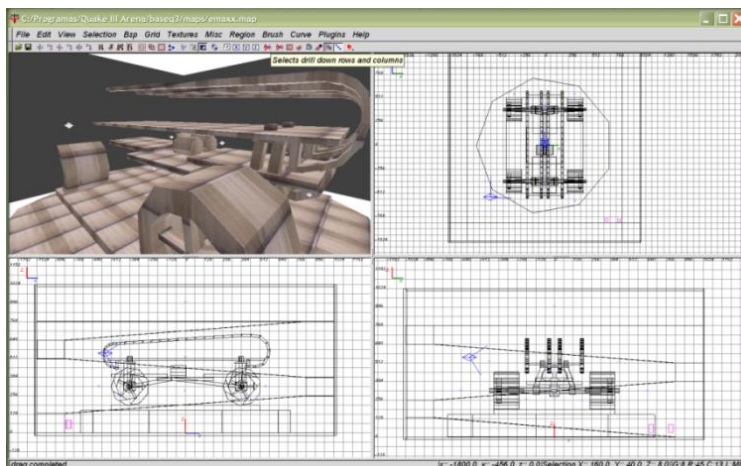


Figura 76. GUI da Plataforma de desenvolvimento do GTK Radiant

O GTKRadiant permite, após o desenho do modelo do E-maxx, visualizá-lo num espaço tridimensional no jogo Quake 3 Arena. Este mundo a três dimensões (Figura 77) tem o potencial de permitir visualizar várias perspectivas do veículo, contribuindo assim para o melhoramento do seu design.

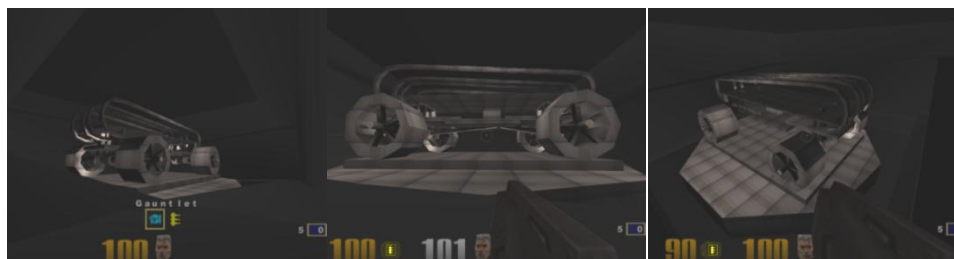


Figura 77. Modelo a tridimensional do E-Maxx correndo no Quake 3 Arena.

4.3 Modelos em cartão

Após a concepção do modelo virtual a três dimensões, teve início a fase de testes em modelos físicos. O primeiro modelo físico foi concebido à escala 1:1 utilizando cartão e arame (Figura 78) e é composto por duas vigas laterais protectoras e uma viga central que representa o braço mecânico recolhido. A base possui quatro pequenas aberturas que encaixam no chassis do E-Maxx e uma maior no centro onde se situam os motores.



Figura 78: Primeiro protótipo do veículo em cartão e arame.

A partir do primeiro modelo foi concebido um segundo modelo físico bi-dimensional inteiramente em cartão (Figura 79), mais próximo no desenho do protótipo em alumínio a construir.



Figura 79: Segundo protótipo do veículo em cartão à escala real.

4.4 Protótipo em alumínio

O protótipo em alumínio foi desenhado utilizando a aplicação CorelDraw Grafics Suite X4 que permite fazer desenho vectorial bidimensional, seguindo o modelo em cartão já referido. Os gráficos vectoriais são determinados matematicamente, podendo assim serem redimensionados para qualquer escala e com a qualidade igual à do original. Após a elaboração do desenho utilizando o CorelDraw (Figura 80), este é exportado para um ficheiro com extensão CAD, adequado para ser processado por uma máquina de corte CNC (*computed cumerically controlled*) que utiliza tochas de plasma, rápidas e eficientes para o corte de chapas. A utilização desta máquina possibilita a produção de peças com maior precisão em relação ao corte manual, especialmente quando associado a programas de CAD.



Figura 80. Protótipo desenhado no Corel Draw e o resultado final após o processamento da chapa pela máquina CNC.

Para este protótipo, foi submetida a corte uma chapa de alumínio (1200x600x3mm) que depois de processada deu resultado às peças ilustradas na Figura 81.

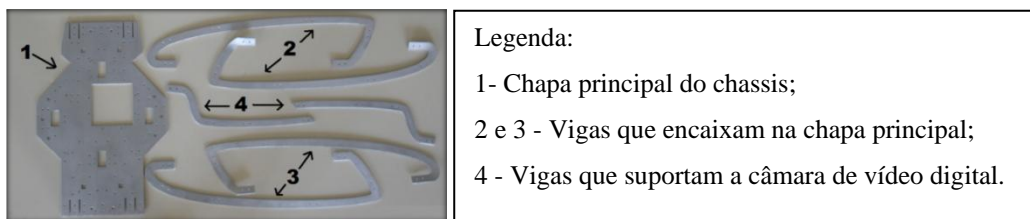


Figura 81. Peças em alumínio resultantes do corte e sua legenda.

A chapa principal do chassis apresenta várias ranhuras e orifícios ao longo da sua superfície de modo a embeber outros componentes, as suas características podem ser consultadas abaixo (Figura 82).

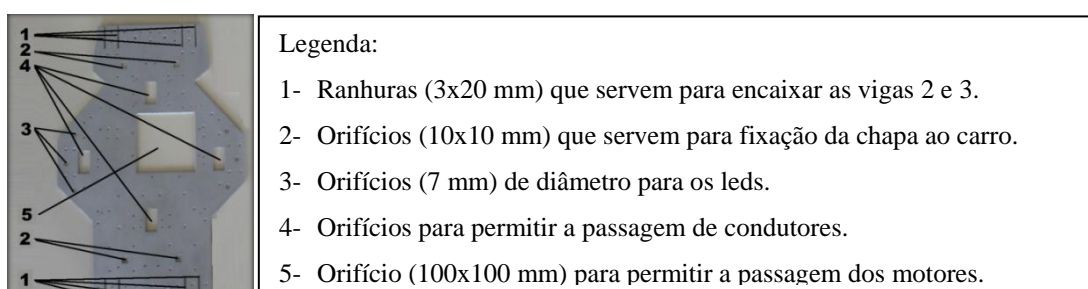


Figura 82. Detalhes sobre a estrutura da chapa de alumínio.

Foram ainda produzidas pequenas peças em alumínio indispensáveis ao suporte do material electrónico, motores e outros (Figura 83), e todos os elementos em alumínio foram tratados com verniz de modo a realçar a cor e proteger da oxidação.

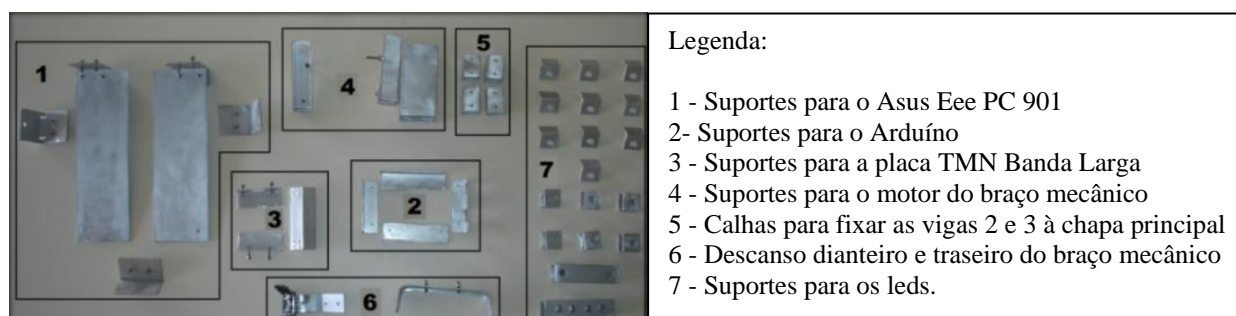


Figura 83. Peças em alumínio para o suporte de diversos componentes e suas características.

Seguidamente à secagem do material, efectuou-se a montagem do chassis: inicialmente, colocou-se a chapa em cima do E-Maxx (Figura 84) e seguidamente os suportes para o micro controlador e computador de bordo (Figura 85).

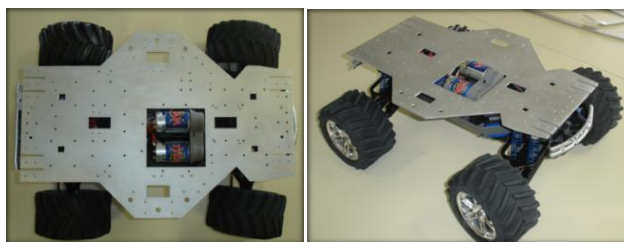


Figura 84. Colocação da chapa em cima do E-Maxx.



Figura 85. Montagem de suportes para o micro controlador e computador de bordo.

Foram montadas ainda as peças de suporte para a placa Banda Larga móvel (Figura 86). Os suportes de alumínio foram revestidos com adesivo de modo a acolchoar e amortecer o contacto entre estes e os componentes electrónicos. Por último, procedeu-se à montagem das vigas (Figura 87).



Figura 86. Montagem de suportes para a Banda Larga móvel.



Figura 87. Vigas de protecção, vista da parte superior e da parte inferior.

O desafio mecânico mais interessante foi a colocação do braço mecânico porque é uma estrutura móvel que vai estar sujeita a várias perturbações quando o veículo estiver em andamento. O braço mecânico é apoiado num eixo ligado ao motor para ser mais estável e impedir que o servo motor ligado ao braço sofra tensões desnecessárias. A robustez do braço contribui também para a estabilidade da imagem capturada pela Web câmara situada na extremidade do braço. A utilização

de um prolongamento de eixo apoiado para o motor é uma solução clássica nestas situações. Para esse efeito foram utilizados apoios de eixo em forma de parafusos com rolamentos internos ilustrados na Figura 88.

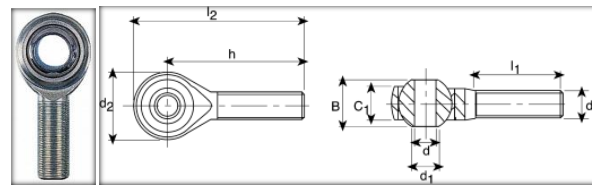


Figura 88. Parafuso com suporte para eixo movel cilindrico de 8mm.

A Figura 89 ilustra o sistema com o motor ligado a um prolongamento de eixo de plástico feito num torno, que passa no meio dos dois parafusos fixos no chassis. O braço mecânico por sua vez está ligado no centro do prolongamento do eixo entre os dois parafusos.

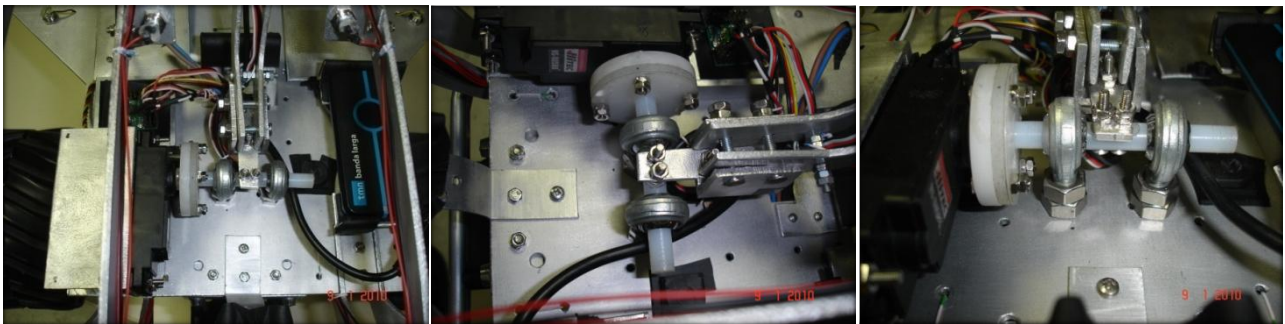


Figura 89. Prolongamento apoiado do eixo do motor.

Nesta configuração o motor pode rodar para a frente e para traz com o mínimo de atrito por causa dos rolamentos que apoiam o eixo móvel. As vibrações sofridas pelo braço mecânico serão assim minimizadas quando transmitidas para o motor, prolongando deste modo o tempo de vida do motor e das suas rodas dentadas internas. O braço mecânico tem um descanso fixo no chassis de modo a garantir a sua estabilidade quando o carro estiver em movimento.

O mecanismo Pan/Tilt referido anteriormente no capítulo 2, ilustrado na Figura 90 é composto por duas calhas de alumínio que servem para alojar os servo motores.



Figura 90. Suportes de motores e a respectiva câmara.

Para terminar a montagem da estrutura falta apenas encaixar os leds e os respectivos suportes (Figura 91) na chapa de alumínio.



Figura 91. LEDs e os respectivos suportes

Os leds estão posicionados da seguinte forma: seis leds azuis por baixo da chapa principal do chassis, seis leds azuis nas vigas protectoras, quatro leds brancos nos faróis da frente, dois leds vermelhos na parte de traz do carro, dois leds brancos no braço mecânico e três leds RGB em cada uma das quatro rodas do carro. O conjunto das fotos da Figuras 92 ilustra o efeito criado com os leds acesos.



Figuras 92. Modelo do carro acabado com as luzes acesas.

A montagem da estrutura foi feita com a intenção de construir um sistema robusto e para isso foram utilizadas duas porcas em todos os parafusos para resistir ao efeito da vibração quando o veículo se deslocar. Os leds no carro não têm propósito decorativo, serão sim úteis para condução nocturna. A Figura 93 mostra o efeito das luzes do carro num ambiente mais escuro.



Figura 93. Efeito das luzes do carro num ambiente escuro.

5. Telerobótica via Internet

5.1 O modelo cliente servidor.

Os comandos de controlo do carro poderão ser enviados via Internet, se o carro e o dispositivo de controlo estiverem ambos ligados a internet. A arquitectura cliente-servidor é um modelo computacional onde os clientes e servidores são interligados entre si através de uma rede de computadores. Deste modo entre clientes e servidores podem ser transferidos pacotes de dados.

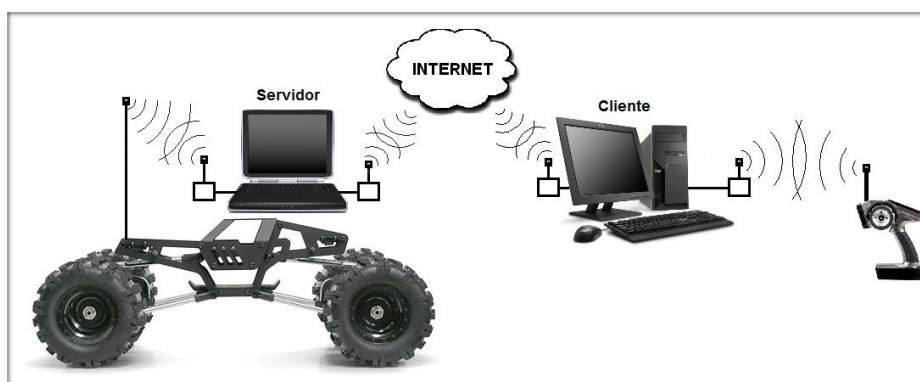


Figura 94. O modelo cliente servidor.

Cada instância de um cliente pode enviar requisições de dados para algum dos servidores a que está conectado e esperar pela resposta. Por sua vez, algum dos servidores disponíveis pode aceitar tais requisições, processá-las e retornar o resultado para o cliente.

Os protocolos da camada de transporte do modelo OSI (26) disponibilizam serviços para transferência de dados entre dois nós da rede. A comunicação entre a aplicação cliente e a aplicação servidora poderá ser estabelecida, ao nível da camada de transporte, através dos protocolos TCP ou UDP. O protocolo TCP implementa um método de controlo de fluxo que garante a entrega dos pacotes no destino. Já o protocolo UDP não garante a entrega dos pacotes no destino, por exemplo se ocorrerem colisões. Não existindo controlo de fluxo, e reenvio de pacotes perdidos, a velocidade de transmissão é superior ao TCP, mas dados sensíveis não podem ser transmitidos, sobre o risco de serem perdidos.

5.2 O cliente e o *Graphical User Interface*

Neste projecto o utilizador comanda o veículo através de um aplicativo cliente, que se liga ao servidor no veículo. A interacção entre o utilizador e este aplicativo é efectuada através de um interface gráfico ou *graphical user interface* (GUI), composto por três janelas (Figura 95). Na

secção inferior do GUI é apresentado o estado actual dos potenciómetros do telecomando. Na secção direita é apresentado um menu com opções para activar o movimento do braço mecânico mudando de perspectiva da câmara, acender e apagar os leds. A janela no topo da figura apresenta o *stream* de *live video* que a webcam do veículo está a capturar. A janela imediatamente abaixo apresenta dados estatísticos sobre a largura de banda que está a ser utilizada por parte do cliente e que é um espelho da largura de banda que o servidor está a utilizar.

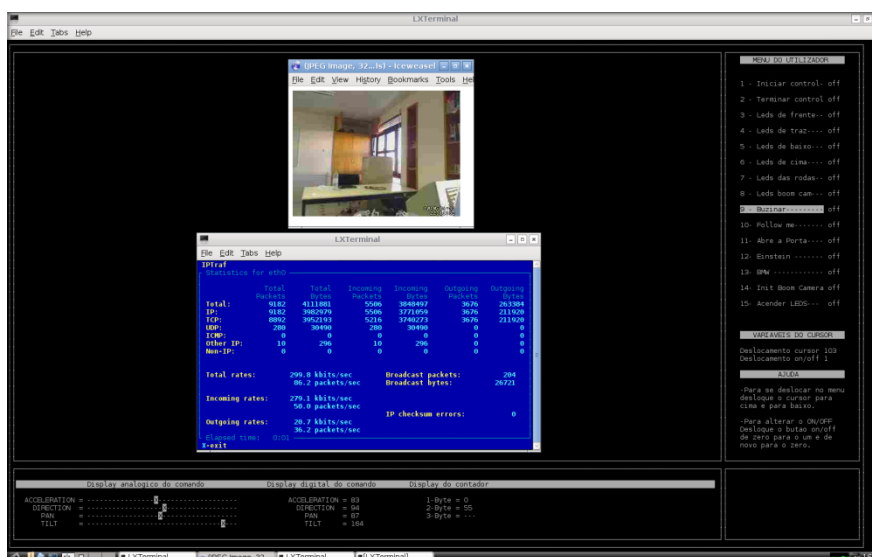


Figura 95. Janelas do Graphical User Interface do cliente.

A base em modo de texto do *Graphical User Interface (GUI)* do cliente foi desenvolvida utilizando a biblioteca ncurses, que inclui o menu e o estado dos potenciómetros. Sobre esta base são sobrepostas outras janelas com vídeo e informação sobre a ligação à *internet*.

A janela de *stream* de *live video* consiste simplesmente num *web browser* que monitoriza o URL do servidor (Figura 96).



Figura 96. Janela de *stream* de *live video*

A janela com estatísticas do *interface* de rede monitoriza os dados recebidos e enviados pelo cliente. No exemplo da figura podemos observar que os comandos que o cliente envia para o servidor têm

uma taxa de débito na ordem dos 20 Kbits/sec. O *stream* de vídeo por outro lado tem um débito de 299.8kbits/sec.

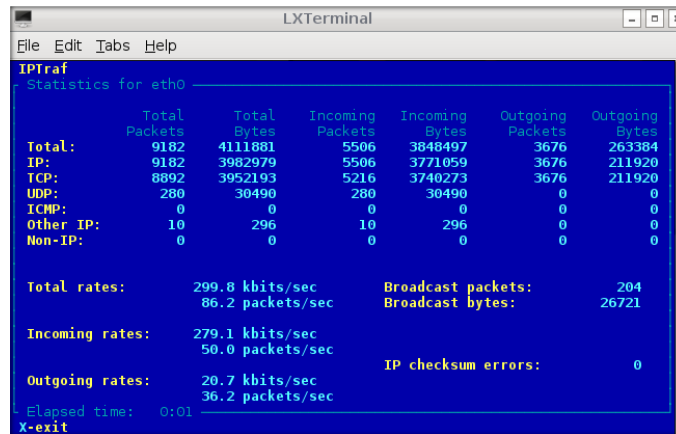


Figura 97. Janela que apresenta estatísticas da ligação de rede.

O GUI tem ainda um menu do lado direito que pode ser navegado com a variação do potenciómetro do telecomando. As opções do menu podem ser alteradas se o utilizador variar o potenciómetro *trigger* do telecomando, activando ou desactivando assim o item seleccionado. O menu é composto pelas seguintes opções:



Opção 1. Iniciar controlo: Inicializa a troca de dados entre o computador de bordo e o Arduino, servindo assim como um interruptor.

Opção 2. Terminar controlo: Termina o controlo remoto entre o cliente e o servidor, desligando o cliente do servidor.

Opção 3. - 8. Controla o estado de um conjunto de LEDS do carro (ON/OFF).

Opção 9. - 13. Activar a leitura de sons e frases pré gravadas no computador de bordo do veículo, tais como: buzina, “Please open the door”, etc.

Opção 14. Acende ou apaga todos os leds do carro.

A deslocação no menu é feita através da variação do potenciómetro no comando, cada item do menu corresponde a um intervalo de 12 graus do potenciómetro. A mudança de estado de cada item é feita a partir de um segundo potenciómetro. Para alterar o estado de ON para OFF, o segundo potenciómetro tem de deslocar de 45° para 135° e de volta ao 45°, fazendo assim a mudança de estado de ON para OFF.

No painel inferior do GUI é apresentado a posição angular dos potenciómetros responsáveis pela aceleração, direcção e movimentos Pan e tilt da camera. Neste *display* estão representados também os dois últimos dígitos do contador de 3 dígitos descrito no ponto seguinte.

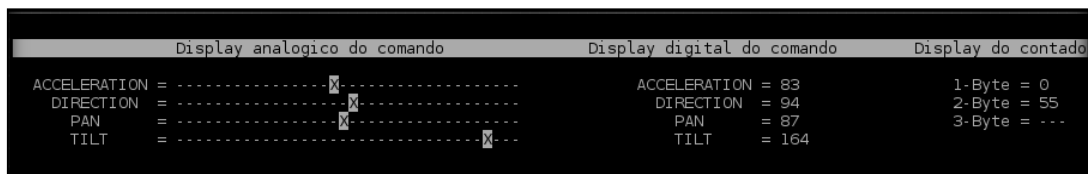


Figura 98. Painel inferior do GUI.

5.3 Fluxo de dados entre cliente e servidor

A ligação entre o cliente e o servidor, através de BSD *sockets*, permite a transferência de dados nos dois sentidos. Os dados transferidos entre o controlador e o carro estão divididos em dois grupos: os dados relativos ao comando do veículo (dados de controlo) e os dados que o veículo envia de volta para o cliente (*streams* de vídeo e áudio).

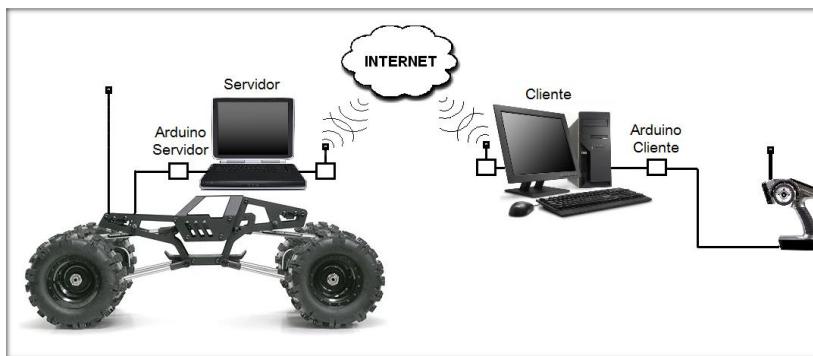


Figura 99. O fluxo de dados entre o cliente e o servidor

No comando os dados são representados por tensões eléctricas que variam consoante a posição dos botões (potenciómetros). Estas tensões eléctricas analógicas são convertidas para valores digitais, pelo micro controlador Arduino. Este micro controlador possui portas para receber sinais analógicos que são convertidos para valores digitais inteiros com 10 bits de resolução. Após digitalizados estes inteiros são reajustados para uma gama de variação entre zero e cento e setenta e nove para fazer a correspondência entre o intervalo de funcionamento dos servo motores. A função responsável pelo reajuste para a nova gama de variação é a seguinte:

```
valor_entre_0_179 = map(valor_entre_0_1024, 0, 1024, 0, 179);
```

A função é definida da seguinte maneira:

```
int map(int x, int in_min, int in_max, int out_min, int out_max)
{ return (x - in_min) * (out_max - out_min) / (in_max - in_min) + out_min; }
```

Onde:

in_min: Representa o limite inferior do intervalo actual do valor

in_max: Representa o limite superior do intervalo actual do valor

out_min: Representa o limite inferior do intervalo alvo do valor

out_max: Representa o limite superior do intervalo alvo do valor

Assim os dados de comando são guardados num conjunto de inteiros, nesta gama de valores, onde são representados respectivamente: posição do acelerador, posição da direcção, posição do Pan, posição do Tilt, *scroll* e o *trigger* do menu do GUI. Este conjunto de inteiros é montado numa mensagem, por um processador Aduino localizado entre o telecomando e o computador cliente. A mensagem é um vector de bytes precedida por um padrão que indica o início da mensagem. Este padrão é um conjunto de 8 bits com valor 1 que representa o *STARTBYTE* para indicar o início de uma mensagem, ao qual se seguem os valores inteiros acima referidos.



Figura 100. Os dados no comando.

Na mensagem, após o conjunto acima referido são acrescentados 3 *bytes* que representam um contador digital. Quando o primeiro *byte* deste contador atinge o valor máximo é incrementado o segundo *byte* e assim sucessivamente obtendo-se um contador de 3 *bytes*. O objectivo deste contador é distinguir as mensagens enviadas pelo canal de comunicação atribuindo a cada um identificador único a todos os pacotes de dados. Este contador será incrementado periodicamente com período igual a 50 milissegundos o que significa que consegue contar durante aproximadamente 54 horas, tempo mais que suficiente para garantir identificadores únicos anexados à mensagem.

A mensagem é então enviada para o computador do cliente (Figura 100) ao qual está ligado o Arduino via USB. No cliente são adicionados mais dois *bytes* à mensagem, com a informação relativa ao estado dos itens do menu do GUI. Estes bytes são inseridos antes dos 3 *bytes* do contador (Figura 101).

O menu do GUI é composto por 16 opções. Inicialmente estão todas desligadas. Quando o utilizador desloca o cursor do menu para uma opção e activa o botão *trigger*, essa opção fica activada, sendo guardado no primeiro byte do menu o valor desta opção (0-16). Quando uma opção é desactivada o segundo *byte* passa a ter o valor da opção desactivada e o primeiro *byte* fica a zero, o que representa nenhuma opção no menu activa. Finalmente a mensagem é enviada para o servidor instalado no carro através da Internet.



Figura 101. Os dados no PC cliente.

No servidor (Figura 102) os dados são validados, podendo ser processados no caso de opções do menu do cliente ou passados para o Arduíno instalado no carro, se forem dados relativos ao controlo do carro.

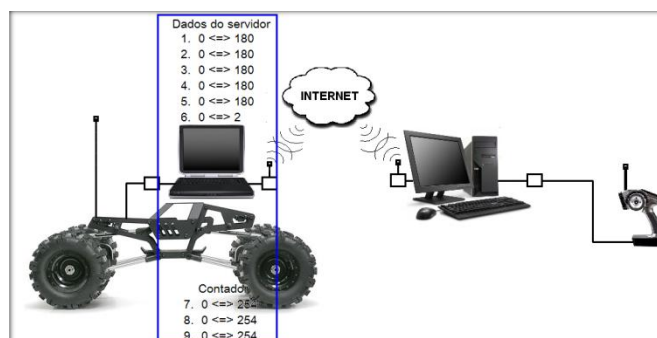


Figura 102. Os dados no servidor.

O Arduíno instalado no carro converte os dados de controlo incluídos na mensagem (Figura 103) em sinais digitais que são enviados para o controlador de servos, um Pololu *micro servo controller*, que utiliza estes dados para actuar nos respectivos servo motores e motores DC.

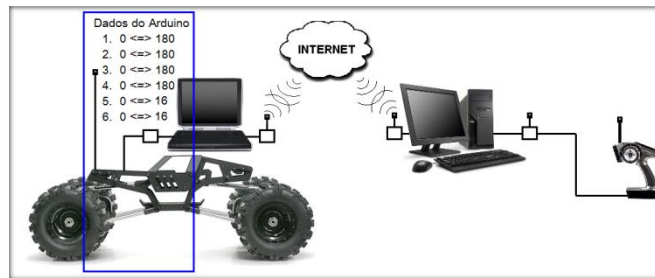


Figura 103. Os dados no micro controlador do carro.

No sentido contrário, isto é do servidor para o cliente, são enviados dados relativos ao *feed de video e áudio streaming*. Estes dados são descritos com mais pormenor no ponto 5.7

5.4 Processo que se executam no cliente.

Neste ponto serão apresentados os processos que se executam no cliente (Figura 104). No computador cliente executa-se um processo responsável por enviar, via internet, os dados provenientes do micro controlador Arduino e do GUI, para o servidor instalado no carro. Os dados de controlo, recebidos do micro controlador Arduino. Neste micro controlador é executado outro processo, para adquirir estes dados dos potenciômetros do Telecomando e convertê-los para quantidades digitais.

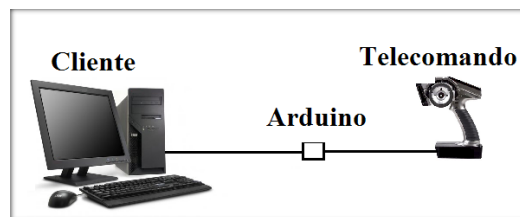


Figura 104. Controlo por parte do cliente.

Esta aquisição é feita no Arduíno através da leitura periódica dos valores dos potenciômetros do comando remoto, como já foi descrito, sendo comunicados para o computador cliente pela porta serie do Arduino. Esta tarefa está representada no fluxograma da Figura 105:

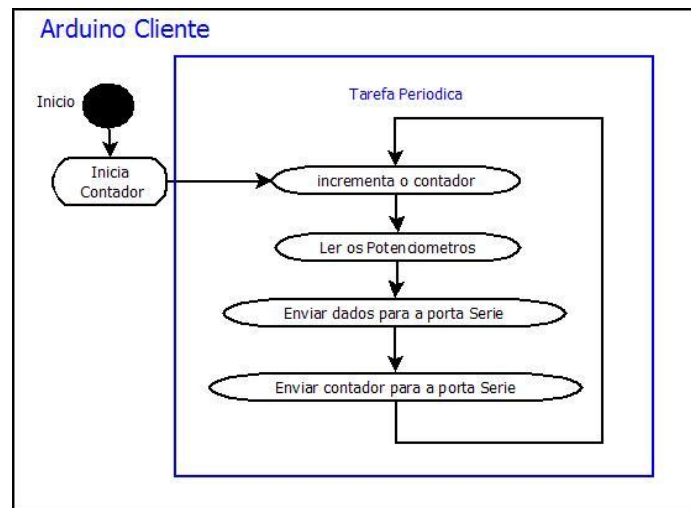


Figura 105. O Fluxograma do micro controlador do cliente.

A tarefa periódica no micro controlador é executada com um período de 50 milissegundos, isto é conseguido através do seguinte mecanismo:

```

void loop() {
  if ( millis() - ultimo >= periodo ){
    ultimo = millis();
    /*Tarefas*/
  }
}

```

A função `millis()`, devolve o tempo em milissegundos desde o inicio da ligação do Arduino. A constante período tem o valo de 50 (milissegundos). Assim consegue-se implementar um cronómetro para garantir a periodicidade das tarefas mencionadas anteriormente.

No computador do cliente a primeira operação a ser executada consiste no estabelecimento da ligação via *socket* ao servidor, o computador de bordo do carro. Após estabelecida esta ligação duas tarefas periódicas são inicializadas Figura 106.

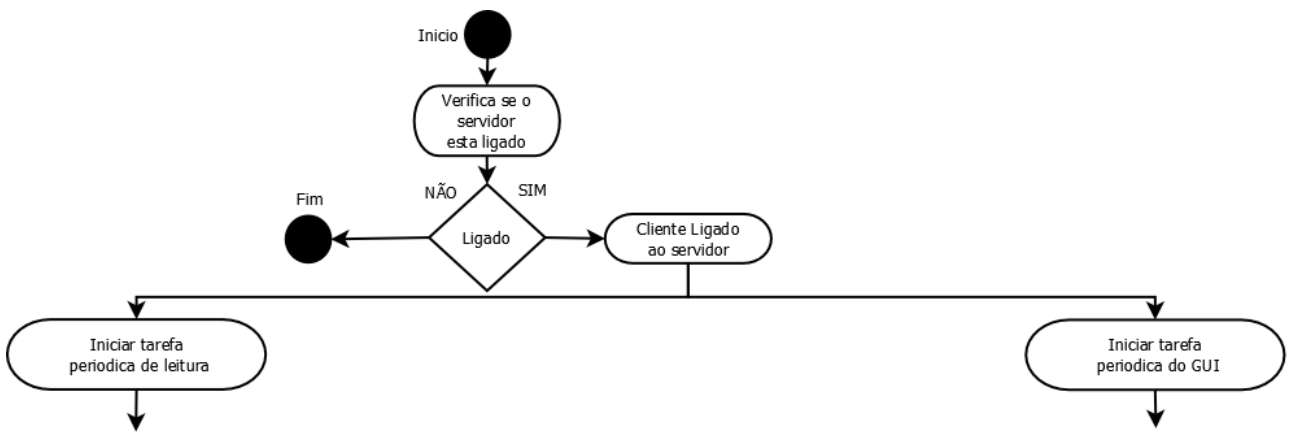


Figura 106. Inicialização de processos executados no cliente.

A primeira tarefa periódica faz a leitura dos dados enviados pelo micro controlador e guarda-os numa variável global e em seguida assinala um semáforo para que os dados possam ser enviados para o servidor por uma tarefa dedicada só para este efeito.

A segunda tarefa periódica tem a função de apresentar os dados armazenados numa variável global no GUI no cliente (Figura 107). Os dados vindos do Arduino são desta forma apresentados no GUI e enviados para o servidor (Figura 108).

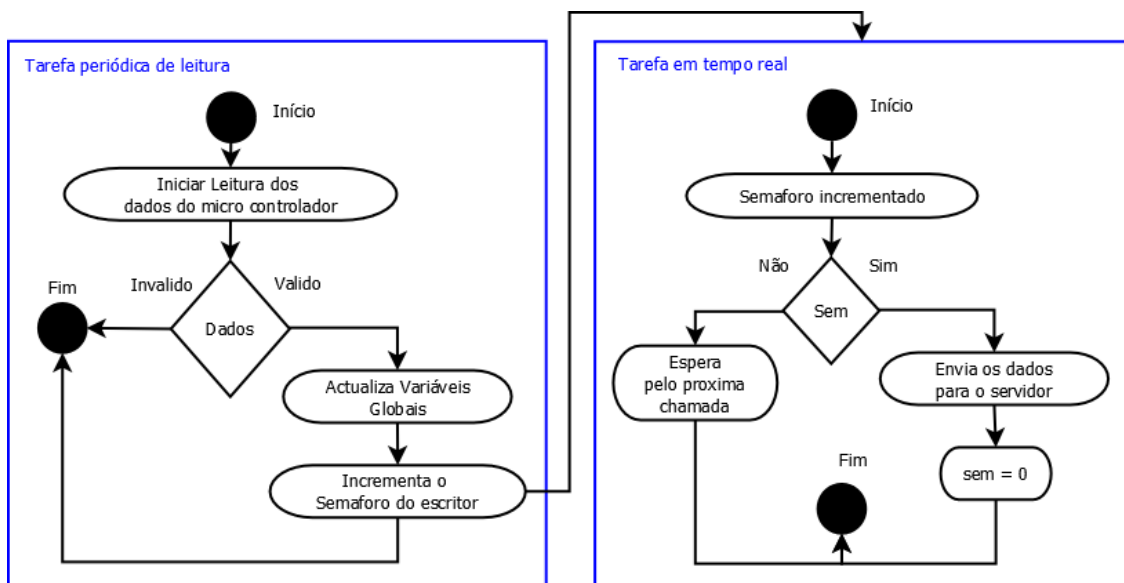


Figura 107. Tarefas em tempo real executadas no cliente.

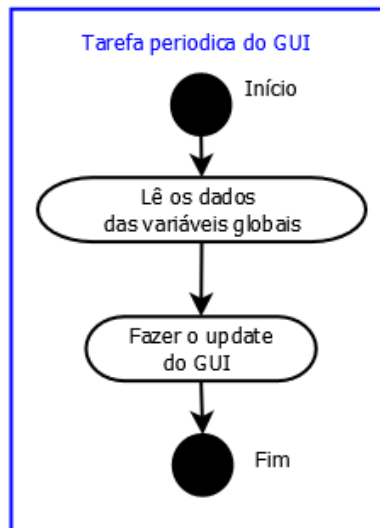


Figura 108. Tarefa periódica em tempo real responsável pela actualização dos dados do GUI.

As tarefas periódica de leitura do micro controlador e da apresentação de novos dados no GUI do computador cliente executam-se com um período de 50 milissegundos cada, o que é conseguido no API nativo do Xenomai, com o seguinte mecanismo:

Definição de constantes:

```

#define TASK_PRIO    50          //medium priority
#define TASK_MODE    0
#define TASK_STKSZ   0
#define TASK_PERIOD  50000000   //50 ms
  
```

Descritor de uma tarefa periódica em tempo real:

```
RT_TASK rt_leitor;
```

Inicialização da tarefa periódica:

```

(não é preciso tudo)rt_task_create(&rt_leitor, "Taskleitor", TASK_STKSZ, TASK_PRIO,
TASK_MODE);
rt_task_set_periodic(&rt_leitor, TM_NOW, rt_timer_ns2ticks(TASK_PERIOD));
rt_task_start(&rt_leitor, &leitor, NULL);
  
```

Definição da tarefa periódica:

```

void leitor(void *arg) {
    for(;;){
        rt_task_wait_period(NULL);
        /*tarefa periódica*/
    }
}

```

A função `rt_task_wait_period(NULL)` bloqueia a execução até que o próximo período se inicie.

5.5 Processos executados no servidor

O servidor é responsável por inicializar o serviço de vídeo e áudio *streaming* bem como um serviço de controlo do veículo (Figura 109).

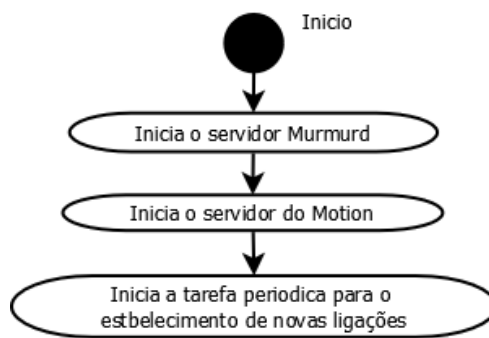


Figura 109. O Fluxograma do Servidor

A primeira tarefa periódica no servidor tem como objectivo permitir o estabelecimento de uma ligação via *sockets* com um cliente, o servidor garante que apenas um cliente pode controlar o veículo de cada vez, através da disponibilização do serviço de controlo numa dada porta. Assim quando um cliente estabelece uma ligação com o servidor através dessa porta, este inicia o serviço de controlo. Se outro cliente tentar fazer a ligação através da mesma porta enquanto decorre uma ligação activa, a nova ligação não será estabelecida porque o servidor já não esta a fornecer o serviço nessa porta. Quando um cliente desliga a ligação com o servidor, o serviço passa a estar novamente disponível para atender novamente qualquer cliente. Esta tarefa periódica (Figura 110) é executada com um período de 1 segundo, na qual verifica se existe um cliente ligado na porta do serviço, caso não exista um cliente ligado aguarda ate ao inicio do próximo período para voltar a verificar.

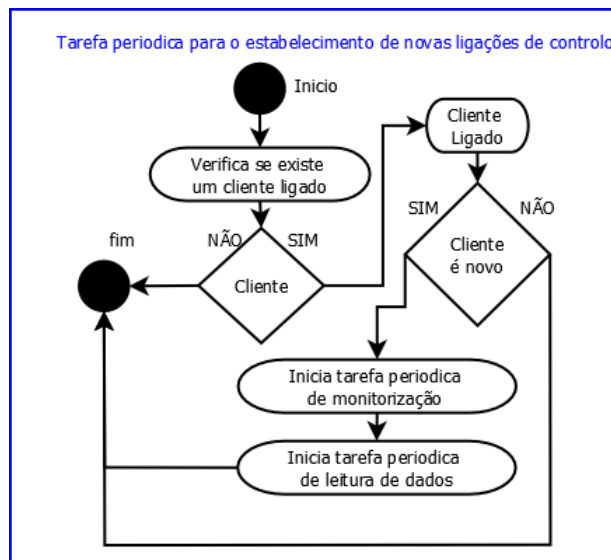


Figura 110. Tarefa periódica em tempo real responsável por estabelecer novas ligações de controlo

A segunda tarefa periódica efectua a leitura dos dados que são enviados pelo cliente. Após receber os dados assinala um semáforo que fará inicializar a tarefa de tempo real para a escrita dos mesmos dados para o micro controlador Arduino instalado no carro do carro (Figura 111).

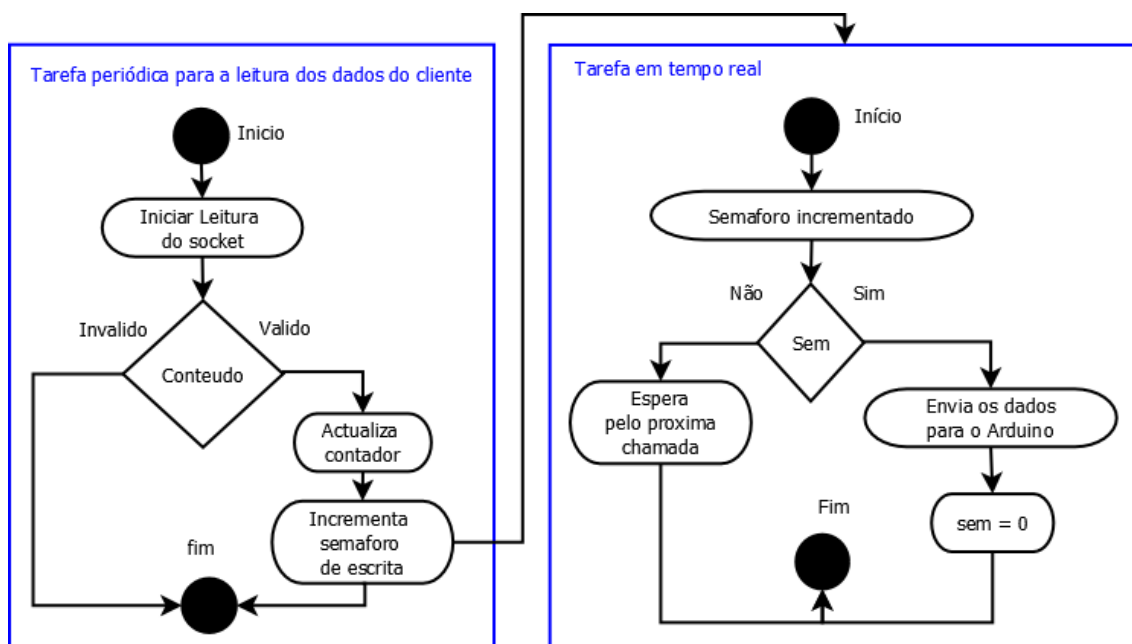


Figura 111. Tarefa periódica em tempo real responsável pela leitura dos dados do cliente e escrita para o Arduino.

A terceira e última tarefa periódica é a tarefa de monitorização de pacotes TCP/IP, para assegurar a segurança do veículo caso haja paragem ou perda de envio de pacotes por parte do cliente ou da rede. Quando o cliente efectuar a ligação, a segunda tarefa periódica irá ler e validar o conteúdo dos dados que estão a chegar e reenvia-los para o micro controlador Arduino com um período igual a 20 milissegundos, esta tarefa é também responsável por incrementar um contador de pacotes que

servirá para que o sistema possa ser monitorizado pela terceira tarefa periódica. A terceira e tarefa verifica se este contador sofre alteração. Se o contador não sofrer alteração durante 50 períodos consecutivos, significa que os dados estão atrasados ou que o cliente desligou a comunicação, por isso o processador Arduino opera o processador Pololu de modo a activar um procedimento de segurança que faz parar o carro Figura 112.

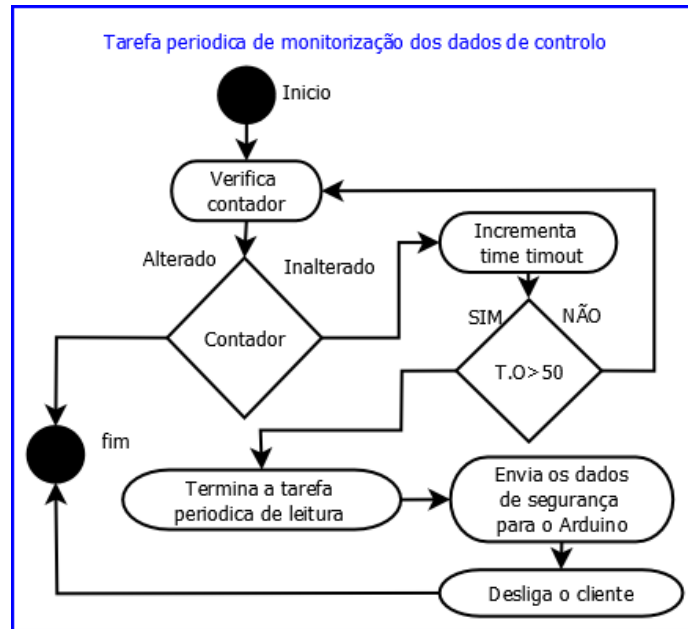


Figura 112. Tarefa periódica em tempo real responsável pela monitorização dos dados de controlo

No micro controlador Arduino existe uma tarefa periódica, que recebe os dados enviados pelo computador de bordo do carro e os reenvia para o micro controlador de servos (Pololu Servo Controller) (Figura 113).

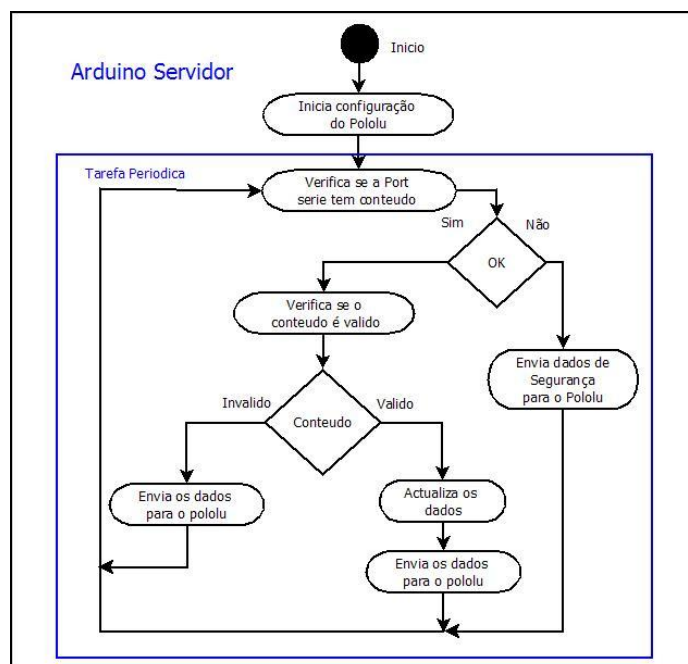


Figura 113. O fluxograma do micro controlador no servidor.

Esta tarefa verifica se existem dados na porta serie ligada ao computador. Quando existem dados validos, então estes são reencaminhados para a porta série onde está ligado o micro controlador Pololu ao Arduino, que por sua vez faz deslocar os servomotores para as respectivas posições angulares.

5.6 Ligação entre cliente e servidor

O computador de bordo do veículo está configurado para inicializar automaticamente todos os serviços necessários para permitir o seu controlo via internet: incluindo o *live video and audio streaming*

Após a inicialização do computador servidor, alojado a bordo do veículo, todos os processos necessário para estabelecer a ligação à internet e ao micro controlador Arduino estão activos aguardando a ligação física a estes: quando o utilizador insere o modem de banda larga móvel no computador de bordo, esta é detectada, a conexão à internet é inicializada e é actualizado o DDNS automaticamente; quando o utilizador liga pela porta USB o micro controlador Arduino ao computador de bordo, o dispositivo é reconhecido automaticamente ficando o veículo pronto a ser controlado via internet.

5.7 Sistema Operativo de tempo real do cliente e do servidor

Os processos de aquisição de dados que se executam no servidor e no cliente devem cumprir metas temporais rígidas e periódicas para que o controlo não se degrade.

Estamos assim na presença de um sistema de tempo real, um sistema no qual o tempo para produzir resultados, ou saídas, é significativo, isto é a correcção do sistema depende não só dos resultados da computação, mas também do instante de tempo em que são produzidos esses resultados.

Para garantir a periodicidade dos processos, tanto no computador cliente como no servidor foi instalado o sistema operativo Debian Linux com o *patch* Adeos-ipipe e a API de tempo real Xenomai. No entanto a internet não é uma rede de tempo real, por isso não há garantia que as mensagens de controlo não se atrasem ou percam. Por esta razão é importante que a ligação à internet seja feita utilizado o HSPA que permite minimizar o atraso e a perda de dados. No caso de haver perdas constantes de dados durante mais de 2 segundos o servidor faz com que o carro pare por motivos de segurança.

5.8 “Live Streaming” Multimédia

Streaming media aqui refere-se a dados que são constantemente recebidos por um ou vários utilizadores através de um serviço de *streaming* (o conteúdo multimédia inclui áudio ou vídeo ou ambos). O termo *streaming* refere-se ao método de entrega dos dados. Neste projecto o servidor disponibiliza um serviço de *live video streamig*, Para esse efeito foram testadas duas ferramentas de *streaming* diferentes, o *ffserver* e o *Motion*.



Figura 114. Serviço de *live video Streaming*.

5.8.1 Implementação A: FFserver / FFmpeg

A primeira abordagem para disponibilizar um serviço de *live audio and video streaming* foi utilizar a ferramenta *ffserver*. O serviço *ffserver* corre em segundo plano por defeito e tem como função organizar e disponibilizar *streams* de multimédia via HTTP (a configuração deste serviço está descrita no apêndice B). O serviço *ffserver* só é activado após a execução da uma ou varias instâncias de *ffmpeg*. A instância de *ffmpeg* especifica o formato do media bem como o dispositivo de captura.

A instância do *ffmpeg* para gerar o *stream* de áudio é conseguida através do seguinte comando:

```
ffmpeg -f alsa -i plughw:1,0 http://localhost:9090/audio.ffm
```

Onde “-f alsa” serve para especificar a aquisição de áudio, o “-i” serve para indicar o microfone e o URL serve para indicar respectivo o ficheiro do tipo *ffm*, o URL serve para disponibilizar o *feed* de áudio na porta 9090 na máquina local. A instância do *ffmpeg* para gerar o *stream* de vídeo é conseguida através do seguinte comando:

```
ffmpeg -r 12 -s 320x240 -f video4linux2 -i /dev/video0 http://localhost:9090/video.ffm
```

O parâmetro “-f video4linux2” serve para especificar a aquisição de vídeo, o parâmetro -i indica o dispositivo de vídeo que neste caso é a câmara de vídeo, o URL serve para disponibilizar o *feed* de vídeo na porta 9090 na máquina local. A instância do ffmpeg para o *stream* multimédia de áudio e vídeo é conseguido através do seguinte comando:

```
ffmpeg -r12 -s320x240 -f video4linux2 -i /dev/video0 -f alsa -i plughw:1,0  
http://localhost:9090/audiovideo ffm
```

O parâmetro “-f video4linux2” serve para forçar o formato de vídeo, o parâmetro -i indica o dispositivo de vídeo que neste caso é a webcam, o parâmetro “-f alsa” serve para especificar a aquisição de áudio, o “-i” serve para indicar o microfone e o URL serve para disponibilizar o *feed* de vídeo e áudio na porta 9090 na máquina local.

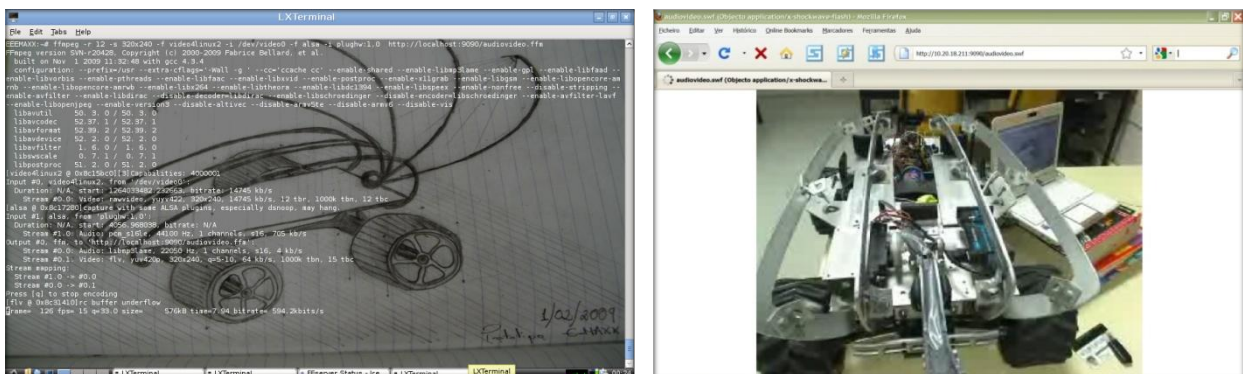


Figura 115. Serviço de *live video Streaming*.

Verificou-se que o software *ffserver* e *ffmpeg* introduzem um atraso na comunicação através da Internet em algumas centenas de milissegundos (400 ms a 500 ms), que representa latência suficiente para prejudicar a experiéncia de condução remota em tempo real.

5.8.2 Implementação B: Motion

O *Motion* utiliza um dispositivo de captura de vídeo e o driver *video4linux2* para detectar movimento. O *Motion* tira fotos do movimento e pode converter em vídeo de vários formatos, fazendo que com que seja útil para observações ou sistemas de segurança. O *Motion* tem um servidor Web incorporado, permitindo fazer *stream* de vídeo em directo.

A principal vantagem do *Motion*, quando comparado com o *ffserver*, é que tem a capacidade de disponibilizar vários serviços em simultâneo, nomeadamente: *stream* de vídeo através de um Web

Server; captura periódica de frames e armazenamento dos mesmos; Gravação do vídeo (sem os frames tirados) e armazenamento do mesmo.

A latência do *stream* de vídeo que o Motion gera é muito menor do que a do ffserver e quase não se nota o atraso na comunicação entre o servidor e o cliente. Deste modo o Motion adapta-se melhor às necessidades do projecto, visto que consegue tirar fotos, guardar vídeo e gerar um *stream* multimédia com menor latência que o ffserver/ffmpeg. Por estas razões a aplicação vai utilizar o Motion.

5.9 Murmur e Mumble “Live Streaming” áudio

O software Motion foi utilizado para fazer o feed de vídeo por causa da boa qualidade de imagem e da baixa latência. No entanto o Motion não fornece *feeds* de áudio, por esta razão para a criação do *feed* de áudio foi utilizado o Mumble e o Murmur.

O Mumble é um software de voice over ip, com o código aberto, baixa latência e alta qualidade de voz. Murmur é o componente servidor para Mumble.

No cliente está instalado um cliente Mumble que vai ligar a um servidor Murmur no computador de bordo do veículo, estabelecendo assim um canal de comunicação de voz nos dois sentidos. Para estabelecer a ligação entre cliente e servidor o cliente tem de saber a porta e o endereço URL do servidor. Uma vez estabelecida a ligação a comunicação de áudio é estabelecida nos dois sentidos.

6. Ensaio do veículo

6.1 Condução remota do veículo

O veículo permite uma condução remota com uma autonomia média de aproximadamente 4 a 5 horas visto que a autonomia do portátil é de 4 a 5 horas tendo alimentação independente do veículo.

A visão remota adopta duas perspectivas, exemplificadas na Figura 116, proporcionadas pela câmara situada no cimo do braço mecânico do veículo. A perspectiva de terceira pessoa é a mais favorável na maioria das situações durante a condução remota pois difunde mais informação acerca do ambiente onde está localizado o veículo a partir de uma imagem mais ampla. A imagem transmitida com a câmara na 1ª pessoa é propícia para situações que necessitem de uma visão com maior pormenor.

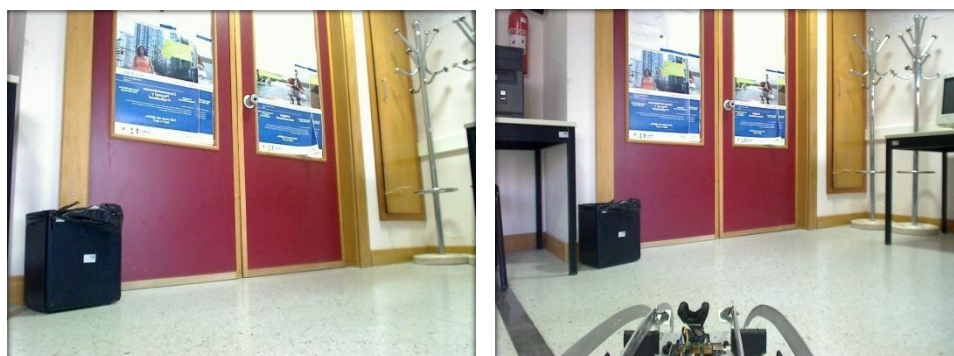


Figura 116. Imagem das diferentes perspectivas do veículo: na 1ª pessoa, à esquerda, e na 3ª pessoa, à direita.

Aquando da condução, o *feedback* de áudio transmite a informação sonora acerca do ambiente onde se encontra o veículo, fazendo o utilizador ter a “sensação de estar noutra lugar” e tomar melhores decisões relativas ao controlo do veículo. O indivíduo pode estar emocionalmente e socialmente conectado com o mundo remoto, o que se designa por Telepresença.

6.2 Condução remota utilizando a WLAN

Os ensaios com o veículo foram efectuados em várias áreas geográficas com a cobertura da WLAN Eduroam da Universidade do Algarve. O dispositivo WiFi a bordo do veículo efectuou a ligação à mesma WLAN que o computador do utilizador, e através desta foi realizado o controlo do veículo. A latência média nos testes efectuados em zonas WLAN esteve na ordem dos 10ms a 20ms.

A experiência de condução remota nestas condições esteve limitada à área de cobertura da zona WLAN. A principal vantagem deste modo em relação ao controlo utilizando a rede de telefonia celular reside no facto de o utilizador poder controlar remotamente e gratuitamente o veículo através de um computador.

6.3 Condução remota utilizando a rede de telefonia celular

Os ensaios utilizando a rede de telefonia celular foram efectuados em quatro áreas geográficas diferentes: o Campus de Gambelas e o Campus da Penha da Universidade do Algarve, a Escola Secundária Pinheiro e Rosa de Faro e o Colégio Internacional de Vilamoura. Nestas quatro áreas com cobertura HSPA, a latência média registada foi aproximadamente de 80 ms.

A Figura 117 ilustra a vermelho os percursos feitos pelo veículo utilizando a rede de telefonia celular, nas duas maiores áreas geográficas onde foram efectuados os ensaios: os Campus de Gambelas e da Penha. As distâncias percorridas pelo veículo nestas duas zonas são bastante grandes, na ordem de centenas de metros, graças a zona de cobertura das antenas (*Base Stations*).



Figura 117. Percurso dos ensaios do veículo no Campus de Gambelas e da Penha da Universidade do Algarve.

A condução remota utilizando a rede de telefonia celular permitiu controlar remotamente o veículo numa área muito superior à explorada com cobertura da WLAN, havendo uma maior liberdade de exploração.

Nos ensaios efectuados nas zonas com HSPA, o controlo do veículo no exterior dos edifícios teve uma taxa de perdas de ligação muito próxima de zero. Dentro de alguns edifícios a taxa de perda de ligação foi mais elevada e em alguns edifícios o controlo foi mesmo impossível devido à baixa potência do sinal.

Assim verificou-se que a experiência de condução remota em zonas de cobertura com HSPA é possível e que o utilizador usufruiu de uma maior liberdade de acção para efectuar o controlo.

6.4 A latência no controlo

Para o modo WiFi a latência aumenta com o aumento da distância entre o veículo e o WiFi *router*, a partir de uma certa distância a latência é perceptível e a qualidade do serviço de vídeo diminuí a ponto da imagem não chegar em condições ao cliente tornando impossível controlar o veículo sem estar em linha de vista. Para o modo da rede de telefonia celular, a latência aumenta quando o veículo se encontra dentro de alguns edifícios fazendo com que a qualidade do serviço de vídeo diminuí a ponto da imagem não chegar em condições ao cliente tornando impossível controlar o veículo.

Daqui podemos concluir que para garantir um controlo sem latência significativa e qualidade de vídeo aceitáveis, o utilizador tem de ter um feedback no seu GUI da força do sinal da antena do veículo para um dado modo de utilização (WiFi ou rede de telefonia celular) de modo a poder evitar zonas em que o sinal é mais fraco e consequentemente onde o controlo é ineficiente.

6.5 Comparação entre os três modos

A experiência da condução de veículos telecomandados é melhorada quando o utilizador tem a possibilidade de escolher o mecanismo de controlo de um dos três modos de funcionamento ao invés de um só. A seguinte tabela apresenta as desvantagens e vantagens dos três mecanismos de controlo:

Modo	Desvantagens	Vantagens
Clássico	<ul style="list-style-type: none"> - O utilizador tem de estar em linha de vista com o veículo. - Pequena área de cobertura 	<ul style="list-style-type: none"> - O veículo não tem dependências, está pronto a ser controlado. - Virtualmente sem latência notável no controlo.
Ad-Hoc Wifi	<ul style="list-style-type: none"> - Dependente de um cliente (PC ou <i>Smartphone</i>) para efectuar o controlo. - Pequena área de cobertura comparada com a da rede de telefonia celular. 	<ul style="list-style-type: none"> - O utilizador não necessita de estar em linha de vista com o veículo - O veículo pode ser controlado por qualquer pessoa que tenha acesso ao computador de bordo do veículo. - A utilização da rede não tem custos para o utilizador - Velocidade de ligação com baixa latência quando comparado com a latência da rede de telefonia celular.

<p>Rede de Telefonia Celular</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Dependente de um cliente (PC ou <i>Smartphone</i>) para efectuar o controlo. - A utilização da rede tem custos adicionais para o utilizador - Alguma latência dependendo da força do sinal. 	<ul style="list-style-type: none"> - O utilizador não necessita de estar em linha de vista com o veículo - O veículo pode ser controlado por qualquer pessoa que tenha acesso ao computador de bordo do veículo. - Uma grande área de cobertura.
---	---	---

Na tabela acima para o modo WiFi e rede móvel as áreas de cobertura variam conforme as características do meio ambiente e a potencia do sinal de rádio frequência onde se esta a ser feita a comunicação entre o cliente e o servidor. Concluiu-se, como era de esperar, que quando a potência do sinal é fraca, a latência na comunicação aumenta e a qualidade de recepção do *stream* de áudio e vídeo diminuem.

Os resultados obtidos com os ensaios com a rede de telefonia móvel foram melhores que o inicialmente esperado, com taxas de perda de sinal inexistentes, quando o veiculo se encontrava nos ambientes exteriores (ao ar livre).

7. Conclusões e trabalho futuro

A reconfiguração e reequipamento de um carro telecomandado permitiram o seu controlo remoto através da rede ad-hoc WiFi e da rede de telefonia celular. Este controlo é feito a partir de um computador ligado à rede utilizando o protocolo TCP/IP e uma ligação via BSD Sockets entre cliente e servidor. De forma a apoiar a tomada de decisão relativa ao controlo do carro, o servidor disponibiliza um serviço de *live stream* de áudio e vídeo que o cliente pode usufruir.

Posteriormente à inclusão do computador de bordo e electrónica acessória, o veículo telecomandado poderá funcionar em três modos distintos, exemplificados no esquema da Figura 118: o modo clássico, o modo remoto ad-hoc e o modo remoto numa Rede de telefonia celular. O primeiro modo remoto permite o controlo do veículo através de um computador ou um *smartphone* via ligação WiFi ad-hoc. O segundo modo remoto permite também controlar o veículo através de um computador ou *smartphone*, desde que este tenha acesso de qualquer tipo à Internet, sendo o acesso do computador de bordo do veículo à Internet efectuado através de uma rede de telefonia celular.

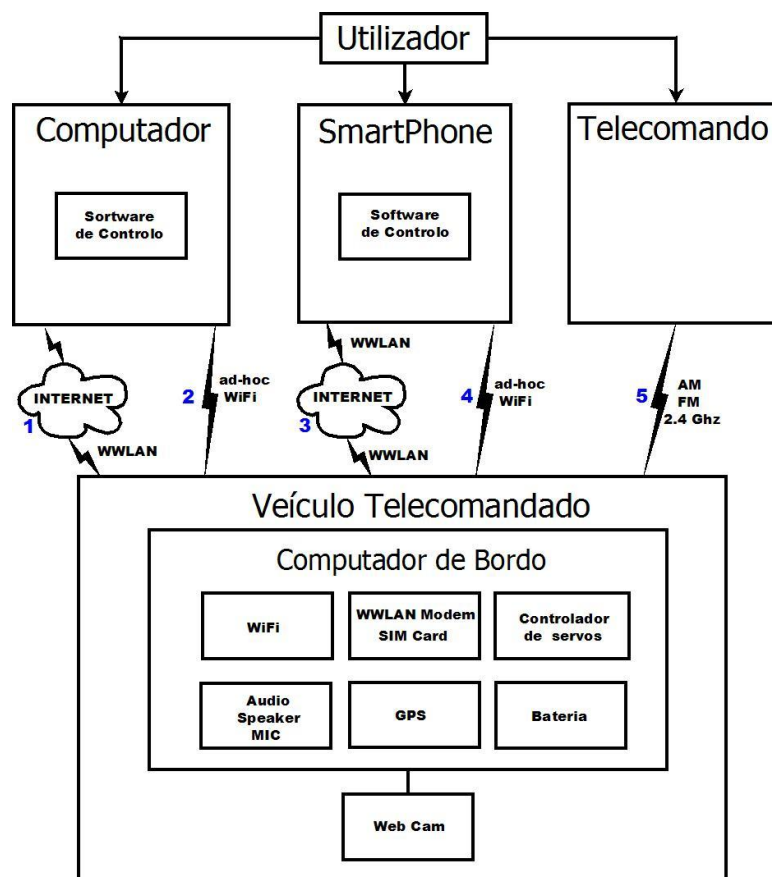


Figura 118. Esquema do modelo de controlo de veículos telecomandados com a inclusão de um computador de bordo num veículo.

Neste trabalho foram ainda testadas duas abordagens diferentes para a aquisição do sinal do telecomando e para a emissão do sinal do computador de bordo do veículo para o receptor AM do veículo.

A primeira abordagem foi uma solução sem fios onde foi construído um receptor e emissor AM. O receptor AM serve para interceptar os sinais AM do telecomando e envia-los para o computador do cliente. O emissor AM serve para transmitir o sinal de controlo recebido no computador de bordo do veículo para o receptor AM do veículo, e deste modo efectuar o controlo.

A segunda abordagem foi uma solução com fios, onde os sinais do telecomando foram adquiridos directamente dos potenciómetros do telecomando através da ligação directa às portas analógicas do micro controlador Arduino que está por sua vez ligado ao computador do cliente por um cabo USB. No veículo foi substituído o receptor AM por um controlador de servos (Pololu) ligado por fios a um outro micro controlador Arduino, por sua vez ligado ao computador de bordo.

A solução sem fios foi abandonada por causa da limitação do micro controlador Arduino que executa uma rotina interna na qual o processador fica ocupado durante 0,128ms. Esta rotina interna é repetitiva com um período variável, podendo executar-se durante a cronometragem do tempo do pulso, podendo fazer com que esta seja inflacionada em 0.128ms. Este erro na medição poderá resultar num erro de 15 graus no movimento dos servo motores relativamente ao comando, o que poderá ter influência na direcção e na aceleração, podendo ter um resultado catastrófico.

Uma solução seria cronometrar os sinais utilizando outro dispositivo que não o Arduino. No entanto tal tornaria mais complexo o *hardware*. Por esta razão foi implementada a solução com fios para a aquisição e emissão dos sinais de controlo, pois não é necessário usar o Arduino para medir a largura dos pulsos para interpretar os comandos, que apresenta também a vantagem de não ser sensível a interferência na gama de frequências da solução sem fios.

Verificou-se através dos ensaios do veículo que o controlo no modo da rede de telefonia celular traz grandes vantagens no que diz respeito a área de cobertura comparativamente a área de cobertura do modo Wi-Fi apesar de depender de uma ligação não gratuita. O modo Wi-Fi adequa-se a situações em que não se pretenda utilizar a rede de telefonia celular, mas permitindo ainda a condução remota (Telerobótica) através de um computador ou de um *smartphone*.

A possibilidade de opção entre estes três modos de controlo, permite estender o raio de acção do veículo, aumentando assim também a qualidade do serviço de condução remota como foi proposto.

Como trabalho futuro, e de forma a aumentar a qualidade de serviço, o *software* de controlo terá em conta a força de sinal do modem do veículo no GUI do utilizador para que este tenha conhecimento da potência do sinal na área geográfica onde exerce o controlo.

Outro aspecto importante em relação ao *software* é a segurança, cada computador de bordo terá várias contas de utilizador que permitirão diversos níveis de controlo do veículo, garantida assim uma utilização segura do mesmo.

No âmbito desta dissertação foi mencionado que um veículo telecomandado é composto essencialmente por três partes, o veículo, o telecomando e o canal, sendo o controlo efectuado por apenas um único utilizador. O computador de bordo, ilustrado na Figura 119, poderá ser colocado a bordo de uma grande gama de veículos telecomandados, fazendo com que estes possam ser controlado por qualquer pessoa em qualquer lugar com cobertura pela rede de telefonia celular ou Wi-Fi. Este dispositivo é composto por um *Handheld Computer integrated within a mobile telephone*, que permite o acesso à rede de telefonia celular bem como à rede WiFi, uma antena GPS, uma placa de áudio com microfone, colunas e outros componentes ilustrados na Figura 118.

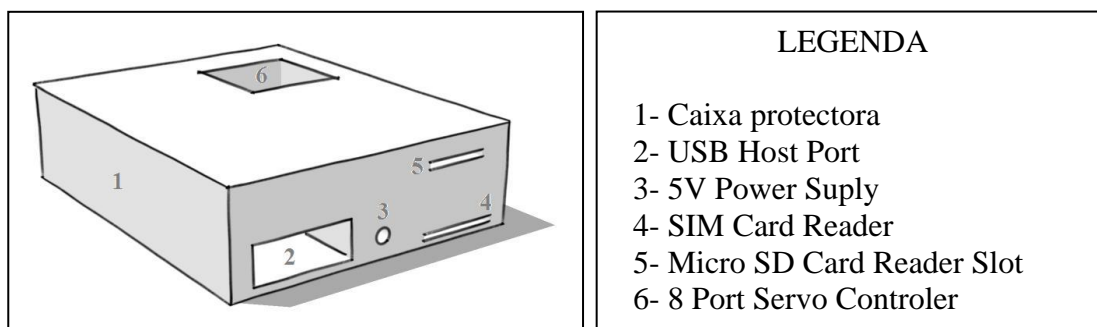


Figura 119. Computador de bordo de veículos telecomandados e descrição dos seus componentes.

Error! Reference source not found. ilustra o posicionamento dos diferentes componentes num carro telecomandado sem e com computador de bordo.

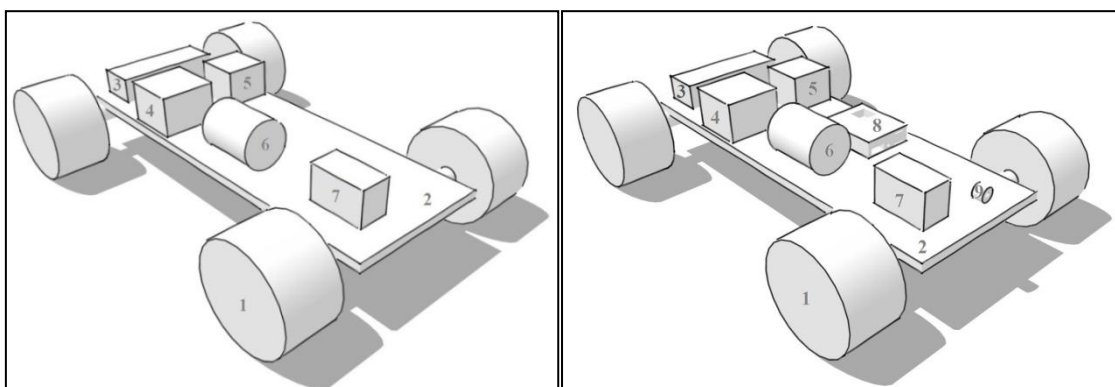


Figura 120. Componentes de um carro telecomandado sem e com o computador de bordo, respectivamente: 1- Pneu, 2- Chassis, 3- Baterias, 4- *Eletronic Switch Controller* (ESC), 5- Receptor EMF, 6- Motor DC, 7- Servo Motor, 8- Computador de bordo e 9- Câmara.

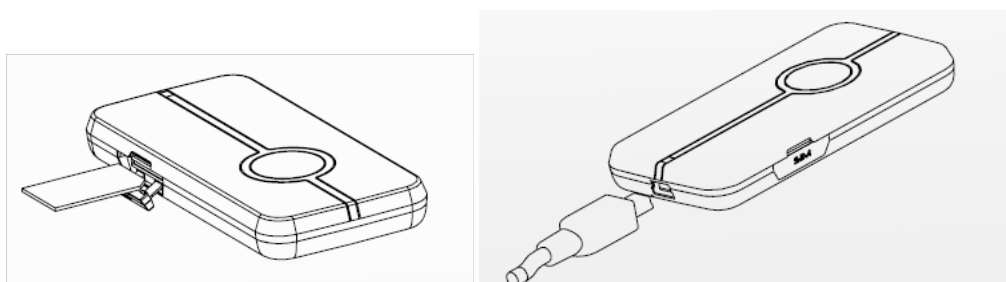
Com a evolução da tecnologia de telecomunicações móveis, a largura de banda e a latência terão tendência a aumentar e diminuir respectivamente, proporcionando assim uma base para a proliferação de aplicações deste tipo.

APÊNDICE A

Instalação da banda larga móvel

Instalação do Hardware:

1) Insira o cartão SIM / USIM no Modem USB: Insira o cartão SIM / USIM com os contactos metálicos para cima, para dentro do slot no Modem USB, conforme mostrado a seguir:



2) Conecte o Modem USB ao seu PC:

3) Conecte a outra extremidade do Cabo à porta USB do microcomputador PC portátil.

4) Certifique-se de que as conexões (entre Cabo e o Modem e entre Cabo e a porta USB do PC) estejam firmes.

5) Ligue o computador.

Instalação no Linux do software:

Quando esta placa é ligada à porta USB, seja em Windows ou em Linux, o sistema operativo reconhece um dispositivo de armazenamento onde estão os drivers da placa para Windows. Assim, para instalar esta placa, não é necessário nenhum CD nem outro suporte onde estejam os *drivers*. Para que esta placa funcione como modem de acesso à Internet é necessário alterar o seu modo de funcionamento, isto é, desactivar a sua função de dispositivo de armazenamento e colocá-la a funcionar como um modem USB. Estamos portanto na presença de uma placa que, do ponto de vista do sistema operativo, pode ser vista como dois dispositivos distintos. Esta alteração, no nosso caso, em Linux, é feita pelo programa `USB_ModeSwitch`.

Em primeiro lugar é necessário abrir uma consola. De seguida é necessário abrir uma sessão de super utilizador, o que pode ser feito com o comando:

```
sudo su -
```

Instalar o wvdial: Caso esta aplicação não esteja instalada é necessário fazer o seguinte:

```
apt-get install wvdial
```

Instalar o gcom: Caso esta aplicação não esteja instalada é necessário fazer o seguinte:

```
apt-get install gcom
```

Instalar o USB_ModeSwitch: Pode ser necessário instalar a libusb. Para isso é necessário executar o comando:

```
apt-get install libusb-dev
```

Instalar o USB_ModeSwitch através do seguinte comando:

```
apt-get install usb_modeswitch
```

Configurações

É necessário editar o ficheiro `/etc/wvdial.conf` e colocar neste ficheiro o seguinte conteúdo

```
Init2 = ATQ0 V1 E1 S0=0 &C1 &D2 +FCLASS=0
Modem Type = Analog Modem
; Phone =
ISDN = 0
; Username =
Init1 = ATZ
; Password =
Modem = /dev/ttyUSB0      # localização do dispositivo
```



```

SUBSYSTEM=="usb", SYSFS{idProduct}=="2000",
SYSFS{idVendor}=="19d2", GOTO="ZTE_ZeroCD"
# Is this the actual modem?
SUBSYSTEM=="usb", SYSFS{idProduct}=="0001",
SYSFS{idVendor}=="19d2", GOTO="ZTE_Modem"
LABEL="ZTE_ZeroCD"
# This is the ZeroCD part of the card, remove
# the usb_storage kernel module so
# it does not get treated like a storage device
#RUN+="/sbin/rmmod usb_storage"
RUN+="/usr/sbin/usb_modeswitch -d 1 -v 0x19d2 -p 0x2000 -V 0x19d2 -P 0x0001"
LABEL="ZTE_Modem"
# This is the Modem part of the card, let's
# load usbserial with the correct vendor
# and product ID's so we get our usb serial devices
RUN+="/sbin/modprobe usbserial vendor=0x19d2 product=0x0001",
# Make users belonging to the dialout group
# able to use the usb serial devices.
#MODE="660", GROUP="dialout"
MODE="660", GROUP="tty"
LABEL="ZTE_End"

```

Este ficheiro é necessário para que a detecção e activação da placa seja feita quando esta é ligada à porta USB.

APÊNDICE B

Ffserver

/etc/ffserver.conf

```
##### ...: SETUP ...: #####  
Port 9090          # O serviço http corre na porta 9090  
BindAddress 0.0.0.0 # Aceita todos os ip's  
MaxClients 1000    # Max numero de clientes em simultaneo  
MaxBandwidth 16    # Max largura de banda por cliente (kb/s)  
NoDaemon          # ffserver nao corre como daemon.  
#####
```

O ffserver permite fazer vários feeds em simultâneo de seguida esta a configuração de cada feed: aqui temos 3 feeds, um de áudio um de vídeo e um de áudio e vídeo:

```
##### ...: Ficheiro de feed de AUDIO ...: #####  
<Feed audio.ffm>  # Ficheiro de audio feed.  
File /tmp/audio.ffm # Localização do ficheiro do feed.  
FileMaxSize 16k    # Tamanho do ficheiro.  
</Feed>           # Fim do feed.  
#####
```

```
##### ...: Ficheiro de feed de VIDEO ...: #####  
<Feed video.ffm>  # Ficheiro de video feed.  
File /tmp/video.ffm # Localização do ficheiro do feed.  
FileMaxSize 512k   # Tamanho do ficheiro.  
</Feed>           # Fim do feed.  
#####
```

```

#***** ...: Ficheiro de feed de AUDIO e VIDEO ... *****#
<Feed audiovideo.ffm>      # Ficheiro de video e áudio feed.
File /tmp/audiovideo.ffm   # Localização do ficheiro do feed.
FileMaxSize 512k          # Tamanho do ficheiro.
</Feed>                   # Fim do feed.
#*****#

```

Configuração do stream para cada feed:

```

#***** ...: AUDIO SETUP ... *****#
<Stream audio.mp3>        # Nome do ficheiro de áudio no servidor http.
Feed audio.ffm           # Feed de audio.
Format mp3               # Formato do ficheiro.
AudioBitRate 16k         # Taxa de transmissão de dados.
AudioChannels 1          # Numero de canais de som.
PreRoll 0                # Atraso, zero.
NoVideo                  # Sem vídeo, apenas o audio.
</Stream>                # Fim do setup da stream.
#*****#

```

```

#***** ...: VIDEO SETUP ... *****#
<Stream video.swf>       # Nome do ficheiro de vídeo no servidor http.
Feed video.ffm           # Feed de Video.
Format swf               # Formato do ficheiro.
VideoCodec flv           # Codec do ficheiro.
VideoFrameRate 15        # Frames por segundo.
#VideoBufferSize 512k    # Tamanho do Buffer.
#VideoBitRate 512k       # Taxa de transmissão de dados
VideoQMin 10             # Best quality = 1
VideoQMax 12             # Worst quality = 31
VideoSize 320x240        # Video size
Noaudio                  # Sem audio, apenas video
</Stream>                # Fim do setup da stream.
#*****#

```

```

#***** ...: ficheiro de stream de AUDIO e VIDEO ... *****#
<Stream audiovideo.swf> # Nome do ficheiro áudio e video file no servidor http.
Feed audiovideo.ffm # Feed de audio e video.
Format swf # Formato do ficheiro.
VideoCodec flv # Codec fo ficheiro.
VideoFrameRate 15 # Frames por segundo.
VideoQMin 5 # A Melhor qualidade = 2.
VideoQMax 10 # A pior qualidade = 31.
VideoSize 320x240 # Tamanho do video.
AudioBitRate 4K # A taxa de transferência de dados.
AudioChannels 1 # Numero de canais de áudio.
</Stream> # Fim do setup da stream.
#*****#

```

```

#***** ...: ESTATISTICAS ... *****#
<Stream index.html> # index.html.
Format status # Estatísticas.
#ACL allow 0.0.0.0 0.0.0.0 # Aceitar todos:
</Stream> # Fim do setup das estatísticas.
#*****#

```


APÊNDICE C

Motion

O ficheiro de configuração do Motion tem vários parâmetros de configuração dos quais passo apenas a citar os mais importantes:

```
#####  
# Capture device options  
#####  
# Videodevice to be used for capturing (default /dev/video0)  
  
videodevice /dev/video0  
  
# Image width (pixels). Valid range: Camera dependent, default: 352  
width 640  
  
# Image height (pixels). Valid range: Camera dependent, default: 288  
height 480  
  
# Maximum number of frames to be captured per second.  
# Valid range: 2-100. Default: 100 (almost no limit).  
framerate 20  
  
# Bitrate to be used by the ffmpeg encoder (default: 400000)  
# This option is ignored if ffmpeg_variable_bitrate is not 0 (disabled)  
ffmpeg_bps 500000  
  
# Enables and defines variable bitrate for the ffmpeg encoder.  
# ffmpeg_bps is ignored if variable bitrate is enabled.  
# Valid values: 0 (default) = fixed bitrate defined by ffmpeg_bps,  
# or the range 2 - 31 where 2 means best quality and 31 is worst.
```

```

ffmpeg_variable_bitrate 2

# Codec to used by ffmpeg for the video compression.
# Timelapse mpegs are always made in mpeg1 format independent from this option.
# Supported formats are: mpeg1 (ffmpeg-0.4.8 only), mpeg4 (default), and msmpeg4.
# mpeg1 - gives you files with extension .mpg
# mpeg4 or msmpeg4 - gives you files with extension .avi
# msmpeg4 is recommended for use with Windows Media Player because
# it requires no installation of codec on the Windows client.
# swf - gives you a flash film with extension .swf
# flv - gives you a flash video with extension .flv
# ffv1 - FF video codec 1 for Lossless Encoding ( experimental )
# mov - QuickTime ( testing )
ffmpeg_video_codec swf

#####
# Live Webcam Server
#####

# The mini-http server listens to this port for requests (default: 0 = disabled)
webcam_port 9090

# Quality of the jpeg images produced (default: 50)
webcam_quality 25

# Output frames at 1 fps when no motion is detected and increase to the
# rate given by webcam_maxrate when motion is detected (default: off)
webcam_motion off

# Maximum framerate for webcam streams (default: 1)
webcam_maxrate 20

# Restrict webcam connections to localhost only (default: on)
webcam_localhost off


```

```
# Limits the number of images per connection (default: 0 = unlimited)
# Number can be defined by multiplying actual webcam rate by desired number of seconds
# Actual webcam rate is the smallest of the numbers framerate and webcam_maxrate
webcam_limit 0
```

ANEXO A


Características do Asus Eee PC 901

As características técnicas do Asus Eee PC 901 são:

Componente	Descrição
Processador	Intel Atom 1.60GHz
Chipset	Integrated Intel GMA 900 GPU
Mass storage	20GB of Flash-based storage (4GB onboard SSD and 12GB PCI-E mini card SSD)
Memoria	1GB of DDR2 RAM (667MHz)
Sistema Operativo	Linux
Tamanho do monitor	8.9-inch screen with 1024 x 600 resolution
Portas	3 USB 2.0, 1 VGA monitor out, headphone jack, microphone input, SD card reader (SDHC compatible), Kensington lock slot, Ethernet 10/100
Webcam	Webcam (1.3 MP)
Bateria	6-cell 6600 mAh 7.4V Li-Ion
Wireless	802.11b/g/n
Input	Keyboard and Multi-touch touchpad
Dimensões	6.87" x 8.87" x 1.63" (L x W x H)
Peso	2.42 lbs or 1.1Kg
Foto	

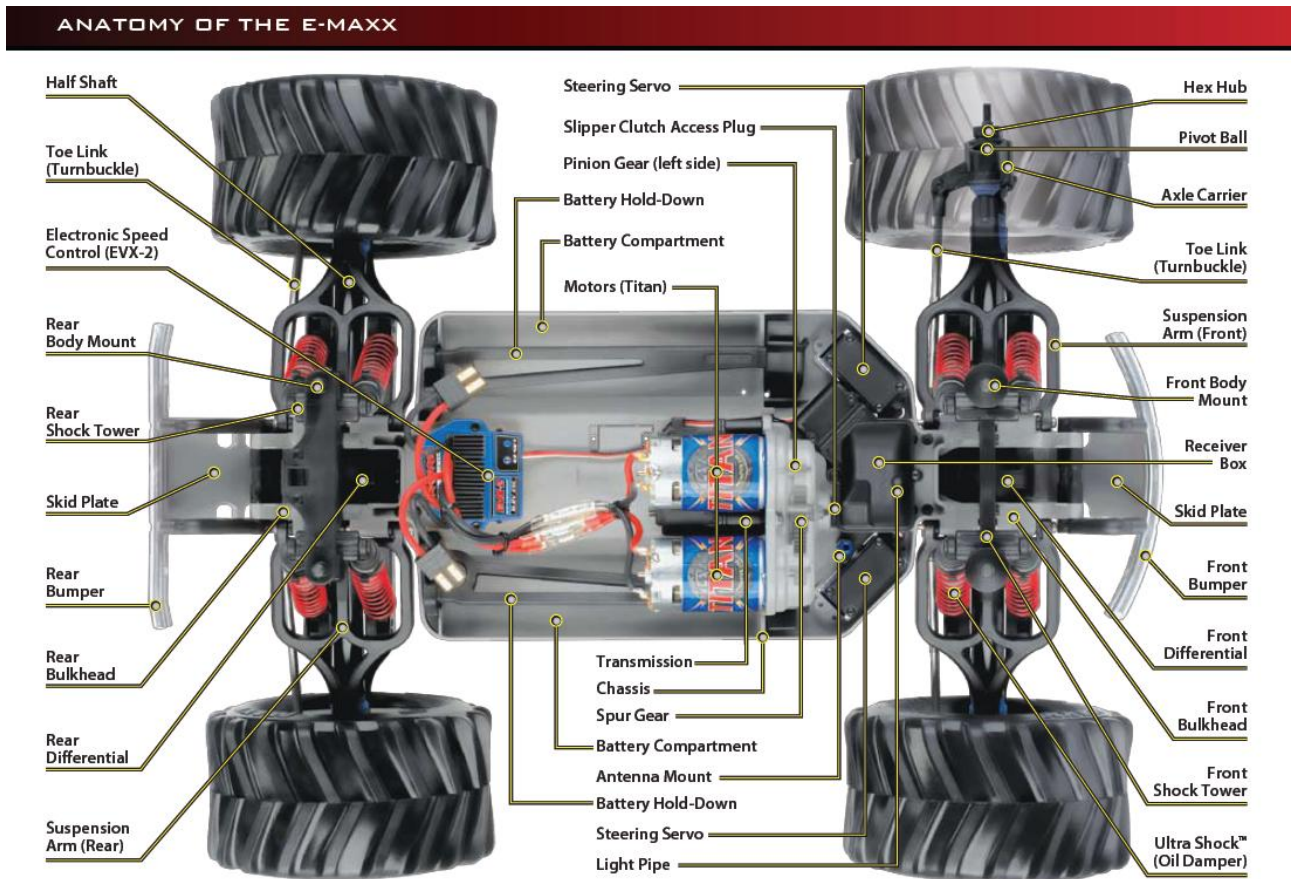
ANEXO B

Características da WebCam

Característica	Descrição
Lente	Carl Zeiss® optics with autofocus
Sensor	Native 2MP HD sensor
Qualidade de vídeo	HD video capture (up to 1600 X 1200*)
Alta Definição	720p widescreen mode with recommended system
Tamanho máximo de pixies (foto)	Up to 8-megapixel photos (enhanced from native 2MP sensor)
Som	Microphone with Logitech® RightSound™ technology
Frames por Segundo	Up to 30 frames per second video
Interface	Hi-Speed USB 2.0 certified
Foto	

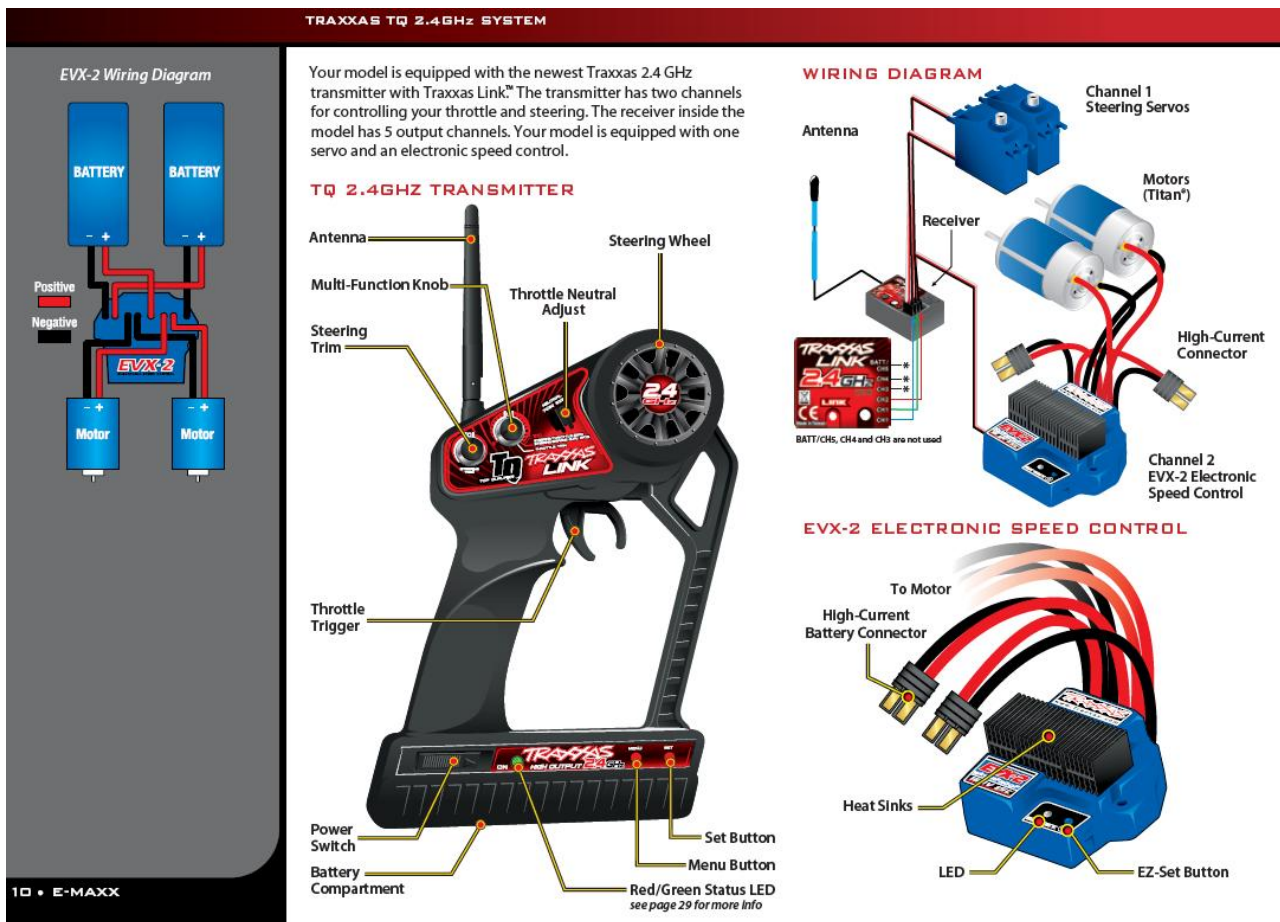
ANEXO C

Anatomia e características do veículo



Anexo D

Características eléctricas do veículo



Bibliografia

1. teslasociety.com. teslasociety.com. [Online] [Citação: 12 de 5 de 2010.]
<http://www.teslasociety.com/radio>.
2. www.antiquebabytoys.com. [Online] [Citação: 20 de 10 de 2010.]
<http://www.antiquebabytoys.com/3300/toys-giocattoli/>.
3. mardaveonline. mardaveonline. [Online] [Citação: 14 de 5 de 2010.]
<http://mardaveonline.co.uk>. 1.
4. www.tamiya.com. [Online] [Citação: 20 de 10 de 2010.]
http://www.tamiya.com/english/tamiya/tamiya_03.htm.
5. www.racing-cars.com. www.racing-cars.com. [Online] [Citação: 21 de 9 de 2010.] :
<http://www.racing-cars.com/sitepage/companyinfo.html>.
6. *Stable adaptive teleoperation*. Slotine, Günter Niemeyer and Jean-Jacques E. s.l. : IEEE Journal of Oceanic Engineering, January 1991, Vols. 16(1):152-162.
7. *Ambiente de Telerobotica em EaD*. D'Abreu J. V. V., Chella M. T. Campinas SP : s.n., 2003, Vols. XIII Simposio Brasileiro de Informatica na Educação - SBC 2003.
8. D. Hemmendinger, A. Ralston and Ed. McMillan. *Telerobotics*. s.l. : Encyclopedia of Computer Science 4th Edition, 2000. p. 1749.
9. Technical Commite on Tele robotics. [Online] [Citação: 14 de 4 de 2010.]
<http://tctelerobotics.lsr.ei.tum.de>.
10. *Network bases infrastructure for distributed remote operations and robotics research*. G. V.Kondraske, R. A. Volz, D. H. Johnson, D. Tesar, J. C. Trinkle, and C. R. Price. 5, October de 1993, IEEE Transactions on Robotics an Automation, Vol. 9, pp. 702-704.
11. *Teleoperation via the World Wide Web*. Goldberg, K., Mascha, M., Genter, S., Rothenberg, N., Sutter, C., Wiegley, J. Nagoya, Japan : Proc. IEEE International Conference on Robotics and Automation, May 1995.
12. *A Telerobot On The World Wide Web*. Taylor, K., Trevelyan, J. Melbourne, Australia : Proceedings 1995 of the National Conference of the Australian Robot Association, July 1995.
13. Meccano. [Online] [Citação: 12 de 5 de 2010.] <http://www.meccano.com/>.
14. www.cellular.co.za. [Online] 20 de 10 de 2010.
http://www.cellular.co.za/cellphone_inventor.htm.

15. **Yacoub, Michel Daoud.** *Foundations of Mobile Radio Engineering.* s.l. : Hardback , 1993.
16. *Qualidade de Serviço em redes móveis: presente e futuro.* **Brito, Lina e Aguiar, Rui L.** ISEL : s.n., 2002. Conferência Científica e Técnica em Engenharia (CCTE 2002).
17. **ANACOM.** www.anacom.pt. *Serviço móvel terrestre 2.2.3.3.1.* [Online] 26 de 11 de 2003. [Citação: 21 de 9 de 2010.] URL: <http://www.anacom.pt/render.jsp?contentId=142242>.
18. [mundowireless.com.br](http://www.mundowireless.com.br). *www.mundowireless.com.br.* [Online] [Citação: 21 de 9 de 2010.] <http://www.mundowireless.com.br/edge>.
19. **Tude, Eduardo.** Tutorial de HSDPA. www.telco.com.br. [Online] 2 de 2005. [Citação: 21 de 9 de 2010.] www.teleco.com.br .
20. Traxxas. [Online] [Citação: 12 de 5 de 2009.] www.traxxas.com.
21. Zhong Xing Telecommunication Equipment . [Online] [Citação: 12 de 5 de 2010.] <http://www.zte.com.au/main/MF636.htm>.
22. www.arduino.cc. *www.arduino.cc.* [Online] 21 de 9 de 2010. <http://www.arduino.cc/>.
23. Professor Fernando Lobo. [Online] [Citação: 12 de 4 de 2010.] <http://www.deei.fct.ualg.pt/~flobo/daw/slides/intro.pdf>.
24. Dynamic Network Services. [Online] [Citação: 15 de 4 de 2010.] www.dyndns.com.
25. Gtk Radiant. [Online] [Citação: 12 de 4 de 2010.] <http://www.qeradiant.com>.
26. standards.iso.org. *standards.iso.org.* [Online] [Citação: 12 de 7 de 2010.] <http://standards.iso.org/ittf/PubliclyAvailableStandards/index.html>.
27. Centre de Robotique Intégrée d'Ile de France. [Online] [Citação: 21 de 4 de 2010.] <http://www.criif.fr>.
28. Mars Science Laboratory. [Online] [Citação: 12 de 5 de 2010.] http://www.nasa.gov/mission_pages/msl/index.html.
29. www.racing-cars.com. [Online] 20 de 10 de 2010. <http://www.racing-cars.com/sitepage/companyinfo.html>.