



**Universidade do Minho**  
Escola de Engenharia

Nuno Alexandre Silva Fernandes do Gago

**Fusão Multissensorial para aplicação em  
robô de monitorização Agrícola**

Dissertação de Mestrado  
Mestrado em Engenharia Eletrónica Industrial e  
Computadores

Trabalho efetuado sob a orientação de  
Professor Doutor Agostinho Gil Teixeira Lopes

Setembro de 2018

## DECLARAÇÃO

Nome: Nuno Alexandre Silva Fernandes Gago

Endereço eletrónico: A40605@alunos.uminho.pt Telefone: 916941234

Bilhete de Identidade/Cartão do Cidadão: 12832907

Título da dissertação: Fusão Multissensorial para aplicação em Robô de monitorização Agrícola

Orientador:

Professor Doutor Agostinho Gil Teixeira Lopes

Ano de conclusão: 2018

Mestrado em Engenharia Eletrónica Industrial e Computadores

DE ACORDO COM A LEGISLAÇÃO EM VIGOR, NÃO É PERMITIDA A REPRODUÇÃO DE QUALQUER PARTE DESTA TESE/TRABALHO.

Universidade do Minho, \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

Assinatura:

## AGRADECIMENTOS

A execução desta dissertação não teria sido possível sem o contributo de algumas pessoas, às quais expresso agora o meu agradecimento.

Ao meu orientador Professor Doutor Agostinho Gil Lopes, pelo acompanhamento, motivação, orientação e conhecimentos transmitidos durante todo este percurso.

Ao meu pai por todos ensinamentos passados desde as práticas de boa gestão, ao gosto pela eletrónica e que para aprender é preciso fazer, errar, reparar e contar todos os parafusos para que no fim não sobre nenhum.

À minha mãe por toda a confiança transmitida, por ensinar que não devemos baixar os braços, por transmitir fé e ensinar o verdadeiro significado da palavra resiliência.

Ao meu irmão, por todas as longas conversas, amizade e por tudo que proporcionou de forma a obter as bases para o conhecimento tecnológico que disponho.

Aos meus avós, por transmitirem o gosto pelo trabalho na natureza, pela arte de dizer bom dia, pelo saber falar com silêncio e o saber estar na vida com calma apreciando o que nos envolve. Sabendo que com arte e engenho até o arado mais pesado move-se sozinho.

À minha companheira, amiga, fonte de luz e calor, Joana Vieira, um obrigado pela companhia em todos os momentos. Crescemos e amadurecemos juntos.



## RESUMO

Os recentes avanços em múltiplas áreas de sensorização (deteção de proximidade, múltiplos formatos de sistemas de visão e posicionamento por satélite) têm vindo a aumentar a utilização dos veículos terrestres não tripulados na Indústria Agrícola. Estes veículos, suportando a análise contínua, dinâmica e de proximidade, permitem a potencial otimização da produção alimentar e/ou controlo de infestações.

Esta dissertação apresenta o desenvolvimento de um veículo terrestre não tripulado, enquadrado na área da robótica de serviços, para uso em Agricultura de precisão. O veículo terrestre não tripulado integra uma Plataforma Móvel, Grupo Ótico e Plataforma de Computação.

Relativamente à Plataforma Móvel, toda a estrutura foi fabricada com a perspetiva de poder ser reproduzida de forma livre, *open source*, utilizando metodologias de fabrico por impressão 3D. Esta prototipagem foi complementada por peças produzidas em fresagem e torneamento *CNC*, utilizando técnicas modernas de assemblagem.

Para o Grupo Ótico, seguiu-se a mesma filosofia de *open source*, com uso de impressão 3D, complementada com a seleção de equipamentos de aquisição de imagem numa gama de baixo orçamento. Foram documentados todos os passos suportando o desenvolvimento de um sensor de visão térmica de baixo custo e grupos de câmaras multiespectrais, com posterior validação e calibração em testes padronizados.

Na Plataforma de Computação foi utilizada uma placa comercial, *Nvidia Jetson®*, com desenvolvimento de software (meta-sistema operativo *ROS*), facilitando a recolha do avultado volume de dados fornecidos por todos os sensores.

Por fim, a Plataforma Móvel, Grupo Ótico e Plataforma de Computação foram integradas numa plataforma única, veículo terrestre não tripulado, com o intuito de aplicabilidade e facilitação de aquisição de dados em sistemas reais da indústria de Agricultura de precisão, bem como potencial extrapolação às áreas de Segurança Civil e Militar.

Palavras-Chave: Agricultura de precisão; visão térmica multiespectral; veículos terrestres não tripulados; computação embebida.



## ABSTRACT

The recent advances in multiple areas of sensorization (proximity sensing, multiple vision system formats and satellite positioning) have been increasing the use of unmanned ground vehicles in the Agricultural Industry. These vehicles, supporting the continuous, dynamic and proximity analysis, allow the potential optimization of food production and / or control of infestations.

This dissertation presents the development of an unmanned ground vehicle, framed in the area of service robotics, for use in precision agriculture. The unmanned ground vehicle integrates a Mobile Platform, Optical Group and a Computing Platform.

Regarding the Mobile Platform, the entire structure was manufactured with the perspective of being able to be freely reproduced, *open source*, using manufacturing methodologies for 3D printing. These prototypes were complemented by parts produced in *CNC* milling and turning, using modern assembly techniques.

For the Optical Group, the same philosophy of *open source* was followed, using 3D printing, complemented by the selection of image acquisition equipment in a low budget range. We documented all the steps supporting the development of a low-cost thermal vision sensor and multispectral chamber groups, with subsequent calibration and validation in standardized tests.

In the computing platform, a commercial card, *Nvidia Jetson*®, was developed with software development (*ROS* operating meta-system), making it easy to collect the large amount of data provided by all the sensors.

Finally, the mobile platform, Optical Group and computing platform were integrated into a single platform in an unmanned ground vehicle, with the purpose of applying and facilitating the acquisition of data in real systems of the precision agriculture industry, as well as potential extrapolation to the areas of Civil Security and Military.

KEYWORDS: precision agriculture; multispectral thermal vision; unmanned ground vehicle; embedded computation.





# ÍNDICE

Agradecimentos.....	iii
Resumo .....	v
Abstract.....	vii
Índice .....	ix
Lista de Figuras.....	xiii
Lista de Tabelas.....	xix
Lista de Abreviaturas, Siglas e Acrónimos.....	xxi
1. Introdução .....	1
1.1 Enquadramento e desafio .....	1
1.2 Objetivos .....	2
1.3 Motivação .....	3
1.4 Estrutura da dissertação.....	3
2. Revisão Bibliográfica .....	5
2.1 Estado da arte.....	5
2.1.1 <i>FLIR DUO R</i> .....	5
2.1.2 <i>Parrot Sequoia</i> .....	6
2.1.3 <i>Sensor Sланtrange 3p Multispectral</i> .....	7
2.1.4 <i>AerialTronics - Pensar</i> .....	8
2.1.5 <i>Câmara MAPIR - Kernel</i> .....	9
2.1.6 <i>Propeller Aeropoints</i> .....	9
2.1.7 <i>Robô vineyard weeding - Naïo©</i> .....	10
2.1.8 <i>Robô AgBot II – QUT©</i> .....	11
2.1.9 <i>ClearPath Husky</i> .....	12
2.1.10 <i>Ardupilot</i> .....	13
2.1.11 <i>Companion computers</i> .....	13
2.2 Fundamentos teóricos.....	14
2.2.1 Visão.....	14
2.2.2 Sensores <i>RGB</i> .....	16
2.2.3 Sensores monocromáticos .....	18

2.2.4	Sensores multiespectrais e hiperespectrais .....	19
2.2.5	Sensor térmico .....	23
2.2.6	Análise espectral .....	23
2.2.7	Índices de vegetação.....	25
3.	Metodologia.....	27
3.1	Plataforma Móvel.....	30
3.1.1	Componentes e sistema de controlo.....	30
3.1.2	Conceção e desenho .....	32
3.1.3	Prototipagem e fabrico .....	35
3.2	Grupo Ótico .....	37
3.2.1	Modificação da <i>FLIR</i> e da placa <i>Purethermal</i> .....	37
3.2.2	Modificação Webcam .....	39
3.2.3	Sensor Temperatura .....	39
3.2.4	Construção estrutura.....	40
3.2.5	<i>Sensor Razor 9DOF IMU</i> .....	41
3.3	Sensor externo .....	42
3.4	Testes ao Grupo Ótico.....	43
3.4.1	Alvos de calibração .....	43
3.4.2	Teste com iluminação artificial.....	44
3.5	Plataforma Calibração .....	46
3.5.1	Design.....	46
3.5.2	Escolha de sensores/equipamento .....	47
3.5.3	Testes Sensor Térmico .....	49
3.6	Plataforma de Computação.....	51
3.6.1	Configuração Placa <i>Nvidia Jetson</i> .....	52
3.6.2	Mosquitto.....	53
3.6.3	<i>Home Assistant</i> .....	53
3.6.4	<i>MQTT.fx</i> .....	54
3.6.5	Ferramenta <i>V4L2</i> .....	56
3.7	Configuração <i>ROS</i> .....	57

3.7.1	<i>MQTT Bridge</i> .....	58
3.7.2	<i>Video_stream_opencv</i> .....	58
3.7.3	<i>Mavros</i> .....	58
3.7.4	<i>Visualização</i> .....	59
4.	Resultados.....	60
4.1	Resultados <i>Flir One</i> e <i>Flir Tools</i> .....	60
4.1.1	Análise de resultados com <i>Flir One</i> .....	63
4.2	Resultados dos testes <i>LEDs</i> .....	63
4.3	Análise da <i>Flir Purethermal</i> .....	65
4.4	Resultados do Grupo Ótico com iluminação artificial.....	67
4.5	Resultados do Grupo Ótico no exterior.....	78
4.5.1	Análise aos resultados do Grupo Ótico.....	83
4.6	Resultados <i>ROS</i> .....	84
5.	Integração de todos os sistemas.....	87
5.1	Integração do <i>Hardware</i> .....	87
5.2	Planeamento da plantação e das trajetórias da Plataforma Móvel.....	89
5.3	Integração do <i>Software</i> .....	92
6.	Resultados Integração.....	93
6.1	Sensor externo.....	93
6.2	Plataforma Móvel em cenário de campo de agricultura.....	95
6.3	Especificações finais da Plataforma Móvel.....	103
7.	Conclusão e trabalho futuro.....	105
7.1	Trabalho Futuro.....	106
	Bibliografia.....	109



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. <i>FLIR Duo R</i> em formato câmara de desporto [1].....	6
Figura 2. Câmara multiespectral vendida (PVP \$USD 3500) pela <i>Parrot®</i> [2]. ....	7
Figura 3. Equipamento de aquisição de imagem multiespectral e sensor de luz externo da marca <i>Slantrange</i> [3].....	8
Figura 4. Sensor duplo de aquisição de imagem (PVP 14.500 eur) fabricado pela <i>Aerialtronics</i> [4].....	8
Figura 5. Múltiplas caixas e módulos de aquisição de imagem disponibilizados pelo fabricante <i>MAPIR</i> [5]. ....	9
Figura 6. Representação dos comprimentos de onda de cada filtro (cada cor corresponde a um filtro) disponibilizado pelo fabricante <i>MAPIR</i> [5].....	9
Figura 7. Alvo de calibração de posição fabricado por <i>Propeller</i> [6]. ....	10
Figura 8. Especificações do <i>vineyard weeding</i> de acordo com especificado pelo fabricante <i>Naïo©</i> .....	10
Figura 9. a) Estrutura do robô <i>vineyard weeding- Naïo©</i> ; b) Vista fornecida por câmara; c) Vista fornecida por câmara com implementação do algoritmo de visão [7]. ....	11
Figura 10. Caso de utilização e apresentação de interface gráfica de controlo do <i>AGbot II</i> [8]. ....	12
Figura 11. Plataforma Móvel, <i>Unmanned Ground Vehicle, ClearPath Husky</i> do fabricante <i>Clearpathrobotics©</i> [9]. ....	12
Figura 12. Especificações do <i>ClearPath Husky</i> de acordo com o fabricante <i>Clearpathrobotics©</i> [9]. ....	12
Figura 13. Placa da <i>Ardupilot</i> versão 2.5. ....	13
Figura 14. Espectro de frequências eletromagnético, com destaque para as frequências visíveis ao ser humano [10].....	15
Figura 15. Representação do processo aditivo para formação de cores percebidas pelo ser humano [13]. ....	16
Figura 16. Representação do processo de captura de conteúdos através de diferentes câmaras. ....	16
Figura 17. a) Resposta espectral de um sensor de captura de imagem com filtro infra-vermelhos integrado [16]; b) Resposta espectral de um sensor de captura de imagem sem filtro infra-vermelhos <i>AR0130CS</i> [17].....	17
Figura 18. Comparação entre dois modelos diferentes de sensores monocromáticos. a) Câmara <i>Dcc3260m</i> [16], b) Câmara <i>Dcc1545M</i> [17]).....	19
Figura 19. Câmara multiespectral obtida através da utilização de uma roda de filtros [20]. ...	20
Figura 20. Representação gráfica da câmara multiespectral com tecnologia 3-CCD [21].....	20
Figura 21. Representação de câmara multiespectral com tecnologia 3-CCD [22] : a) Modelo da câmara em formato pronto a ser integrado; b) Modelo prismático baseado no princípio <i>Phillips</i> .....	21
Figura 22. a) Representação da câmara hiperespectral, <i>Specim Fenix</i> (painel esquerdo); b) Câmara montada numa plataforma de redução de vibrações instalada no interior de um avião (painel direito) [25].....	22
Figura 23. Sensores multiespectrais da <i>Ximea©</i> , disponibilizando múltiplas bandas de análise recorrendo a dois tipos de obtenção de imagem, <i>line scan e snapshot mosaic</i> [26]. ....	22
Figura 24. Paleta de cores tipicamente utilizada pela marca de câmaras [27].....	23
Figura 25. Exemplificação do processo de absorção e de iluminação de uma folha. ....	24

Figura 26. Relacionamento de saúde da planta com a componente do espectro [30].	25
Figura 27. Exemplo gráfico de rácio de <i>NDVI</i> , para análise de distribuição de vegetação saudável no solo. O resultado é próximo de 1, se a vegetação estiver num estado saudável, e próximo de -1 ou 0, se o estado das plantas não for saudável ou não existir plantação [31].	26
Figura 28. Exemplo gráfico de rácio de <i>NDVI</i> , para análise da vegetação [32].	26
Figura 29. Exemplos de paletes de cores utilizadas para <i>NDVI</i> e para índices de humidade [33] [34].	26
Figura 30. Diagrama geral do sistema composto por cinco componentes (Plataforma de Computação dedicada ( <i>Nvidia Jetson</i> ); Grupo de Sensores; Grupo Ótico; Plataforma Móvel e um computador (PC).	27
Figura 31. Diagrama de interação dos componentes utilizados no sistema <i>ROS</i> .	28
Figura 32. Diagrama exemplificativo da comunicação através do sistema <i>MQTT</i> .	28
Figura 33. Representação em diagrama do Grupo Ótico.	29
Figura 34. Diagrama da interação dos diversos componentes da Plataforma Móvel.	29
Figura 35. Plataforma Móvel (veículo terrestre não tripulado) em fase de prototipagem no âmbito de desenvolvimento desta dissertação.	30
Figura 36. Placa <i>APM 2.5</i> utilizada na monitorização e controlo do sistema.	30
Figura 37. a) Resultado final do Grupo de controlo; b) Após fabricação em <i>CNC</i> ; c) Integração de placa de controlo de motores DC ( <i>Sabertooth 2x12</i> ).	31
Figura 38. a) Representação da roda motriz; b) Representação da roda livre.	32
Figura 39. Fotografia ao motor <i>Motion Tech Ec Series</i> , utilizado na Plataforma Móvel.	32
Figura 40. Obtenção de dados relativamente à altura dos equipamentos através de uma sonda de medição de altura integrada no equipamento de <i>CNC</i> .	33
Figura 41. Vista geral dos componentes estruturais da Plataforma Móvel desenhados em <i>CAD</i> .	34
Figura 42. Desenho e prototipagem em <i>CAD</i> de vários componentes utilizados na Plataforma Móvel, para produção no equipamento de <i>CNC</i> . a) Encaixe barra motor; b) Suporte caixa bateria; c) Barra estrutura geral; c) Encaixe rodízio/roda livre; f) Junção barra motor; g) Caixa de baterias.	34
Figura 43. Corte e fabrico das barras de alumínio com fixação <i>standard</i> na <i>CNC</i> .	35
Figura 44. a) Comparação entre peças fabricadas via processo aditivo (impressão 3D, peça à esquerda) e subtrativo ( <i>CNC</i> , peça à direita); b) demonstração de fresagem por <i>CNC</i> .	35
Figura 45. Teste de prototipagem e assemblagem da plataforma utilizando peças primariamente fabricadas através do processo aditivo (impressora 3D).	36
Figura 46. Processo de colagem dos componentes do chassis da Plataforma Móvel.	36
Figura 47. Processo de validação dos componentes criados por método aditivo, na Plataforma Móvel.	37
Figura 48. Formato final do protótipo de Grupo Ótico.	37
Figura 49. a) Sensor <i>FLIR Lepton</i> removido do equipamento <i>FLIR One</i> (b) ) [36].	38
Figura 50. Processo de remoção do sensor <i>FLIR Lepton</i> e o sensor assemblado na placa <i>PureThermal</i> . a) Flir one após remoção da tampa; b) Flir one removida da caixa envolvente; c) <i>Lepton 3.0</i> assemblado na <i>PureThermal</i> .	38
Figura 51. Processo de modificação da Webcam. a) Webcam tal como fornecida; b) Webcam com <i>board</i> do sensor desmontada, lente e encaixe separados; c) Webcam pronta a ser instalada com nova pala impressa em 3D; d) Filtro infravermelho removido.	39
Figura 52. Sensor passive infrared (PIR) montado numa <i>Protoboard</i> .	40
Figura 53. Prototipagem ( <i>CAD</i> ) para o desenvolvimento de Grupo Ótico. a) Fixador de câmara <i>USB</i> ; b) Fixador do Grupo Ótico; c) Tampa porta filtros; d) Sensores alinhados na placa de fixação.	41

Figura 54. Sensor <i>Razor 9Dof IMU</i> .....	41
Figura 55. Diagramas de resposta do sensor externo <i>TSL2581FN</i> [37]. a) Resposta normalizada vs deslocamento angular; b) Sensibilidade Espectral.....	42
Figura 56. a) Sensor de temperatura <i>MCP9808</i> ; b) Sonda de temperatura <i>Dallas DS18B20</i> . 43	
Figura 57. Alvos de calibração comerciais para correção de cores e focagem. a) Cartão de calibração <i>middle grey</i> ; b) Cartão calibração cores; c) Cartão calibração <i>focus</i> . ....	43
Figura 58. Alvo de calibração para correção de distorção dos elementos óticos, segundo o método de padrão de xadrez desenvolvido por Zhang [38]......	44
Figura 59. Resposta espectral segmentada em bandas de acordo com os <i>LEDs</i> utilizados [39]. .....	45
Figura 60. <i>Array</i> de <i>LEDs</i> infravermelhos, desenvolvido especificamente para esta dissertação. ....	45
Figura 61. Lâmpada de halogéneo no formato <i>H4</i> .....	45
Figura 62. Análise de espectro de lâmpada de halogéneo no formato <i>H4</i> [40]......	46
Figura 63. Prato de calibração, composto por elemento resistivo de aquecimento e múltiplos <i>LEDs</i> . ....	46
Figura 64. Desenho <i>CAD</i> de uma estrutura para suporte de componentes e calibração de posicionamento. ....	47
Figura 65. a) <i>LEDs RGB Matek</i> b) Respetivos comprimentos de onda [41]......	47
Figura 66. Placa com <i>LEDs</i> canal único: branco, vermelho, verde e azul. ....	48
Figura 67. Prato de elemento resistivo para aquecimento. ....	48
Figura 68. Posicionamento das sondas de temperatura com fita adesiva de alumínio.....	49
Figura 69. Sonda de temperatura <i>Mastech Ms6530</i> por PIR.....	49
Figura 70. Gráfico com diferentes temperaturas do corpo humano conforme a temperatura ambiente [43]......	50
Figura 71. Plataforma de Computação Móvel, na fase de prototipagem. ....	51
Figura 72. Script exemplificativo de comandos correção de erros de software de acordo com <i>Nvidia</i> . ....	53
Figura 73. Dados obtidos através da interface do <i>Home Assistant</i> . a) Gráfico de evolução de temperatura; b) Painel de visualização de dados provenientes do Prato de Calibração; c) Painel de controlo do Prato de Calibração. ....	54
Figura 74. Leitura dos parâmetros acerca do servidor <i>MQTT</i> . ....	55
Figura 75. Subscrição de todos os tópicos que circulam no servidor <i>MQTT</i> . ....	55
Figura 76. Execução de scripts no programa <i>MQTT.fx</i> . ....	56
Figura 77. Manipulação dos parâmetros da webcam através da ferramenta <i>V4l2CTL</i> . a) Painel de configurações gerais; b) Painel de configurações do utilizador; c) Painel de configurações da câmara. ....	57
Figura 78. Fotos provenientes do sensor <i>Flir One</i> em calçada à temperatura ambiente de 30°C. No topo da foto “a)” podemos observar as folhas em decomposição. a) Imagem proveniente do sensor rgb <i>Flir One</i> ; b) Imagem proveniente do ser térmico da <i>Flir One</i> ; c) Gradiente de temperatura fornecido pela ferramenta <i>Flir Tools</i> . ....	60
Figura 79. Fotos provenientes do sensor <i>Flir One</i> onde se regista o efeito de uma sombra e os seus contornos (51 °C), a diferença de temperatura entre o cimento e uma planta (44.1 °C - 60.4 °C), a uma temperatura ambiente de 39°C. a) Imagem proveniente do sensor rgb <i>Flir One</i> ; b) Imagem proveniente do ser térmico da <i>Flir One</i> ; c) Gradiente de temperatura fornecido pela ferramenta <i>Flir Tools</i> . ....	61
Figura 80. Fotos provenientes do sensor <i>Flir One</i> , sendo passível a diferenciação térmica de laranjas inertes no chão e a observação do seu estado de saúde. a) Imagem proveniente do sensor rgb <i>Flir One</i> ; b) Imagem proveniente do ser térmico da <i>Flir One</i> ; c) Gradiente de temperatura fornecido pela ferramenta <i>Flir Tools</i> . ....	62

Figura 81. Foto proveniente do sensor <i>Flir One</i> onde é realçado a diferença de temperatura entre solo e laranja e o estado de saúde (temperatura mais elevadas) da relva.....	62
Figura 82. Resposta diferenciada do Grupo Ótico com o <i>LED Verde</i> . a) Resposta da câmara <i>RGB</i> ; b) Resposta da câmara modificada com filtro <i>Wratten 25 A</i> ; c) Resposta da câmara modificada com filtro <i>BG3</i> .....	64
Figura 83. Resposta espectral dos dois filtros, <i>Wratten 25 A</i> e <i>BG3</i> , utilizados no Grupo Ótico [48].....	64
Figura 84. Resposta diferenciada do Grupo Ótico com o <i>LED Azul</i> . a) Resposta da câmara <i>RGB</i> ; b) Resposta da câmara modificada com filtro <i>Wratten 25 A</i> ; c) Resposta da câmara modificada com filtro <i>BG3</i> .....	64
Figura 85. Resposta diferenciada do Grupo Ótico com o <i>LED Vermelho</i> . a) Resposta da câmara <i>RGB</i> ; b) Resposta da câmara modificada com filtro <i>Wratten 25 A</i> ; c) Resposta da câmara modificada com filtro <i>BG3</i> .....	65
Figura 86. Valores de temperatura do prato de calibração registados no software <i>Home Assistant</i> . ....	66
Figura 87. Imagens provenientes do Grupo Ótico, com destaque do comportamento do sensor térmico (a). a) Resposta do sensor térmico do Grupo Ótico; b) Resposta do sensor <i>RGB</i> do Grupo Ótico. ....	66
Figura 88. Calibração do Grupo Ótico através da utilização de alvos de calibração. ....	67
Figura 89. Resposta do sensor <i>RGB</i> ao <i>LED Verde</i> . ....	68
Figura 90. Resposta do Sensor <i>WR25</i> ao <i>LED Verde</i> . ....	68
Figura 91. Resposta do Sensor <i>RGB</i> ao <i>LED Azul</i> . ....	69
Figura 92. Resposta do Sensor <i>BG3</i> ao <i>LED Azul</i> . ....	70
Figura 93. Resposta do sensor <i>R25</i> à componente <i>UV</i> do <i>LED Azul</i> . ....	70
Figura 94. Resposta do Sensor <i>RGB</i> ao <i>LED Vermelho</i> . ....	71
Figura 95. Resposta do Sensor <i>WR25</i> ao <i>LED Vermelho</i> . ....	71
Figura 96. Resposta do Sensor <i>BG3</i> ao <i>LED Vermelho</i> . ....	72
Figura 97. Resposta do Sensor <i>RGV</i> ao <i>LED UV</i> . ....	72
Figura 98. Resposta do Sensor <i>R25</i> ao <i>LED UV</i> . ....	73
Figura 99. Resposta do Sensor <i>BG3</i> ao <i>LED UV</i> . ....	73
Figura 100. Resposta do Sensor <i>RGB</i> ao <i>LED IR 740nm</i> . ....	74
Figura 101. Resposta do Sensor <i>R25</i> ao <i>LED IR 740 nm</i> . ....	74
Figura 102. Resposta do Sensor <i>BG3</i> ao <i>LED IR 740 nm</i> . ....	75
Figura 103. Resposta do Sensor <i>R25</i> ao <i>LED IR 840 nm</i> . ....	75
Figura 104. Resposta do Sensor <i>BG3</i> ao <i>LED IR 840 nm</i> . ....	76
Figura 105. Resposta do Sensor <i>RGB</i> à lâmpada de halogéneo. ....	76
Figura 106. Resposta do Sensor <i>R25</i> à lâmpada de halogéneo. ....	77
Figura 107. Resposta do Sensor <i>BG3</i> à lâmpada de halogéneo. ....	78
Figura 108. Calibração de exposição e contraste do sensor <i>RGB</i> . ....	79
Figura 109. Utilização do alvo comercial <i>Mid Grey</i> e alvo de cores para referenciação de exposição. a) Calibração <i>Mid Grey</i> sensor <i>RGB</i> ; b) Calibração alvo de cores sensor <i>RGB</i> ; c) Referenciação de valores através da utilização do alvo <i>Mid Grey</i> no sensor <i>R25</i> ; d) Referenciação de valores através da utilização do alvo <i>Mid Grey</i> no sensor <i>BG3</i> . ....	79
Figura 110. Árvore de manga, utilizada como fundo para os testes ao Grupo Ótico. ....	80
Figura 111. Folha de manga visualizada pelo sensor <i>RGB</i> . ....	81
Figura 112. Folha de manga visualizada pelo sensor <i>PureThermal</i> . ....	81
Figura 113. Folha de manga visualizada pelo sensor <i>BG3</i> . ....	82
Figura 114. Folha de manga visualizada pelo sensor <i>WR25</i> . ....	83
Figura 115. Diagrama de relação entre componentes <i>ROS</i> . ....	85



Figura 116. Visualização de imagens e dados provenientes do Grupo Ótico (interface Rqt_gui). .....	86
Figura 117. Visualização dos dados provenientes da APM no software Mission Planner. ....	86
Figura 118. Desenho esquemático, layout de PCB, preparação de fabrico e encapsulamento do sensor PIR. a) Desenho do esquemático em Eagle; b) Organização de vias em Eagle; c) Preparação de corte via fresagem CNC de PCB no software FlatCam; d) Desenho da tampa traseira do sensor PIR; e) Desenho da tampa frontal do sensor PIR.....	87
Figura 119. Desenho (software Eagle) e fabrico em fresagem CNC de PCB de suporte para a placa Teensy 3.5 . a) Desenho no software Eagle de pcb para teensy 3.5; b) Pcb após fabrico por fresagem CNC; c) Comparação entre diferentes iterações de fabrico; d) Placa final pronta a ser soldada. ....	88
Figura 120. Desenho em CAD e produção da caixa (em fresagem CNC) para o suporte e integração dos diferentes componentes (Nvida Jetson, ethernet hub, modem wifi e diferentes câmaras). a) Desenho da caixa em software CAD; b) Caixa já com os componentes integrados.....	89
Figura 121. Trajetória de recolha de dados entre campos com plantas.....	90
Figura 122. Planeamento da plantação e trajetória da Plataforma Móvel.....	91
Figura 123. Introdução de ruído na zona de plantação e trajetória de movimento da Plataforma Móvel. ....	91
Figura 124. Introdução do sensor externo. ....	93
Figura 125. Análise dos tópicos publicados pelo sensor externo via MQTT e componentes ROS MQTT Bridge. ....	94
Figura 126. Controlo de altitude, posicionamento GPS e trajeto percorrido (software Mission Planner). ....	94
Figura 127. Sistema de receção e integração em portátil, com projeção em 2 monitores externos. ....	95
Figura 128. Cenário e captação em cenário de campo real, repartido por duas zonas de interesse. a) Zona com lajes e vegetação; b) Zona com frutos e plantação de forma aleatória.....	95
Figura 129. Cenário de campo descampado, com dois blocos de pavimento e alguma vegetação.....	96
Figura 130. Cenário de campo descampado, com registo de temperatura sensor Purethermal (superior esquerdo), WR25 (superior direito), BG3 (inferior direito) e RGB (meio). ....	97
Figura 131. Campo real com plantação (alface) e trilhos, que obedecem a planeamento prévio de plantação e trajetória de Plataforma Móvel. a) Visão completa de campo a ser analisado; b) Mistura de alfases verdes e roxas para avaliação de sensores modificados; c) Plantação com ruído extra; d) Plantação com plantas intercaladas de lajes. ....	97
Figura 132. Plataforma Móvel a efetuar a análise em tempo real das trajetórias planeadas. a) Plataforma a efetuar o percurso planeado de folhas intercaladas com lajes; b) Adição de fruto fresco; c) Trajetória com introdução de ruído. ....	98
Figura 133. Discriminação de alface verde e alface roxa, com sensores WR25 e BG3 (canto superior direito e canto inferior direito, respetivamente), sensor RGB (imagem do meio, linha superior) e sensor PureThermal (canto superior esquerdo) .....	99
Figura 134. Identificação de elemento externo, bloco de cimento, no meio da plantação, identificável na imagem do sensor PureThermal (canto superior esquerdo).....	100
Figura 135. Adição do elemento vegetal fruto, em bom estado de conservação (tonalidade equivalente às plantas, nos sensores WR25 e BG3).....	101
Figura 136. Diferenciação entre plantas no tabuleiro e plantadas no terreno, com nível de tonalidade branco superior (sensores WR25 e BG3, canto superior e inferior direito)...	102

Figura 137. Introdução de ruído aleatório na zona de plantação, plantas em decomposição, identificáveis na câmara térmica (canto superior esquerdo). .....	103
Figura 138. <i>Gimbal</i> para estabilização da imagem do Grupo Óptico em fase de desenvolvimento.....	107
Figura 139. Modificação de lente de ampliação, acoplada ao Grupo Óptico, com a finalidade de aquisição e focagem em objetos e/ou zonas restritas.....	107

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Especificações técnicas da <i>FLIR DUO R</i> .....	5
Tabela 2 - Especificações técnicas da <i>Slantrange 3p Multispectral</i> .....	7
Tabela 3 - Especificações técnicas da <i>AerialTronics-Pensar</i> .....	8
Tabela 4 - Especificações técnicas da câmara <i>MAPIR-Kernel</i> .....	9
Tabela 5 - Especificações do motor <i>Motion Tech Ec Series</i> .....	32
Tabela 6 - Especificações técnicas da <i>Mastech Ms6530</i> .....	50
Tabela 7 - Registo de temperatura (termómetro sem contato) no cenário de Árvore de Manga .....	80



## LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÓNIMOS

CAD - *Computer Aided Design*  
CCD - *Charge-Coupled Device*  
CMOS - *Complementary Metal-Oxide Semiconductor*  
CNC - *Computer Numerical Control*  
FDM - *Fused Deposition Modeling*  
GPS - *Global Positioning System*  
HTML5 - *Hypertext Markup Language, version 5*  
IMU - *Inertial Measurement Unit*  
IoT - *Internet of Things*  
IR - *Infrared Radiation*  
LED - *Light Emitting Diode*  
LIDAR - *Light Detection and Ranging*  
NDVI - *Normalized Difference Vegetation Index*  
Mavlink - *Micro Air Vehicle Link*  
MQTT - *Message Queuing Telemetry Transport*  
OpenCV - *Open Source Computer Vision Library*  
PIR – *Passive Infrared*  
RGB - *Red, Green, Blue*  
UAV - *Unmanned Aerial Vehicles*  
UV - *UltraViolet*  
UGV - *Unmanned Ground Vehicle*



# 1. INTRODUÇÃO

Serve este capítulo para introduzir o tema da dissertação, os objetivos a que se propõe, o que levou à decisão deste tema e a estrutura desta dissertação de mestrado.

## 1.1 Enquadramento e desafio

Em pleno séc. XXI a Agricultura enfrenta desafios sociais, económicos, ambientais e de saúde pública crescentes. Na génese destes desafios incluem-se vários fatores como o exponencial crescimento da população, globalização dos mercados, desadequação dos recursos laborais humanos e as alterações climáticas. A estes desafios associa-se a expectativa do aumento da produção agrícola e otimização dos recursos naturais existentes. Esta otimização depende do melhor aproveitamento das áreas de terrenos de cultivo em sinergia com recursos naturais como a água, fertilidade do solo em minerais, em contraponto com problemas como as pragas e as infestações.

A Indústria Agrícola tem beneficiado de múltiplos avanços tecnológicos, tais como avanços da tecnologia espacial que têm possibilitado, através dos satélites, a recolha em grande escala de dados sobre os terrenos e respetivo estado das plantações. A utilização de aeronaves equipadas com sensores de grande formato tem permitido a aquisição de imagem com maior proximidade, inclusive ultrapassando as limitações físicas que as nuvens e a camada do ozono provocam na observação por imagem espacial.

A utilização de *drones*, não substituindo por completo a utilização de aeronaves, vem permitir uma análise ainda mais próxima ao terreno, a seleção de zonas de avaliação mais pormenorizadas, com redução de custos e um tempo de resposta mais curto. A nível do terreno, no Sistema Agrícola, também se têm verificado várias inovações, nomeadamente a introdução das tecnologias *Internet Of Things* (IOT) e dos *Unmanned Ground Vehicles* (UGV). A tecnologia IOT veio adicionar uma nova dimensão na recolha de dados, nomeadamente na aquisição contínua e constante, aquisição distribuída em diferentes pontos de interesse e a possibilidade de utilização de equipamento de baixo custo. Os UGV permitem uma análise dinâmica, contínua e de proximidade no terreno, com o potencial uso em formato de navegação autónoma. A evolução das tecnologias de mapeamento de terreno, dos sensores de deteção de proximidade, o aumento da precisão dos sistemas de posicionamento por satélite, a evolução dos sistemas de visão por computador e a inovação nos sistemas de controlo de motores têm

permitido uma maior utilização destes equipamentos na Agricultura. A própria redução de peso do equipamento, para valores compreendidos entre os 25Kg e 200Kg, tem igualmente facilitado a integração destes no quotidiano dos sistemas agrícolas, atendendo a que um trator, tem cerca de uma tonelada.

Independentemente da plataforma utilizada, o tipo de sensor que é acoplado tem consequências no tipo de análise efetuada, particularmente quando destinados à prevenção e deteção de doenças em plantas. Com os avanços tecnológicos, a questão já não se coloca na restrição e/ou divisão de sistemas em *HyperSpectral*, *Multispectral* e imagem *RGB* mas, em contrapartida, na quantidade de sensores que podem estar simultaneamente integrados. Este tipo de integração tem-se tornado possível com o avanço das tecnologias de computação que têm acompanhado os requisitos de processamento cada vez mais exigentes.

## 1.2 Objetivos

Esta dissertação tem como objetivo principal a criação de veículo terrestre não tripulado, Plataforma Móvel, constituído pela integração e interação de múltiplos equipamentos/sensores de aquisição e análise/processamento da imagem, com aplicabilidade na Indústria da Agricultura. O veículo terrestre não tripulado integra uma Plataforma Móvel, Grupo Ótico e Plataforma de Computação.

Como primeira etapa propôs-se uma reflexão sobre o estado da arte com os seguintes objetivos:

- Identificação de soluções comerciais que realizem tarefas idênticas;
- Análise das especificações destas plataformas;
- Estudo da interação da radiação eletromagnética com as plantas;
- Identificação de parâmetros de análise especificamente utilizados na Indústria de Agricultura;
- Estudo dos sensores de captação de imagem;
- Estudo dos algoritmos de análise de imagem associados à agricultura.

Finda esta etapa, segue-se o desenho e implementação de um sistema que permita a análise de dados provindos de sensores de imagem e múltiplos sensores externos. Esta etapa pode ser segmentada nos seguintes objetivos:

- Análise de plataformas de movimento: *UAV* vs. *UGV*;
- Desenho e fabrico da plataforma selecionada;



- Seleção de uma plataforma de computação móvel;
- Otimização da plataforma de computação;
- Seleção de sensores de imagem;
- Modificação dos sensores imagem;
- Escolha de filtros para análise de imagem;
- Desenho e fabrico do *hardware* necessário para os sensores de imagem;
- Escolha de sensores externos, adicionais, para integrar com análise de imagem;
- Implementação do *hardware* necessário para suporte dos sensores externos;
- Seleção de *software* de comunicação e controlo de todos os equipamentos desenvolvidos;
- Implementação e otimização do *software*.

Como último objetivo, pretende-se que este sistema/equipamento seja um primeiro protótipo de um equipamento comercializável, com detalhe e especificação de todos os passos ao longo do desenvolvimento de todo o equipamento, métodos de fabrico e *software Open Source* que possam ser implementados e replicados em outros projetos.

### 1.3 Motivação

Considerando os projetos previamente desenvolvidos pelo aluno, áreas de interseção de conhecimento previamente adquirido, sobretudo na área de audiovisuais, análise de imagem, fabrico de multi-rotores, desenho de *CAD* e fabrico de material em fresagem *CNC* ou impressão em *3D*, foi proposto um tema de dissertação que implicasse o desenvolvimento de equipamentos direcionados para a agricultura.

### 1.4 Estrutura da dissertação

Na introdução foram descritos os desafios que a agricultura apresenta no estado atual e como é que a robótica pode apresentar soluções para estes desafios. Apresenta-se ainda uma descrição dos objetivos lançados para resolução nesta dissertação e a motivação para a resolução destes.

No capítulo Revisão Bibliográfica são apresentados, no Estado da Arte, equipamentos que produzem resultados equivalentes aos objetivos propostos nesta dissertação. São também

analisadas as características que os diferenciam entre si. No subcapítulo dos Fundamentos Teóricos apresentam-se os conceitos fundamentais para a análise do tema a ser dissertado.

No capítulo da Metodologia começa-se por apresentar uma visão geral de todo o sistema desenvolvido de forma a enquadrar o projeto, evoluindo posteriormente para uma visão particular de cada subsistema. Nos seguintes subcapítulos descrevem-se todos os passos necessários para a implementação dos objetivos propostos.

No capítulo dos Resultados, são apresentados os resultados obtidos e procede-se a uma análise destes.

Nos capítulos Integração de todos os sistemas e Resultados Integração descrevem-se os passos efetuados para integrar todos os sistemas numa única plataforma e analisam-se os resultados do trabalho efetuado.

No último capítulo apresentam-se as conclusões obtidas e as sugestões para futuras implementações.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo efetua-se uma análise aos componentes existentes comercialmente, indicados no capítulo estado da arte. Após essa análise efetua-se um desenvolvimento dos principais fundamentos teóricos a serem utilizados nesta dissertação.

### 2.1 Estado da arte

Os sistemas apresentados servem como fundamentação para decisão da implementação do sistema geral. São selecionadas as características particulares que serviram de referência e guia durante o desenvolvimento da plataforma.

#### 2.1.1 FLIR DUO R

A *FLIR Duo R* é uma câmara de formato compacto, leve, direcionada ao mercado dos *drones* profissionais [1], cujo formato é tradicionalmente conhecido como “câmara de desporto” (figura 1). Esta câmara tem como objetivo a sua integração rápida com as plataformas já disponíveis no mercado. Dispõe de dois sensores, um sensor térmico e outro sensor de cor, realizando a fusão da imagem internamente. O sensor térmico é radiométrico, sendo que este conceito é desenvolvido no capítulo dos Fundamentos Teóricos. Listam-se na tabela 1 os parâmetros mais relevantes da *FLIR Duo R*:

Tabela 1 - Especificações técnicas da *FLIR Duo R*

Preço PVP	\$USD 1299.99
Sensor térmico	<i>Vox Microblometer</i> não arrefecido
Resolução sensor térmico	160*120
Frequência atualização	8.3Hz
Banda espectral	7.5-13.5um
Sensor <i>RGB</i>	1920*1080
Interface <i>Mavlink</i>	Sim



Figura 1. *FLIR Duo R* em formato câmara de desporto [1].

### 2.1.2 *Parrot Sequoia*

A câmara *Parrot Sequoia* (figura 2), apresenta-se ao mercado como uma câmara multiespectral [1], para utilização em agricultura de precisão. Esta câmara é composta por quatro sensores *grayscale*, um sensor *RGB*, um *IMU*, GPS e sensor de luz. Esta câmara também se apresenta no formato “câmara de desporto”. Das múltiplas características que esta câmara dispõe salientam-se dois aspetos:

- *IMU/GPS*;
- Quatro filtros passa banda.

Relativamente aos sensores *IMU/GPS* estes apresentam-se úteis para fornecer dados de posicionamento/localização aos sistemas de gestão de imagem. Estes facilitam o trabalho dos algoritmos de fusão de imagem em *software* de processamento de imagem, dado que facilitam o agrupamento de imagens numa só imagem. O elemento de quatro filtros passa banda, permite isolar diferentes componentes do espectro de luz visível e não visível. Este tema é abordado nos fundamentos teóricos, no capítulo Componentes Óticos.



Figura 2. Câmera multiespectral vendida (PVP \$USD 3500) pela Parrot® [2].

### 2.1.3 Sensor *Slantrange 3p Multispectral*

A *Slantrange* (Tabela 2, Figura 3) é apresentada ao mercado como um sensor multiespectral com capacidade de processamento interno ou através de uma ferramenta de software dedicada. Incorpora ainda um sensor externo para calibração de luz ambiente [3]. Contém também quatro sensores de visão global *shutter* com uma resposta espectral de 410-950nm, inclui ainda sensor *GPS* e *IMU*. Oferece ainda diferentes tipos de análise das imagens recolhidas tais como: densidade populacional; distribuição de população; resultados de produção; *GNDVI*, *RNDV*, *Red Edge* e *NDVI*.

Tabela 2 - Especificações técnicas da *Slantrange 3p Multispectral*

Pvp Sensor	\$USD 4450
Pvp Software	\$USD 295 mensalidade
Processador	Qualcom Snapdragon 801
Resposta Espectral	410-950 nm
Tipo De Obturador	Global
Sensor	Si CMOS



Figura 3. Equipamento de aquisição de imagem multiespectral e sensor de luz externo da marca Slanrange [3].

#### 2.1.4 *AerialTronics - Pensar*

A *Aerialtronics-Pensar* (tabela 3, Figura 4) é uma plataforma de visão duplo espectro com capacidade de processamento interno, com um formato pronto a ser integrado em *gimbals* de drones de porte médio. Possui duas câmaras: sensor *RGB* com lente com *zoom* e um sensor térmico. Apresenta a capacidade de aplicar algoritmos de processamento de imagem em tempo real, tais como: fusão de imagem dos dois sensores; identificação e classificação de objetos. Utiliza o sistema operativo *Ubuntu 16.04 LTS (Open Source)* o que permite que se possa desenvolver de forma livre.

Tabela 3 - Especificações técnicas da *Aerialtronics-Pensar*

Sensor ótico	CMOS
Resolução	1920*1080/30fps
Distancia focal	33.0mm a 650mm
Sensor térmico	Uncooled Vox
Resolução	320*256
Frequência de atualização	9Hz
Banda Espectral	7.5 a 13.5 um
Processador	Nivida Jetson TX1



Figura 4. Sensor duplo de aquisição de imagem (PVP 14.500 eur) fabricado pela *Aerialtronics* [4].

### 2.1.5 Câmara *MAPIR - Kernel*

A câmara *MAPIR-Kernel* (tabela 4, Figura 5, Figura 6) é uma câmara modular que pode ser agrupada de forma a criar um *array* de vários sensores. Dispõe de um processador *Freescale i.MX 6*, com um sistema operativo *Open Source (Yocto Linux)*, um *IMU* e diferentes tipos de conexões.

Tabela 4 - Especificações técnicas da câmara *MAPIR-Kernel*

Sensor	3.2MP Mono (global), 14.4MP Rgb (rolling)
Lente	47 mm
Filtros sensor Mono	405 nm,450 nm,518 nm,590 nm,615 nm,685 nm,725 nm 780 nm,808 nm,850 nm,880 nm,940 nm, 945 nm
Filtros sensor <i>RGB</i>	Ir cut, 395 nm+870 nm,475 nm+550 nm+850 nm, 550 nm+660 nm+ 850nm
Conectividade externa	Usb2.0, Uart, UAVCAN, PWM, I2C, Ethernet, Hdmi



Figura 5. Múltiplas caixas e módulos de aquisição de imagem disponibilizados pelo fabricante *MAPIR* [5].

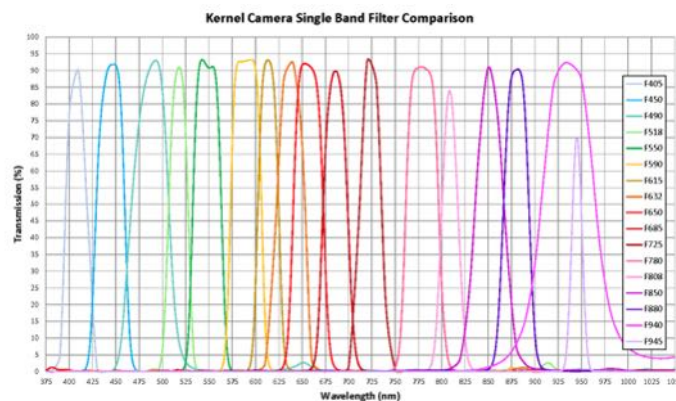


Figura 6. Representação dos comprimentos de onda de cada filtro (cada cor corresponde a um filtro) disponibilizado pelo fabricante *MAPIR* [5].

### 2.1.6 *Propeller Aeropoints*

Os *Propeller Aeropoints* são alvos de calibração para utilização em operações comerciais de *drone*, tipicamente aplicações de levantamento de dados geográficos. Estes alvos

servem para calibrar posições no solo que depois são integradas num *software* de construção de modelos *3D*. Genericamente, estes alvos podem ser descritos como um alvo com quatro quadrados (PVP. 10 unidades \$6000) (sendo dois cinzentos e dois pretos) (figura 7), um sensor de GPS e um painel fotovoltaico para permitir a carga do dispositivo durante a sua utilização.



Figura 7. Alvo de calibração de posição fabricado por Propeller [6].

#### 2.1.7 Robô *vineyard weeding* - Naïo©

O robô *vineyard weeding* da Naïo© (figura 8, 9) [7] é um equipamento desenvolvido para prestar múltiplas funções no meio agrícola. Permite a remoção de espécies de plantas não desejadas, realização de poda e ainda aparar outro tipo de plantas. Destaca-se nas funcionalidades deste robô o seu sistema de locomoção. É um sistema de tração às quatro rodas com direção independente em cada eixo. Este sistema permite manobras mais precisas e em espaços mais apertados, ao permitir a rotação sobre o próprio eixo. Para além disso, tem o potencial para efetuar o reconhecimento da qualidade das vinhas.

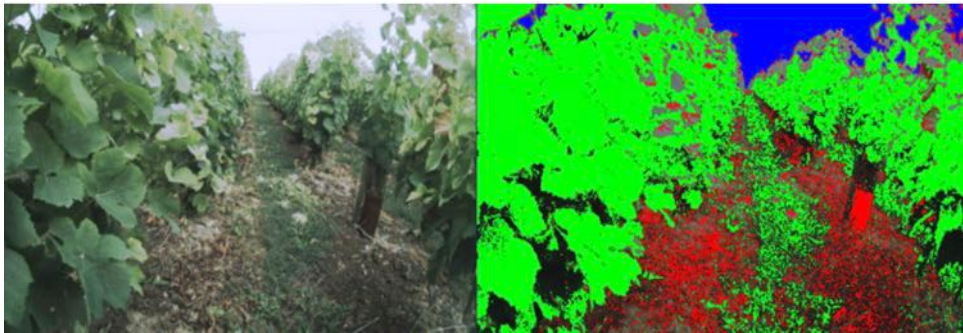
- ☛ Size : width 1m80 and height 2m.
- ☛ 4 driving and steering wheels.
- ☛ Electrically driven.
- ☛ Maximum work speed 4 km/h.
- ☛ Estimated weight : 800kg.

Figura 8. Especificações do *vineyard weeding* de acordo com especificado pelo fabricante Naïo©.





a)



b)

c)

Figura 9. a) Estrutura do robô *vineyard weeding*- Naïo©; b) Vista fornecida por câmara; c) Vista fornecida por câmara com implementação do algoritmo de visão [7].

### 2.1.8 Robô *AgBot II* – QUT©

O robô *AgBot II* (figura 10), é um robô agrícola desenvolvido na QUT©, Universidade de Tecnologia em Queensland Austrália. A informação disponível sobre este sistema ainda é escassa, mas, da análise de diferentes artigos e publicações em vídeos, é possível constatar os seguintes dados:

- Sistema de direção diferencial;
- Utilização de sistemas de visão para identificação de diferentes espécies de cultivo;
- Construção otimizada de forma a reduzir o peso e com isso menor impacto no solo da plantação;
- Aplicação de controlo para obtenção de dados em tempo real e manipulação de vários robots em simultâneo.



Figura 10. Caso de utilização e apresentação de interface gráfica de controlo do AGbot II [8].

### 2.1.9 ClearPath Husky

O *ClearPath Husky* é um UGV (*Unmanned Ground Vehicle*) (figura 11, 12) desenvolvido para possibilitar a investigação de plataformas autónomas. Esta plataforma possibilita a integração de múltiplos componentes, adaptados através do fabricante. Funciona com o sistema operativo ROS, sendo disponibilizados pelo fabricante diversas opções para configurar o sistema. De notar que a plataforma permite aceder a múltiplos parâmetros de funcionamento através do sistema operativo fornecido. O sistema de tração do robô é um sistema de tração às quatro rodas, sendo a direção controlada através de um sistema de direção diferencial e permite uma capacidade máxima de 75Kg de carga (figura 11).



Figura 11. Plataforma Móvel, *Unmanned Ground Vehicle*, *ClearPath Husky* do fabricante Clearpathrobotics© [9].

SIZE AND WEIGHT		SPEED AND PERFORMANCE	
EXTERNAL DIMENSIONS	990 x 470 x 390 mm (39 x 26.4 x 16.6 in)	MAX SPEED	1.0 m/s (2.3 mph)
INTERNAL DIMENSIONS	296 x 413 x 155 mm (11.7 x 16.2 x 6.1 in)	RUN TIME (TYPICAL USE)	3 hours
WEIGHT	50 kg (110 lbs)	USER POWER	5V, 12V and 24V fused at 5A each
MAX PAYLOAD	75 kg (165 lbs)	DRIVERS AND APIS	ROS, C++ Library, Mathworks

Figura 12. Especificações do *ClearPath Husky* de acordo com o fabricante Clearpathrobotics© [9].

### 2.1.10 Ardupilot

A *Ardupilot* (figura 13) é uma plataforma de desenvolvimento de *open source* para o controlo de sistemas autónomos. São placas que controlam a “atitude” da plataforma a ser controlada. Nela podem ser encontradas diferentes formas de implementar ou comandar diversos sistemas criando assim um “universo”. Este “universo” assenta em placas desenvolvidas em formato de código/design de *open source*.

Existem diversas vertentes de *software* para *Arduino*, das quais se destacam:

1. *Ardurover*, para controlo de plataformas no “chão”, tipicamente carros, veículos, sendo o tipo de direção ou locomoção aberto a múltiplas opções;
2. *Arducopter*, tipicamente associado a drones, no formato multirotor, com múltiplas configurações de estruturas;
3. *Arduplane*, na mesma linha do formato de drones, mas associado a formato de avião;
4. *Arduboat*, implementação para controlo de barcos.

A plataforma *Ardupilot* é bastante flexível, dispõe de milhares de horas de desenvolvimento e testes por parte de uma comunidade “fonte aberta”. Existe também um conjunto de fabricantes que fornecem componentes para o ecossistema *Ardupilot*. A placa *Ardupilot* é acompanhada de múltiplas interfaces gráficas que permitem a visualização dos dados obtidos e controlo/programação da placa.



Figura 13. Placa da Ardupilot versão 2.5.

### 2.1.11 Companion computers

*Companion computers* é o nome que é dado a sistemas de computação que interagem com a *Arducopter*. São regularmente sistemas com capacidade de processamento mais avançado, que executam tarefas pesadas para os processadores normalmente encontrados na *Arducopter*. Genericamente estas tarefas são:

- Criação de mapas de geolocalização ou de uma forma resumida SLAM (*simultaneous localization and mapping*);
- Execução de algoritmos de processamento de imagem;
- Coordenação, distribuição e escalonamento de tarefas a serem executadas pela plataforma a ser controlada.

Os *Companion computers* têm sido implementados nas seguintes plataformas: *Intel Edison*; *Raspberry Pi*; *Nvidia Jetson*. Cada plataforma tem a sua vantagem e desvantagem. O autor desta dissertação destaca os motivos que o levaram a optar pela *Nvidia Jetson TX1*, salvaguardando que, devido à constante evolução da tecnologia, a escolha de um *Companion* terá de ser efetuada com base nos dados e especificações disponíveis na altura de implementação.

Apresentam-se a seguir os principais motivos da escolha da *Nvidia Jetson TX1* para efeitos desta dissertação:

- Apoio pró-ativo do fabricante em fóruns;
- Comunidade independente bastante ativa;
- Criação de diferentes placas (“*carrier boards*”) que permitem uma integração mais rápida do sistema de desenvolvimento;
- Capacidade de processamento gráfico bastante elevado;
- Assenta em sistema operativo *open source* (*Ubuntu Mate 16.04 LTS*).

## 2.2 Fundamentos teóricos

Neste capítulo apresentam-se os fundamentos teóricos utilizados para a implementação do equipamento proposto. Estes fundamentos estiveram presentes na seleção dos equipamentos comerciais, cujos resultados foram validados por outros utilizadores.

### 2.2.1 Visão

Neste capítulo abordam-se os fundamentos necessários para a implementação do sistema de visão. São abordados temas tais como o espectro eletromagnético e as suas componentes, diferentes tipos de sensor de imagem, a componente do espectro eletromagnético utilizado pelas plantas, a eficiência da utilização do espectro da luz infravermelha para estudo da saúde das plantas e como se pode transformar este espectro em luz visível para o olho humano através de sensores de imagem (figura 14).

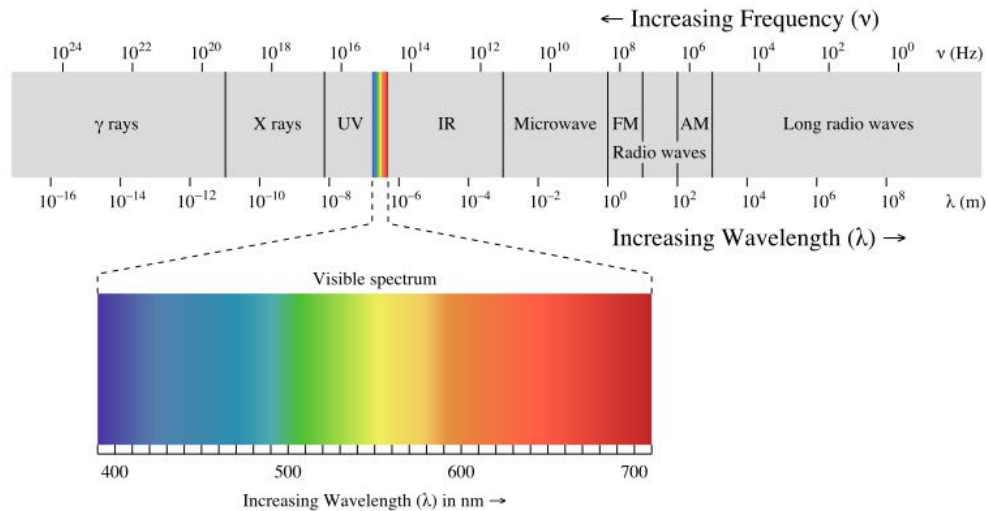


Figura 14. Espectro de frequências eletromagnético, com destaque para as frequências visíveis ao ser humano [10].

O espectro eletromagnético é classificado pelo seu comprimento de onda e existem múltiplas categorias as quais se chamam bandas. Este trabalho foca-se sobre as bandas: ultravioleta, luz visível e infravermelhos. Relativamente a estas bandas ainda é feita uma subdivisão.

Nas bandas ultravioleta temos as sub-bandas: *A, B, C, Near, Middle, Far, Hydrogen (Lyman-alpha), Vacuum Ultraviolet e Extreme Ultraviolet*. Destas sub-bandas interessa a Banda A, cujo comprimento de onda se encontra compreendido entre os 315nm e 400nm.

Nos infravermelhos temos as sub-bandas: *Near; Short-Wavelength Mid-Wavelength; Long-Wavelength e Far*. Destas interessa a *Near* com comprimentos de onda compreendidos entres os 750nm e 1.4um e a *Long* com comprimento de onda compreendidos entre os 8um e 15um.

A banda da Luz Visível está compreendida entre os Ultravioleta e os Infravermelhos, sendo esta banda tipicamente definida entre os 400 nm e 700 nm. Esta tem este nome devido ao olho humano ter, regularmente, uma resposta ao espectro compreendido nesta banda. A luz visível é feita por múltiplas cores: vermelho; laranja; amarelo; verde; azul e violeta (ROYGBV). Da combinação destas resulta a percepção da cor branco. A ausência ou absorção de todas as componentes criam a percepção da cor preto. De um ponto de vista técnico, as cores branco e preto não existem atendendo à sua forma de criação. À data de escrita deste documento era conhecido um material com uma percentagem de 99.965% de absorção de luz [11]

Quando a luz atinge um objeto podem ocorrer três fenómenos: absorção, reflexão e transmissão. Os fenómenos não são mutuamente exclusivos podendo ocorrer em simultâneo

dependendo do tipo de objeto. Estes fenómenos serão enquadrados com a resposta das plantas e dos sensores de imagem ao espectro eletromagnético.

Atendendo ao processo de iluminação e obtenção de cores, falamos de cores primárias e do processo aditivo. O processo aditivo é um processo através do qual se consegue criar todo o conjunto de cores [12]). As cores primárias para o processo de mistura de luz são: o vermelho, o verde e o azul (*RGB: Red, Green, Blue*) (figura 15). Esta seleção de cores resulta do estabelecimento da visão do ser humano como tricromática. A utilização deste modelo de representação resulta na forma como a imagem é recolhida e apresentada ao ser humano.

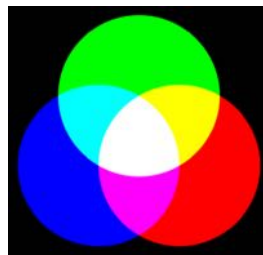


Figura 15. Representação do processo aditivo para formação de cores percebidas pelo ser humano [13].

### 2.2.2 Sensores *RGB*

No seguimento do tópico de representação de cores, olhamos agora para os sensores disponíveis para captura de imagem. A análise destes revela-se importante para permitir a correlação da imagem a ser observada e da imagem a ser transmitida.

A figura 16 é uma representação da relação entre o sensor de imagem e o ser humano, no sentido em que existe um emissor de luz, um objeto a ser analisado e um observador (o observador é a câmara).

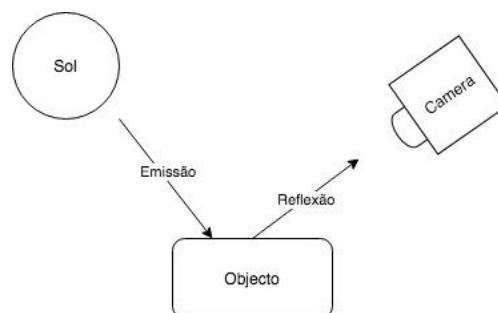


Figura 16. Representação do processo de captura de conteúdos através de diferentes câmaras.

De forma a criar uma relação entre imagem e percepção por parte do ser humano os fabricantes optam por introduzir, no sensor, um filtro adicional, atendendo a que o sensor de imagem (tecnologia *CCD* e *CMOS*) não “vê” a cor, mas sim o seu valor de luminosidade [14].

O filtro mais comum tem como nome Bayer, sendo que tem como objetivo a aproximação do sensor ao olho humano[15]. O filtro é constituído por pequenos filtros de vermelho, verde e azul distribuídos com uma percentagem de forma a imitar a sensibilidade do olho humano. De seguida é aplicado um processo de reconstrução de imagem tipicamente denominado por *demosaic*. Na figura 17 apresenta-se a resposta de um sensor *CMOS*, com o filtro *RGB Bayer* e outro sensor com características idênticas, mas com a aplicação de um filtro IR.

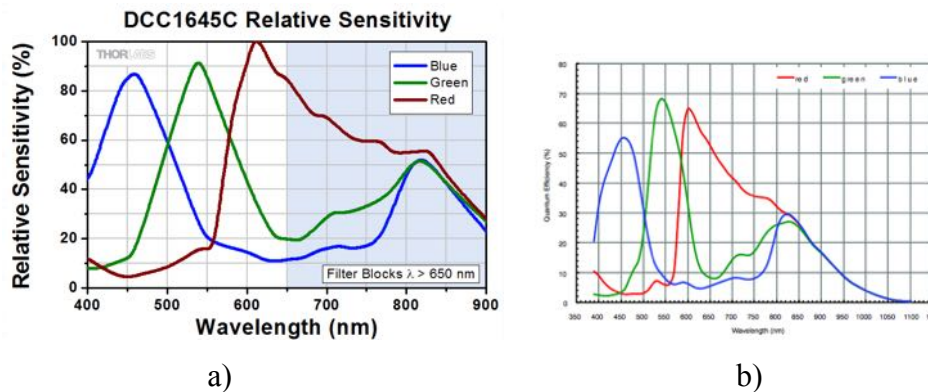


Figura 17. a) Resposta espectral de um sensor de captura de imagem com filtro infra-vermelhos integrado [16]; b) Resposta espectral de um sensor de captura de imagem sem filtro infra-vermelhos AR0130CS [17].

Observando a resposta dos dois sensores (figura 17), podem notar-se diferenças na sensibilidade relativamente às cores vermelho, verde e a azul, mas a principal diferença é a introdução do filtro *IR*. A resposta no sensor *DCC1645C* está limitada através do filtro *IR* a partir dos 650nm, removendo assim a componente dos infravermelhos. Esta deve-se ao facto de o sensor tentar obter uma performance idêntica ao olho humano. Esta componente iria introduzir ruído desnecessário na imagem apresentada ao utilizador. Observando a resposta do sensor AR0130CS a partir dos 850nm, consegue-se concluir que na banda dos infravermelhos, mais especificamente na sub banda do *Near-Infrared*, se verifica uma resposta idêntica nos três canais do sensor. Esta resposta uniforme providencia vantagens à análise da imagem nessa banda. No capítulo dos Fundamentos Teóricos, relativamente à análise da resposta da planta, fica patente a importância desta resposta uniforme.

Prosseguindo com a análise dos sensores pode-se verificar, pelos gráficos, que a resposta destes às fontes de luz (led vermelho, verde e azul) com comprimento de onda próximo dos canais de leitura *RGB*, seria praticamente idêntica, atendendo à alteração de luminosidade devido à diferença de sensibilidade dos canais. Se produzisse uma luz branca com o recurso à mistura dos três leds, a única diferença seria proveniente do processo de calibração automático



de brancos. Isto é, o branco produzido não seria idêntico. Para tal acontecer é necessário recorrer a um alvo de calibração de brancos.

Relativamente à resposta destes a uma lâmpada de espectro completo, ou luz solar, notar-se-iam diferenças. O sensor com filtro *IR* iria produzir uma cor normalmente dita como “Natural”, uma reprodução mais aproximada daquilo que o olho humano visualiza. O sensor sem filtro iria produzir uma imagem com uma coloração mais avermelhada e uma reprodução da imagem menos nítida [18].

Para uma luz com comprimento de onda nos infravermelhos o sensor com o filtro *IR* não apresenta imagem, supondo que o filtro tem uma resposta ideal e realiza um corte abrupto no comprimento de onda desejado. A resposta do sensor sem filtro seria de acordo com o comprimento de onda específico da fonte de iluminação. A componente espectral dos *IR* não tem uma cor associada. No entanto, considerando a curva de resposta do sensor, o sensor pode apresentar uma cor, atendendo às diferenças de sensibilidade de cada canal. Por exemplo, para os 750nm, o sensor tem uma resposta de transmissão de aproximadamente: 38% vermelho, 18% verde e 8% azul. Criando uma relação relativa com a representação de cores em formato 24-bit *RGB*, poderia retirar-se essa informação através da tabela de equivalência de cores. Sabe-se por experiência que, para este comprimento de onda, a cor representada é tipicamente vermelho rosa. Para um comprimento de onda a partir dos 850nm, a representação de cores produzida pelo sensor, será sempre branco, atendendo ao nível de luminosidade causado pela fonte de luz.

A concluir este subcapítulo é de inferir que a análise da resposta destes sensores *RGB*, permite tirar deduções prévias relativamente à imagem produzida para análise do estado da planta. Sabe-se, à partida, que é necessário remover o filtro *IR* de forma a obter uma resposta espectral no comprimento de onda dos infravermelhos. É possível inferir a resposta do sistema à introdução de filtros adicionais. Esta introdução de filtros será abordada na metodologia e avaliada nos resultados.

### 2.2.3 Sensores monocromáticos

Observando a figura 18 verifica-se uma curva de resposta praticamente idêntica entre sensores monocromáticos de fabricantes diferentes, sendo a diferença relevante à sensibilidade do sensor.



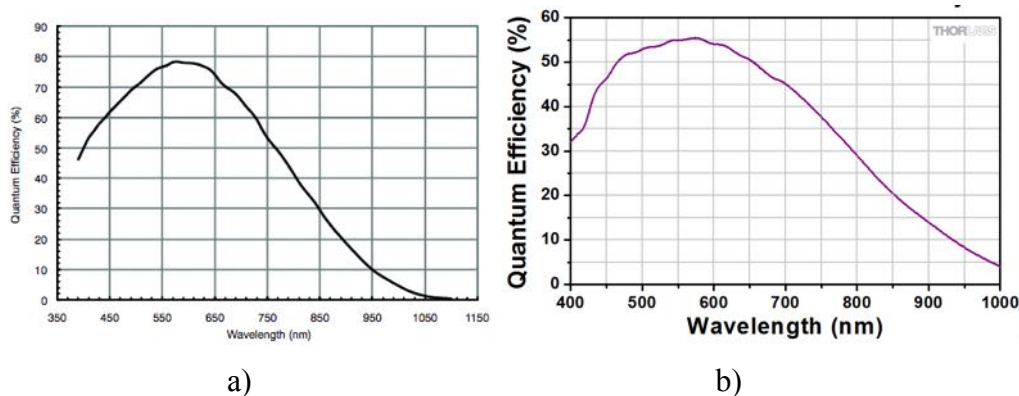


Figura 18. Comparação entre dois modelos diferentes de sensores monocromáticos. a) Câmara Dcc3260m [16], b) Câmara Dcc1545M [17])

Relativamente ao comportamento do sensor monocromático, este vai criar uma diferença de luminosidade na imagem, para cada espectro analisado, não existindo diferença de cor atendendo a que é um sensor monocromático. Isto é, a imagem resultante é um gradiente de cor. Pela análise dos gráficos de resposta de transmissão (figura 18) pode-se constatar que a resposta a partir dos 850nm é idêntica em ambos os tipos de sensores (*RGB* vs. Monocromático). No entanto, para os comprimentos dentro da banda do espectro correspondente à banda da Luz Visível, o sensor monocromático apresenta uma resposta uniforme, isto é, sem picos. Esta uniformidade de resposta é ainda mais evidente na gama dos 650nm aos 850nm. Este tipo de sensor vem validar a opção dos fabricantes apresentados no capítulo Estado da Arte. Optar por filtros passa banda de resposta curta, permite seleccionar e analisar comprimentos de onda específicos, permitindo assim uma visualização da resposta espectral com menor ruído ou, por outras palavras, sem ter que calcular a interferência dos outros canais na imagem resultante.

Como conclusão deste subcapítulo retira-se, de uma forma evidente, que a utilização de múltiplos sensores monocromáticos com filtros de banda específica é a opção que produz resultados de análise mais favoráveis à análise espectral.

#### 2.2.4 Sensores multiespectrais e hiperespectrais

Neste capítulo discute-se as câmaras multiespectrais e hiperespectrais. Estas distinguem-se dos sensores de imagem *RGB* e monocromáticos pelo maior número de bandas apresentadas.

Existe ainda a distinção entre estes sensores e os apresentados no Estado da Arte. Os sensores, apresentados no Estado da Arte, são tipicamente considerados “*arrays* de imagem”, múltiplos componentes que agrupados produzem uma ou múltiplas imagens para análise. Em

contrapartida, o sensor multiespectral é um equipamento que produz quatro ou mais bandas de análise, em bandas separadas [19]). Estas em número de quatro ou mais, surgem por motivos comerciais na necessidade de diferenciar de sensores *RGB*, que na realidade são sensores que produzem três bandas espectrais: vermelho, verde e azul.

Um dos primeiros métodos de análise multiespectral é através de obtenção de imagens, utilizando uma roda de filtros (figura 19) [20]. A seleção destes filtros implica um elevado conhecimento prévio do objeto a ser analisado, pois as frequências a serem analisadas estão relacionadas com os filtros carregados na roda de filtro. Do sincronismo desta e do sensor de imagem resulta então uma imagem correspondente a uma banda espectral. De salientar também que este é um processo relativamente lento, devido ao processo de rotação da roda de filtros.



Figura 19. Câmara multiespectral obtida através da utilização de uma roda de filtros [20].

Falando ainda sobre as câmaras multiespectrais, temos a implementação destas através da tecnologia de obtenção de imagem *3-CCD* (figura 20-21) [21] [22]. A imagem é obtida através da separação das componentes da luz por um prisma ótico tricricoico. Este prisma separa a luz em três componentes e estes componentes estão associadas ao tipo de filtro aplicado na superfície do prisma, sendo possível assim obter três, cinco ou sete bandas.

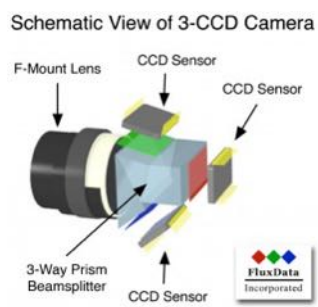


Figura 20. Representação gráfica da câmara multiespectral com tecnologia 3-CCD [21].

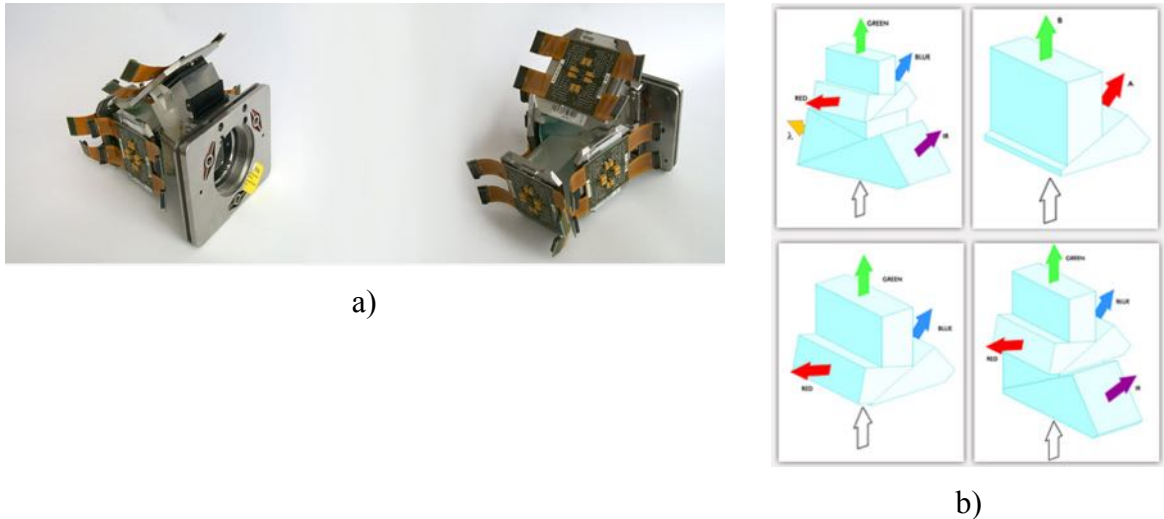


Figura 21. Representação de câmara multiespectral com tecnologia 3-CCD [22] : a) Modelo da câmara em formato pronto a ser integrado; b) Modelo prismático baseado no princípio Phillips.

Ainda sobre as câmaras hiperespectrais, importa referir que, de forma a obter este nome, as câmaras têm de produzir múltiplas bandas de análise de forma contínua. Contudo, ainda não está estabelecido o número mínimo para se definir uma câmara como hiperespectral. No entanto estas costumam produzir centenas de bandas de análise. Por banda de análise define-se a subdivisão em múltiplas zonas do espectro a ser avaliado.

Estas câmaras costumam estar associadas a um tipo de recolha de imagem denominado *pushbroom line scanner*. Estas usam uma linha de detetores alinhados com o movimento de uma plataforma de recolha de dados (ex: avião, helicóptero, etc.) [23].

Um exemplo deste tipo de equipamento é o *Specim AisaFenix* (figura 22), com uma resposta espectral dos 380nm aos 2500nm, podendo-se considerar este equipamento, hiperespectral, no sentido em que compreende múltiplas bandas espectrais: Visível, *VNIR*, *Nir* e o *SWIR*. Sendo possível uma análise de 620 bandas. No entanto a utilização deste tipo de equipamentos ainda é de uso restrito devido, quer a nível de custos do equipamento, quer a nível de utilização. A utilização destes equipamentos implica a utilização de meios de deslocamento que proporcionem uma altitude constante e um movimento linear, tipicamente associado a um avião[24]. O recurso a este tipo de equipamento exige toda uma logística que é inacessível a uma percentagem grande dos utilizadores interessados em dados provenientes deste tipo de análise de imagem.

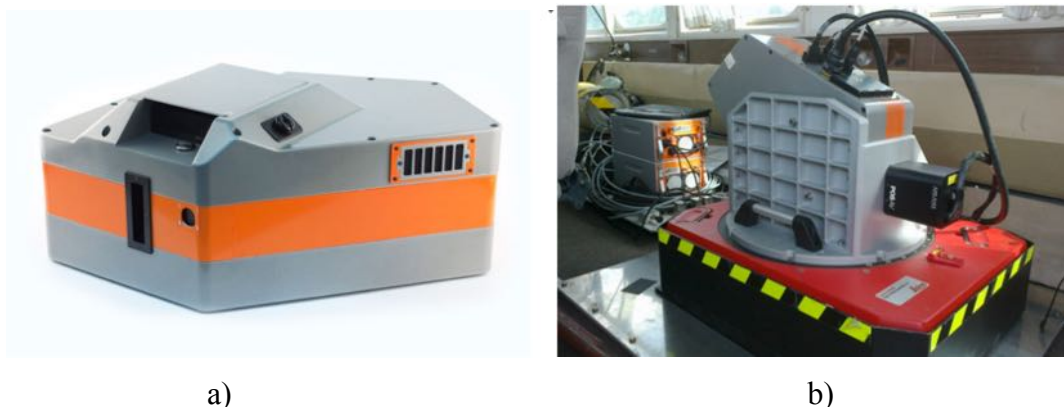


Figura 22. a) Representação da câmara hiperespectral, Specim Fenix (painel esquerdo); b) Câmara montada numa plataforma de redução de vibrações instalada no interior de um avião (painel direito) [25].

Mais recentemente têm sido disponibilizadas tecnologias de análise hiperespectral em formato mais reduzido de forma a poderem ser integradas noutras plataformas com menores custos de utilização. Um exemplo disso é o sensor da *Ximea*© (figura 23) [26]. Este sensor é fornecido em dois formatos: *line scan* e *snapshot mosaic*. O formato de *line scan* permite a análise de mais bandas espectrais, no entanto implica o mesmo tipo de movimento linear e sincronizado com a recolha de imagem tal como o sensor da *Secim*. Em alternativa a marca fornece o sensor em formato de recolha *snapshot mosaic*, sendo que a análise é reduzida de 150 para 16 a 25 bandas espectrais. Este formato permite a recolha de dados em plataformas cujo movimento não seja tão linearizado.

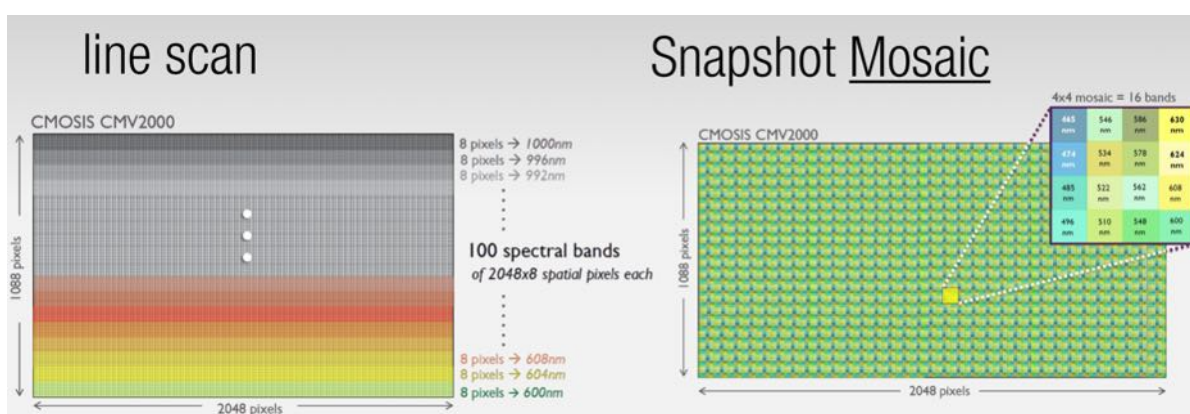


Figura 23. Sensores multiespectrais da *Ximea*©, disponibilizando múltiplas bandas de análise recorrendo a dois tipos de obtenção de imagem, *line scan* e *snapshot mosaic* [26].

Após a análise destes sensores multi e hiperespectrais, pode-se concluir que, até esta data de escrita, a opção tomada pelos fabricantes de sensores de imagem, apresentado no capítulo Estado da Arte, aparenta ser a mais económica e de implementação mais fácil.

### 2.2.5 Sensor térmico

Por sensor de visão térmica entende-se qualquer tipo de sensor que consegue transformar os dados obtidos, via análise da componente espectral da emissão térmica, numa representação que permita ao ser humano analisar os dados da mesma forma que visualiza o mundo. O sensor térmico, utilizado nesta dissertação, observa radiação numa gama geralmente dominada por infravermelho distante sendo a sua banda espectral compreendida entre os 7.5 aos 13.5 $\mu$ m. Este sensor transforma os seus dados numa imagem representada através de uma paleta de cores, atribuindo uma correspondência entre a temperatura e a paleta de cor, sendo atribuído um valor de temperatura, conforme a escala de temperatura presente, a uma cor. Existem várias paletes de cor para visualização, sendo as mais comuns: “Iron”, “Black-Hot” e “White-hot”. Estas paletes de cor existem para facilitar a interpretação dos dados obtidos (figura 24) [27].



Figura 24. Paleta de cores tipicamente utilizada pela marca de câmaras [27].

### 2.2.6 Análise espectral

As técnicas de análise de imagem permitem identificar problemas antes de estes resultarem em problemas visíveis à vista humana desarmada. A deteção da saúde das plantas por métodos de análise através de sensores de imagem *RGB*, *Multi-spectral* e *Hyperspectral* tem-se vindo a revelar útil através dos avanços tecnológicos e também devido a redução do preço da tecnologia de ferramentas de captura de imagem.

De forma a compreender a análise espectral das plantas, analisa-se o comportamento geral destas relativamente ao espectro luminoso. As plantas, através do processo de fotossíntese, realizam a conversão de energia solar em energia química. No entanto, nem todas as componentes da energia solar são absorvidas da mesma forma. As folhas contêm pigmentos que absorvem componentes da banda espectral Visível e refletem outras (figura 25). Tal como descrito no processo de cor, a luz refletida é a componente de luz que não é totalmente ou

parcialmente absorvida. A utilização de ferramentas adicionais permite visualizar e quantificar outras componentes de espectro eletromagnético refletido ou absorvido pelas plantas.

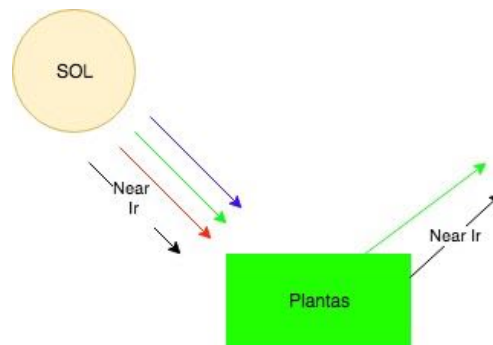


Figura 25. Exemplificação do processo de absorção e de iluminação de uma folha.

Tal como foi referido anteriormente a cor refletida de um objeto está relacionado com as cores absorvidas por este. No caso das folhas das plantas sabe-se que a cor verde, banda do espectro entre os 495 e 570nm está relacionada com a quantidade de clorofila contido na planta. Este fenómeno pode ser observado à vista desarmada ou por um sensor *RGB* não modificado. Quanto maior a quantidade de verde refletido, maior a tendência para declarar a folha da planta como saudável. Sabe-se também que a clorofila absorve a luz nas componentes azuis e vermelho da banda espectral visível. No entanto existem outras componentes que indicam o estado de saúde da planta. Tal como mencionado previamente a planta reflete outras componentes do espectro eletromagnético

Das bandas refletidas podem ser analisadas três componentes: *Near-infrared*, *Short Wave-infrared* e *Thermal-infrared*. Cada banda tem um significado de análise associado às plantas. A banda *Near-infrared* está relacionada com a quantidade de clorofila sendo que uma reflexão elevada pela planta, nesta banda, está associada a um estado saudável da planta. A banda do *Short-Wave infrared* está associada à absorção de água por parte do solo e das plantas. Tal como as restantes bandas o seu estudo para o contributo do estado saudável do solo e das plantas tem vindo a aumentar através da introdução no mercado de sensores de análise desta banda e da redução do preço das ferramentas tecnológicas. A visualização da componente espectral centrada nos 1.56nm, permite inferir a quantidade de absorção de água por parte da planta ou solo. Na banda do *Thermal-infrared*, mais especificamente dos 8um aos 14um, existe a emissão de radiação eletromagnética por parte da planta. Esta emissão de radiação permite avaliar a temperatura das plantas através da análise de imagem térmica.

Através do processo conjunto de evapotranspiração (transpiração das plantas e evaporação de água dos solos húmidos) é possível diagnosticar o estado de saúde da planta.



Uma planta menos saudável tende a reduzir o processo de evapotranspiração. Um mau estado de saúde da planta resulta então na redução do deslocamento de água entre o solo e a folha da planta. Como resultado deste processo a folha deixa de conseguir regular a sua temperatura, aproximando-se assim à temperatura ambiente [28].

### 2.2.7 Índices de vegetação

De forma a poder relacionar os valores de iluminação, absorvidos ou refletidos, foram criados índices. Estes servem para relacionar os valores obtidos pelos sensores de imagem com o estado de saúde das plantas (ou análise de solos, etc...). Existem múltiplos índices, estando estes associados ao tipo de análise que se pretende efetuar, sendo conhecidos mais de 150 índices [29].

Tanto nos sensores de imagem como nos sensores espectrais, os valores utilizados referem o comprimento de onda que estes medem, sendo os valores apresentados uma referência dependendo sempre do tipo de calibração ou modificação efetuada ao sensor.

O índice mais comum é o *NDVI*, *Normalised Difference Vegetation Index*:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$$

Este ratio é normalmente utilizado para calcular a distribuição de vegetação saudável no solo ou a presença de vegetação, tratando-se de uma divisão entre a subtração do canal vermelho ao canal dos *Near Infrared* e a soma do *Near Infrared* com o vermelho. A diferença entre valores de reflexão, dos quatro canais analisados, indicam o estado de saúde da planta (figura 26) [30]. O resultado é próximo de 1, se a vegetação estiver num estado saudável, e próximo de -1 ou 0, se o estado das plantas não for saudável ou não existir plantação (figura 27, 28) [31] [32].

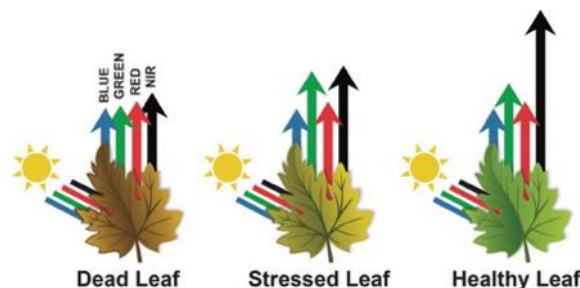


Figura 26. Relacionamento de saúde da planta com a componente do espectro [30].

Note-se que com este índice o resultado do valor 1 nunca pode ser obtido pois, mesmo observando uma cena composta por um solo preenchido de plantas, a resposta do sensor a esta terá sempre componente nos *Near Infrared* e uma componente no canal vermelho.

Relativamente a estes índices, é importante salientar que são estes que ditam os sistemas a serem utilizados ou desenvolvidos. De uma forma sintética pode-se concluir que a análise destes será composta pelos seguintes passos:

- 1- Análise da resposta espectral;
- 2- Escolha do sensor;
- 3- Calibração;
- 4- Escolha e criação do índice;
- 5- Escolha de paleta de cores.

A escolha de cores para representação dos resultados dos índices ainda não foi abordada nesta dissertação. A escolha de cor não tem um *stantard* definido, são escolhidas pelos autores do estudo ou *software* de análise (figura 27). Como se pode observar, 28 e 29, nem sempre a paleta de cor permite uma relação direta entre a análise da imagem e os resultados obtidos [33] [34].



Figura 27. Exemplo gráfico de rácio de *NDVI*, para análise de distribuição de vegetação saudável no solo. O resultado é próximo de 1, se a vegetação estiver num estado saudável, e próximo de -1 ou 0, se o estado das plantas não for saudável ou não existir plantação [31].

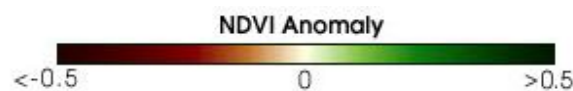


Figura 28. Exemplo gráfico de rácio de *NDVI*, para análise da vegetação [32].

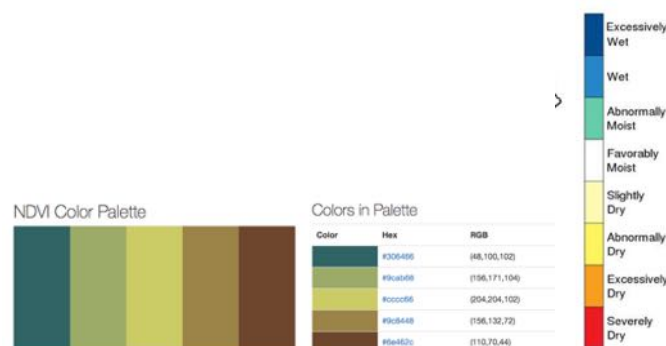


Figura 29. Exemplos de paletes de cores utilizadas para *NDVI* e para índices de humidade [33] [34].



### 3. METODOLOGIA

De forma a se tornar mais perceptível o fio condutor que esteve subjacente a todos os passos Metodológicos, são apresentados múltiplos diagramas que explicam a relação entre os diferentes componentes. Posteriormente apresentam-se, em subcapítulos, os passos necessários para implementar cada grupo, desde o ponto de partida do fabrico de *hardware* até ao *software*.

O sistema é composto por cinco componentes (figura 30): Plataforma de Computação dedicada (*Nvidia Jetson*); Grupo de Sensores; Grupo Ótico; Plataforma Móvel e um computador (PC).

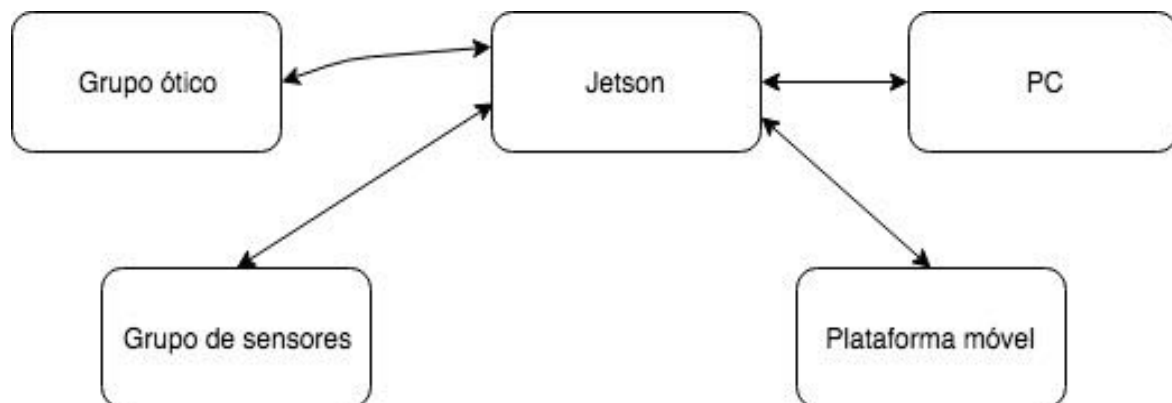


Figura 30. Diagrama geral do sistema composto por cinco componentes (Plataforma de Computação dedicada (*Nvidia Jetson*); Grupo de Sensores; Grupo Ótico; Plataforma Móvel e um computador (PC)).

Ao nível de ligações entre elementos, apenas a Plataforma Móvel consegue funcionar de forma independente. Os restantes componentes necessitam da *Jetson* para poderem fornecer ou receber dados. O sistema *ROS* corre no computador pessoal e na *Jetson*. É o sistema *ROS* (figura 31) que é responsável pela comunicação entre todos os componentes, sendo constituído por vários componentes de *software* que permitem a interligação de todo o sistema.

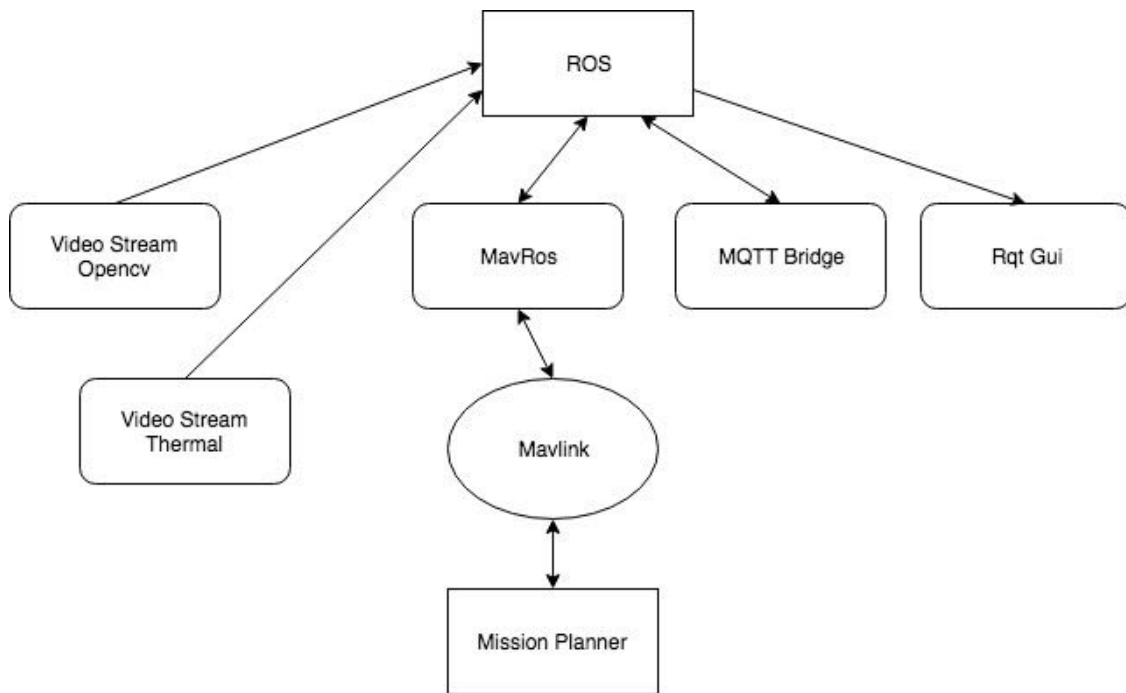


Figura 31. Diagrama de interação dos componentes utilizados no sistema ROS.

Agrupado no Grupo dos Sensores temos o prato de calibração e os sensores externos. Estes comunicam com a placa *Jetson* através do protocolo *MQTT* (figura 32). Em ambos os subsistemas temos uma esp8266 que faz a ponte entre os componentes de *hardware* e o sistema global, esta também é responsável pelo controlo dos sistemas.

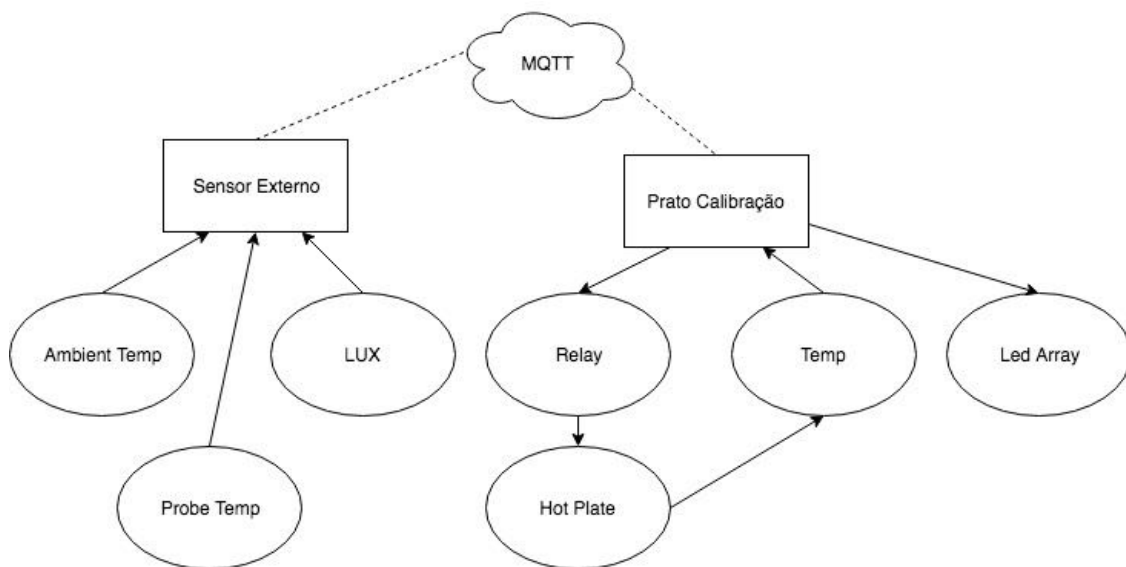


Figura 32. Diagrama exemplificativo da comunicação através do sistema MQTT.

O Grupo Ótico (figura 33) é constituído por seis câmaras, um sensor *PIR* e um *IMU*. Das seis câmaras, quatro estão ligados por *usb* e duas por rede *ethernet*. Os restantes componentes ligam por *usb*.

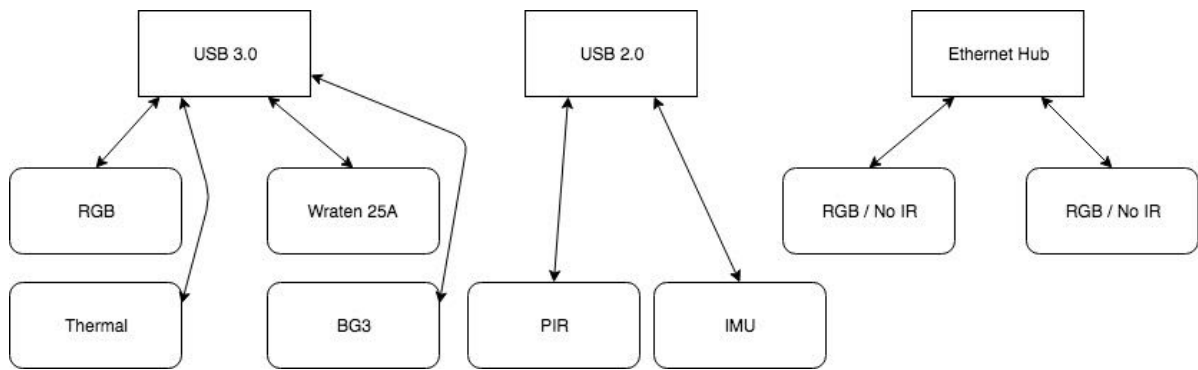


Figura 33. Representação em diagrama do Grupo Ótico.

A Plataforma Móvel é controlada pela *APM*. Esta é responsável pela receção e envio de dados para a *Jetson* e ainda o envio de sinais de controlo para a placa *Sabertooth*. Esta última placa controla os motores. Existe ainda a ligação da *APM*, via link de rádio a um telecomando que assume o controlo geral de toda a Plataforma Móvel, sendo este quem decide o funcionamento autónomo ou manual da Plataforma Móvel (figura 34).

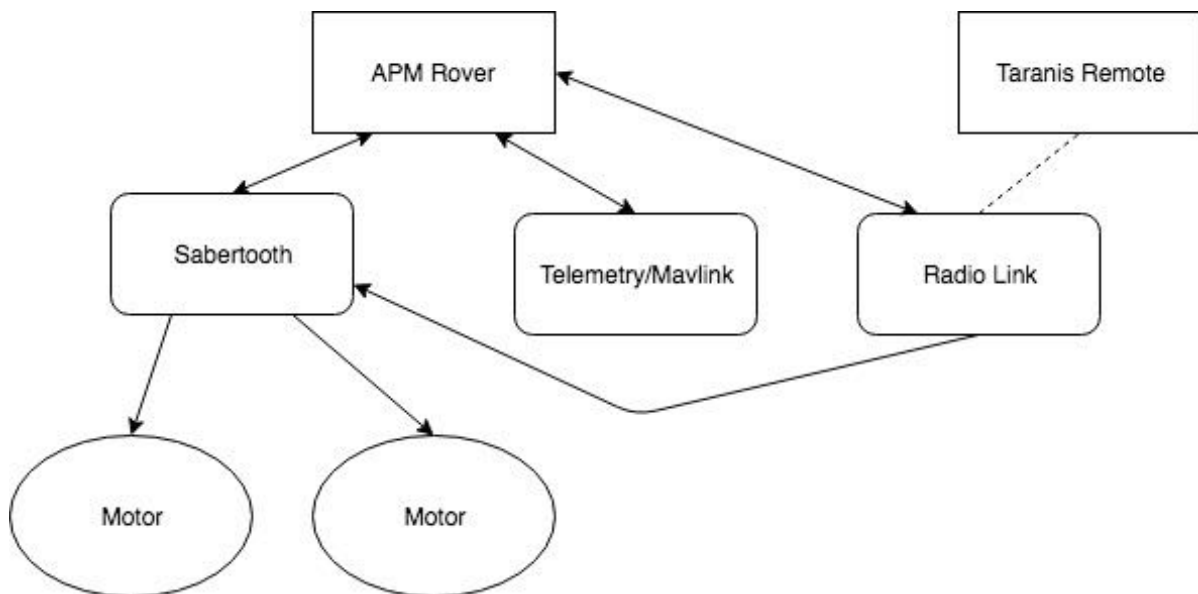


Figura 34. Diagrama da interação dos diversos componentes da Plataforma Móvel.

### 3.1 Plataforma Móvel

Para o modelo da Plataforma Móvel, decidiu-se implementar um robô diferencial. A decisão de implementar este sistema surgiu após a análise efetuada nos capítulos Estado da Arte e Fundamentos Teóricos. A implementação de um sistema diferencial, permitiu um desenvolvimento mais célere da Plataforma Móvel. O formato assenta na motorização de rodas traseiras e a colocação de duas rodas giratórias dianteiras.

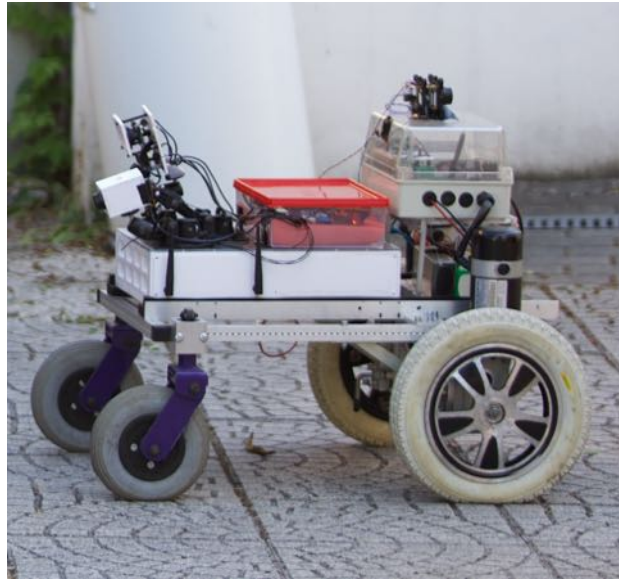


Figura 35. Plataforma Móvel (veículo terrestre não tripulado) em fase de prototipagem no âmbito de desenvolvimento desta dissertação.

#### 3.1.1 Componentes e sistema de controlo

Para controlo do sistema utilizou-se uma *APM 2.5* (figura 36), contendo esta múltiplos sensores que permitem monitorização e controlo do sistema.



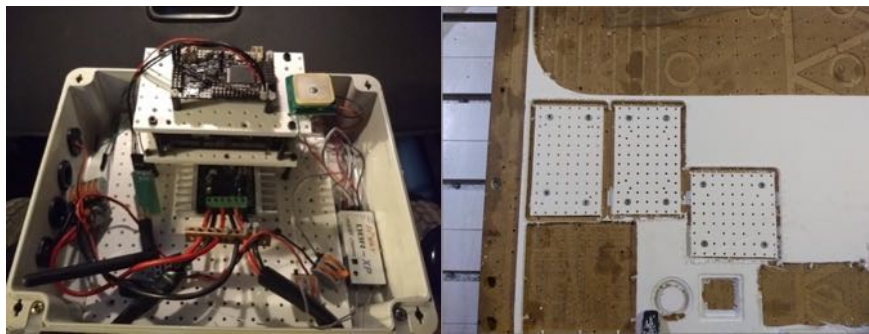
Figura 36. Placa *APM 2.5* utilizada na monitorização e controlo do sistema.

Com este equipamento é possível obter múltiplos dados, desde a inclinação à rotação e aceleração da estrutura. Utilizou-se de seguida, para controlo dos motores, uma placa comercial de controlo de motores DC com o nome *Sabertooth 2x12* (figura 37). Esta dispõe de múltiplas funcionalidades que facilitam a implementação de plataformas robóticas. De todas revelam-se

as mais importantes: modo misturado; regeneração; frequência de comutação ultrassônica; reversão do motor sem preocupação e proteção contra sobrecarga/sub-tensão. No modo misturado, o controlador implementa o modo diferencial de forma automática o que permite uma camada de abstração do controlador APM. A regeneração permite recuperar energia gasta durante o movimento do robô, isto é, ao travar o controlador retorna a energia à bateria. A frequência de comutação ultrassônica permite que os motores sejam controlados de uma forma mais suave e não produzam tanto ruído, o qual poderia causar incomodo a utilizadores ou pessoas próximas da Plataforma Móvel. A reversão do motor sem preocupação vem certificar que o motor é primeiro parado antes de reverter o sentido de rotação, isto permite aumentar o tempo de vida do motor e evitar mudanças bruscas de direção.

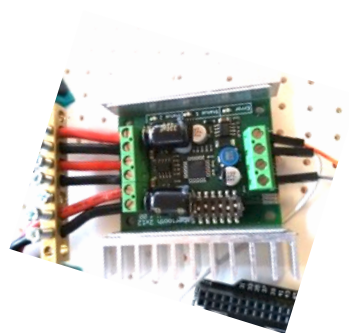
Nas últimas características a proteção contra sobrecarga permite proteger o motor em caso de bloqueio. Assim que o motor ultrapassa as suas características máximas de corrente o controlador desativa-o. Relativamente à subtensão, esta serve para proteger as baterias.

Dependendo do tipo de tecnologia da bateria a ser utilizada, o controlador desativa os motores caso a bateria atinja um nível de tensão abaixo do nível mínimo (conforme a tecnologia usada)



a)

b)



c)

Figura 37. a) Resultado final do Grupo de controlo; b) Após fabricação em CNC; c) Integração de placa de controlo de motores DC (*Sabertooth 2x12*).

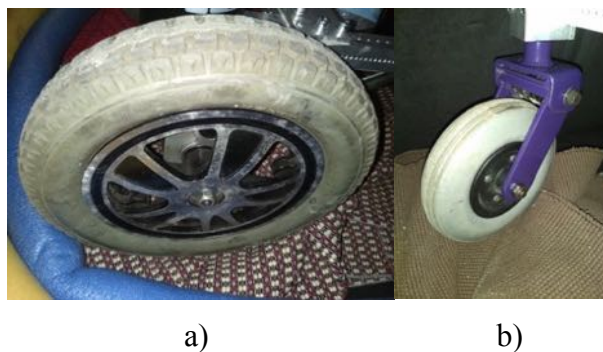


Figura 38. a) Representação da roda motriz; b) Representação da roda livre.

O motor utilizado foi um motor *Motion Tech Ec Series* (figura 38 e 39). Estes motores são direccionados para o mercado das cadeiras de mobilidade. Têm como vantagem dispor de um binário elevado e já serem fabricados de forma a acoplar diretamente uma roda no veio. A desvantagem principal consiste no seu avultado peso, a fraca eficiência e o facto de não usarem pontos de fixação comuns ao restante mercado.



Figura 39. Fotografia ao motor *Motion Tech Ec Series*, utilizado na Plataforma Móvel.

Tabela 5 - Especificações do motor *Motion Tech Ec Series*

Tensão	24V
Potencia Max	200W
Ratio	32:1
Rpm Motor	3800
Classe eficiência	f
Corrente nominal	2.5A
Corrente bloqueio	8.3A
Binário bloqueio	16.18N.m

### 3.1.2 Conceção e desenho

Começou-se por colocar os equipamentos existentes em cima de uma mesa de trabalho referenciada, mesa de uma *CNC* comercial. Na figura 40 observa-se o motor já com a roda acoplada e a roda livre colocados em cima da mesa de trabalho.

Todos os materiais foram fixados com equipamentos de fixação e foi efetuado um nivelamento da barra de alumínio com recurso a um nível. Procedeu-se de seguida a uma recolha de dados simples através de uma sonda disponível no equipamento da *CNC* (Figura 40). Nesta fase, a recolha foi feita para possibilitar a execução dos restantes componentes, visto que o alinhamento da roda livre e da roda motriz, dita a boa execução de movimentos da roda livre, sendo esta a única medida que restringe as restantes peças.



Figura 40. Obtenção de dados relativamente à altura dos equipamentos através de uma sonda de medição de altura integrada no equipamento de *CNC*.

Uma das primeiras peças a ser desenhada em *CAD* foi o suporte da roda livre, sendo que na figura 41 se pode observar um corte interno. Este permite que o bloco obtenha uma melhor fixação e possa deslizar na estrutura conforme a posição desejada para as rodas livres. Foram ainda criados dois espaços para colocar os rolamentos que permitem o movimento da roda livre. A segunda peça a ser desenhada foi o suporte de encaixe de motor. Este foi desenhado para possibilitar a utilização de múltiplos motores dentro da mesma classe de equipamento. Serve ainda o propósito de fixar a barra geral de fixação de cada roda.

As barras foram desenhadas com múltiplos furos de forma a poder adicionar outros tipos de componentes, a posteriori. Tem um espaçamento de 10 em 10 mm sendo que uma das barras tem um espaçamento de 5 em 5mm.

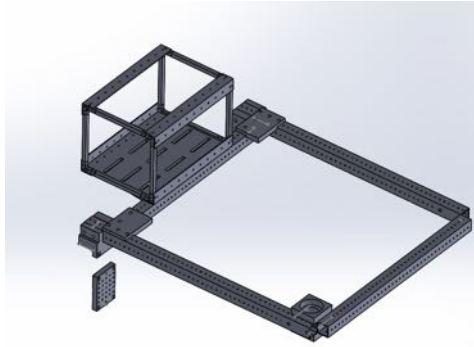


Figura 41. Vista geral dos componentes estruturais da Plataforma Móvel desenhados em *CAD*.

Observa-se na figura 42 a execução de uma caixa para a bateria, sendo que a estrutura tem múltiplos furos de forma a poder deslocar a fixação das baterias no chassis da Plataforma Móvel. Na figura 42 visualiza-se igualmente o desenho em *CAD* de um suporte da caixa de baterias e uma barra desenhada para servir como cantoneira entre o motor e a barra de fixação.

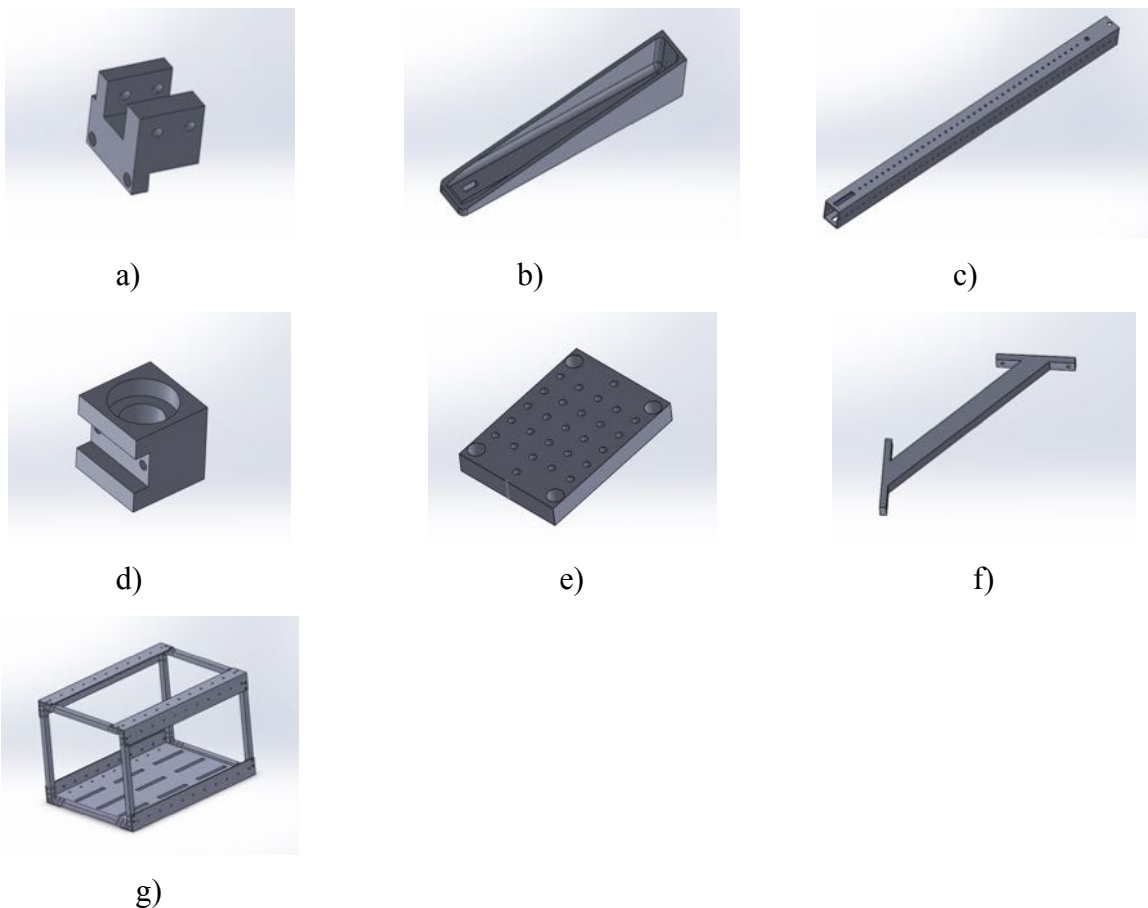


Figura 42. Desenho e prototipagem em *CAD* de vários componentes utilizados na Plataforma Móvel, para produção no equipamento de *CNC*. a) Encaixe barra motor; b) Suporte caixa bateria; c) Barra estrutura geral; d) Encaixe rodízio/roda livre; e) Junção barra motor; f) Caixa de baterias.



### 3.1.3 Prototipagem e fabrico

Neste capítulo descrevem-se os métodos utilizados para implementar a Plataforma Móvel.

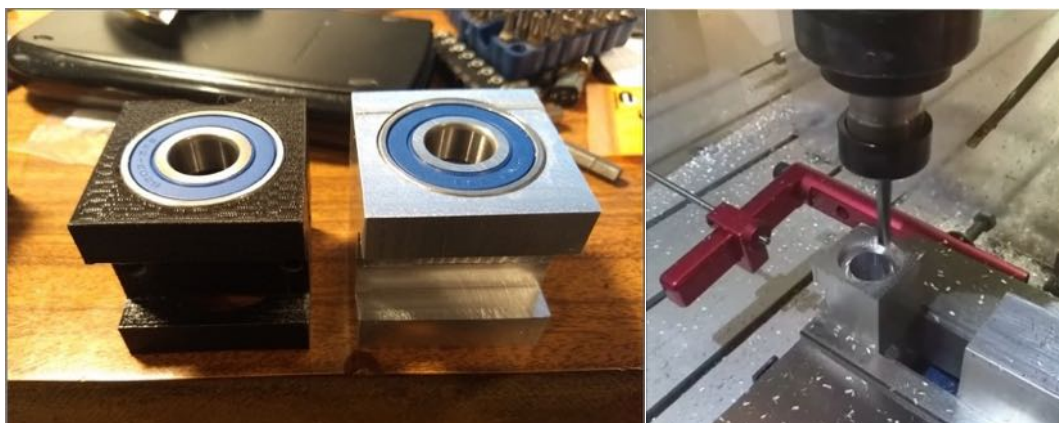
Foram utilizados dois métodos de fabrico, o subtrativo e o aditivo, sendo que o método aditivo recorre à impressão 3D por *FDM (Fused Deposition Modeling)* e o método subtrativo a fresagem no equipamento de *CNC*.

Por método de fresagem, foi criada uma barra, com fixação *standard* na *CNC*, e uma pequena peça de indexação, para facilitar o corte das subseqüentes peças (figura 43).



Figura 43. Corte e fabrico das barras de alumínio com fixação *standard* na *CNC*.

Na figura 44 podemos observar duas peças, à esquerda a peça impressa para validação do desenho e à direita a peça final maquinada em alumínio. Convém referir a importância da validação da peça através da impressão 3D. Não só serviu para comprovar as dimensões e reduzir os custos de respetivas iterações de prototipagem, mas também o seu método de impressão foi efetuado de forma a que estas possam também ser utilizadas na plataforma final.



a)

b)

Figura 44. a) Comparação entre peças fabricadas via processo aditivo (impressão 3D, peça à esquerda) e subtrativo (*CNC*, peça à direita); b) demonstração de fresagem por *CNC*.

Na figura 45 vemos, ao pormenor, as diferentes peças 3D e sua interação com a estrutura final e motor.



Figura 45. Teste de prototipagem e montagem da plataforma utilizando peças primariamente fabricadas através do processo aditivo (impressora 3D).

Na figura 46, vê-se a montagem da estrutura, estando esta assente numa mesa retificada e em blocos de calibração. Este processo é devido à utilização de adesivos estruturais. Este método utiliza *epoxy*, formuladas especificamente neste caso para a união de peças de alumínio, o que implica tolerâncias de fabrico baixas e desenho de uniões otimizadas para a soldadura a frio [35].



Figura 46. Processo de colagem dos componentes do chassis da Plataforma Móvel.

Na figura 47, é demonstrada a Plataforma Móvel, já perto da sua fase de implementação final, com as múltiplas peças impressas por método aditivo para validação do desenho. Na parte frontal, podem-se observar duas uniões entre componentes que permanecem na Plataforma Móvel.



Figura 47. Processo de validação dos componentes criados por método aditivo, na Plataforma Móvel.

## 3.2 Grupo Ótico

O Grupo Ótico é constituído por quatro sensores de imagem e por dois filtros. Um sensor térmico, um sensor *RGB* e dois sensores *RGB* modificados.

Nos capítulos seguintes descrevem-se os passos efetuados para o desenvolvimento do Grupo Ótico (figura 48). Começando pela descrição da câmara *FLIR*, modificação da câmara *RGB*, a escolha dos filtros, desenho e os passos efetuados para implementar uma metodologia de calibração.



Figura 48. Formato final do protótipo de Grupo Ótico.

### 3.2.1 Modificação da *FLIR* e da placa *Purethermal*

De forma a obter um sensor térmico *FLIR*, de baixo custo, foi efetuado um percurso diferente da aquisição normal. Nesta aplicação foi utilizado um *FLIR Lepton 3.0* proveniente

de uma *Flir One* (figura 49)\_[36], dado que a obtenção deste sensor via processo normal de compra em componente isolado, ficava mais cara do que a compra do mesmo componente integrado no dispositivo *Flir One*.

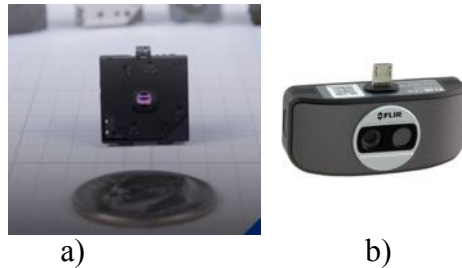
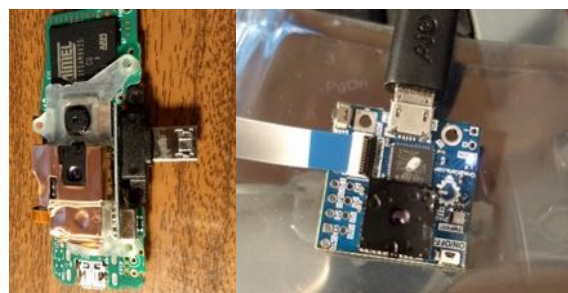


Figura 49. a) Sensor *FLIR Lepton* removido do equipamento *FLIR One* (b) ) [36].

Para ultrapassar esse problema, a comunidade *open source*, desenvolveu uma placa que permite a utilização do sensor tal como uma câmara *usb*, adicionando assim funcionalidades extras ao sensor. Essa placa denomina-se por *Purethermal* e pode ser observada já com o sensor *FLIR Lepton* montado na figura 50. Na mesma figura demonstram-se alguns passos necessários para obter o sensor. Este processo é relativamente complexo, são componentes de escala reduzida e sensíveis à electroestática, sendo necessário executar um conjunto de passos até obter o sensor.



a)



b)

c)

Figura 50. Processo de remoção do sensor *FLIR Lepton* e o sensor assemblado na placa *PureThermal*. a) *Flir one* após remoção da tampa; b) *Flir one* removida da caixa envolvente; c) *Lepton 3.0* assemblado na *PureThermal*.

### 3.2.2 Modificação Webcam

Visto que as câmaras *usb* utilizadas são câmaras de baixo custo e para uso doméstico, estas têm, de uma forma geral, um filtro IR. Este filtro bloqueia todo o espectro acima dos 650nm. Esta componente do espectro tem pouca relevância para o utilizador normal e quando presente altera a qualidade da imagem. A melhor forma então de obter, a baixo custo, uma câmara sensível a essa componente do espectro é proceder à remoção do filtro IR. Na figura 51 podem-se observar alguns dos passos efetuados para remover o filtro. Fica uma nota para futuros desenvolvimentos, decorrente do processo de desmontagem, de que alguns fabricantes optam por colocar o filtro na parte de trás da lente e não no sensor.

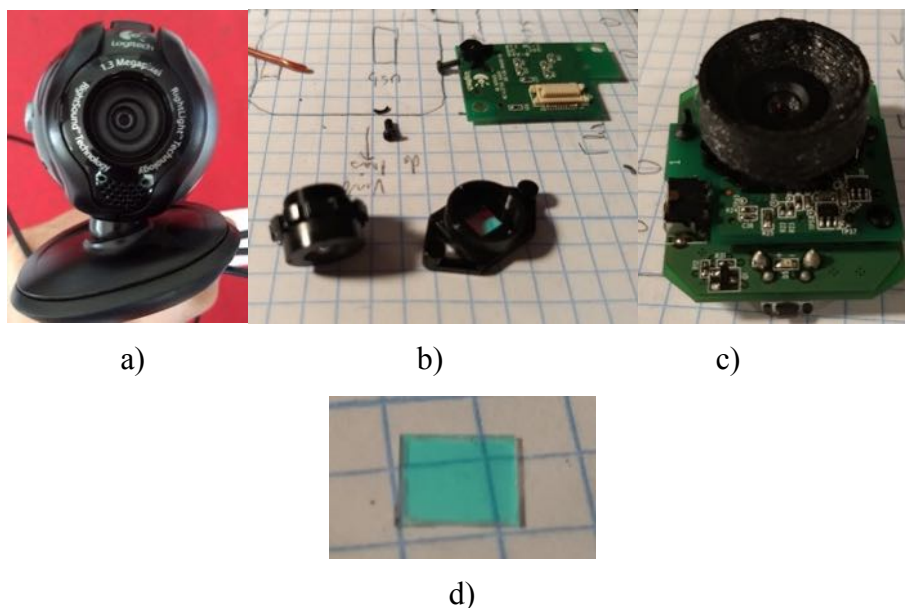


Figura 51. Processo de modificação da Webcam. a) Webcam tal como fornecida; b) Webcam com *board* do sensor desmontada, lente e encaixe separados; c) Webcam pronta a ser instalada com nova pala impressa em 3D; d) Filtro infravermelho removido.

### 3.2.3 Sensor Temperatura

Este sensor de temperatura adicional (figura 52), o MLX90614ESF-ACF-000-SP-ND, serve para fornecer a temperatura ambiente do Grupo Ótico e a temperatura de um ponto. É utilizado para complementar a leitura do sensor térmico *FLIR*. Consiste em um termómetro sensível aos infravermelhos, que possui ainda um termómetro interno com uma gama de temperatura ambiente dos  $-40^{\circ}\text{C}$  aos  $125^{\circ}\text{C}$ , temperatura do objeto dos  $-70$  aos  $380^{\circ}\text{C}$  e tem uma lente com um ângulo de visão de  $10^{\circ}$ . Mais ainda, este sensor fornece uma saída de dados via *SMBUS* com uma precisão de  $0.02^{\circ}\text{C}$ .



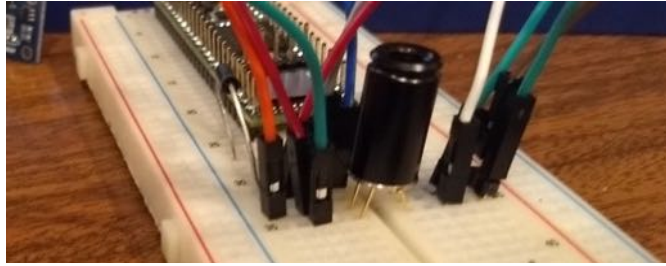


Figura 52. Sensor passive infrared (PIR) montado numa *Protoboard*.

#### 3.2.4 Construção estrutura

Para a implementação do sistema de fixação dos elementos do Grupo Ótico foram utilizados conhecimentos que advêm da longa experiência empírica que o autor detém na área do equipamento de aquisição de imagem.

Para que outros investigadores possam implementar e replicar sistemas iguais, partilham-se alguns conhecimentos:

- Criação de pratos de fixação com distâncias fixas, preferivelmente com distâncias entre pontos inferiores a 5mm e com uma tolerância de erro inferior a 0.01mm. O objetivo destes pontos e tolerâncias é permitir realizar os cálculos de deslocamento de imagem de uma forma mais eficaz e evitar pequenos deslocamentos com vibrações;

- A caracterização da imagem a ser avaliada, isto é, a distância a que os objetos vão estar do sensor permite uma escolha de lentes de forma mais célere;

- De forma a facilitar o alinhamento de sensores, é importante ter ferramentas calibradas para medição de ângulos e ter anilhas de precisão para poder corrigir erros de alinhamento.

Exemplificando de uma forma sucinta, a escolha de lentes de grande angular para esta aplicação permitiu que erros de ângulo e posicionamento pudessem ser aceites. Como contrapartida, devido à distorção que estas lentes costumam ter, é necessário executar um algoritmo de correção de distorção. A utilização de lentes normais ou teleobjetiva, já implica um posicionamento e ângulo mais preciso.

Tal como se observa na Figura 53, foi desenhada de forma a possibilitar mudanças de posição com distâncias conhecidas e encaixes que podem facilmente ser substituídos por outros de forma a mudar o ângulo dos sensores e assim facilitar a mudança de lentes.

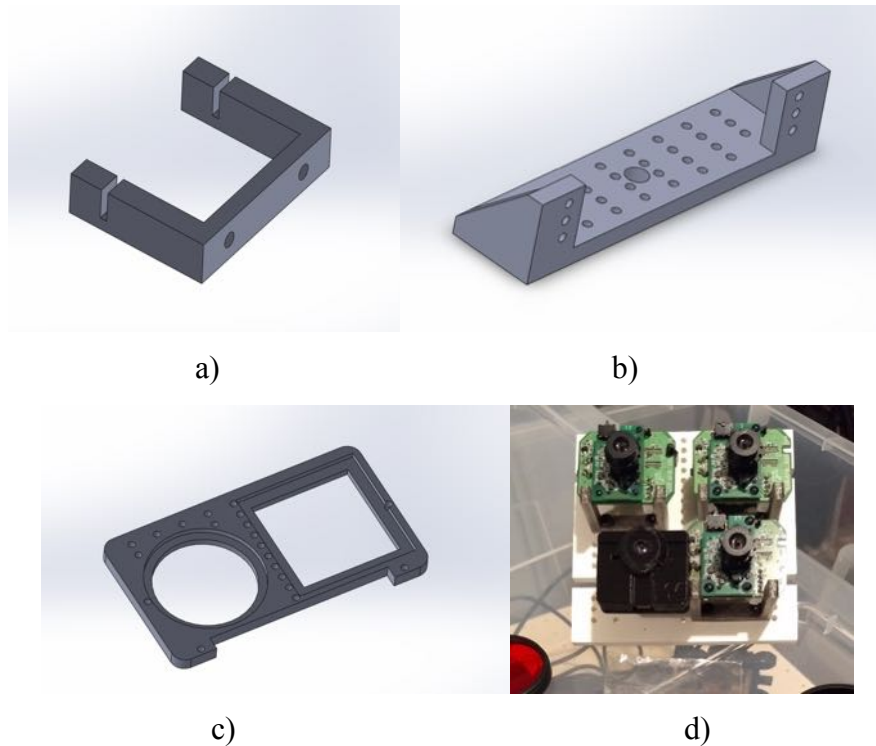


Figura 53. Prototipagem (CAD) para o desenvolvimento de Grupo Ótico. a) Fixador de câmara *USB*; b) Fixador do Grupo Ótico; c) Tampa porta filtros; d) Sensores alinhados na placa de fixação.

### 3.2.5 Sensor *Razor 9DOF IMU*

Para obtenção da posição do Grupo Ótico foi adicionado um IMU comercial, *Razor IMU* (figura 54). O *Razor IMU* dispõe de três sensores: Um *ITG-3200* que é um giroscópio de três eixos; um *ADXL345* que é um acelerómetro de três eixos; um *HMC5883L* que é um magnetómetro de três eixos. A razão da utilização deste modelo em particular prende-se ao facto de existir um driver *ROS* implementado, o que permite uma integração mais rápida do equipamento.



Figura 54. Sensor *Razor 9Dof IMU*.

### 3.3 Sensor externo

O sensor externo, que conceptualmente é visto como um só elemento, serve para complementar os dados obtidos pelo Grupo Ótico através da fusão de dados de múltiplos sub-sensores. Tal como o equipamento *Aeropoints*, apresentado no capítulo Estado da Arte, este sensor fornece ao sistema leituras de um local específico. Permite ainda adicionar múltiplas informações conforme os sensores associados. Neste caso dispõe de um sensor de luminosidade (*Waveshare TSL2581FN*) (figura 55) [37], um termómetro de temperatura ambiente (*MPC9808*) e uma sonda de temperatura (*Dallas DS18B20*).

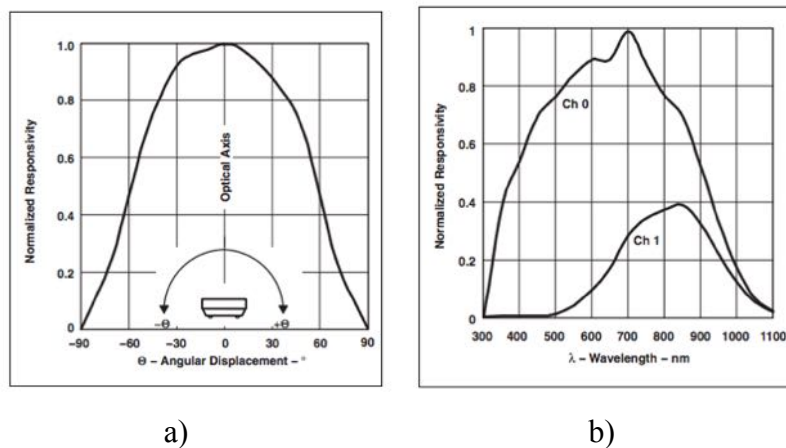


Figura 55. Diagramas de resposta do sensor externo *TSL2581FN* [37]. a) Resposta normalizada vs deslocamento angular; b) Sensibilidade Espectral.

Relativamente à sonda de temperatura (figura 56), optou-se pela utilização de um sensor com uma taxa de atualização relativamente rápida (aproximadamente 10Hz) para o processo de leitura de temperatura. Este tem como objetivo aplicações futuras de mudanças bruscas de ambiente, ou pequenas variações que possam influenciar as leituras.

Todos estes equipamentos ligam a um microcontrolador chamado *NodeMcu 12-e*. Dentro deste foi criado código que permite enviar informação para uma aplicação central chamada *MQTT*. Este processo é descrito, com mais pormenor, no Capítulo Software.



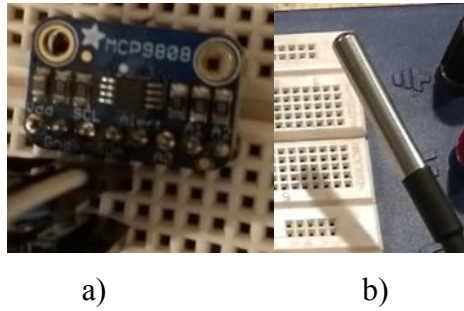


Figura 56. a) Sensor de temperatura *MCP9808*; b) Sonda de temperatura *Dallas DS18B20*.

### 3.4 Testes ao Grupo Ótico

Neste capítulo descrevem-se os processos criados para a implementação de metodologias de testes ao Grupo Ótico.

#### 3.4.1 Alvos de calibração

Alvos de calibração permitem efetuar a calibração do Grupo Ótico. Podem ser de origem comercial, padrões impressos ou fabricados. Nesta aplicação foram definidos múltiplos testes. Começou-se por definir um teste para a calibração do focos do Grupo Ótico, para isso usou-se um padrão conhecido como “*lens sharpness test*” (figura 57). Ao utilizarmos este padrão podemos confirmar se o foco da lente está dentro de padrões aceitáveis. Para definir o equilíbrio de brancos, da câmara RGB não modificada, os valores de contraste e saturação, foi utilizado um alvo “*mid grey*” e uma paleta de cores (figura 57). Ao utilizar estes alvos consegue-se obter uma calibração de cor uniforme independente da iluminação, dentro da qualidade possível de uma *webcam*.

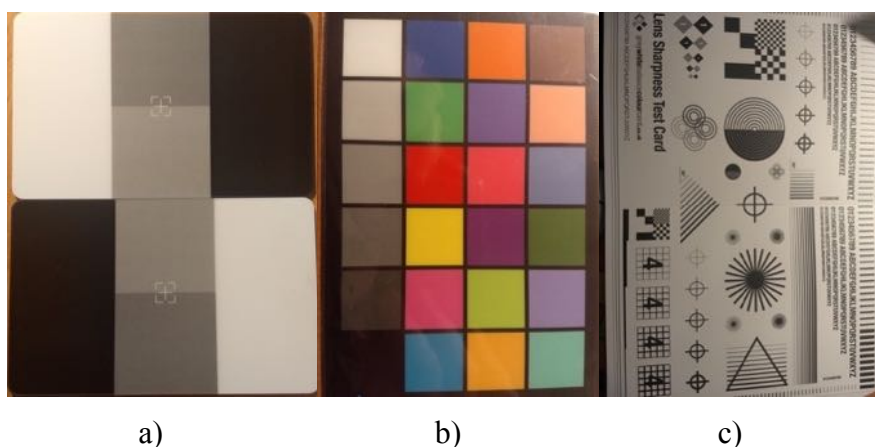


Figura 57. Alvos de calibração comerciais para correção de cores e focagem. a) Cartão de calibração *middle grey*; b) Cartão calibração cores; c) Cartão calibração *focus*.

Para calibração da distorção da lente foi utilizado o método sugerido no livro “learning opencv 3” página 652, utilizando o padrão de xadrez desenvolvido por Zhang (figura 58) [38].

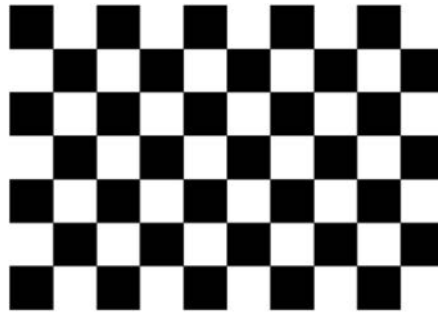


Figura 58. Alvo de calibração para correção de distorção dos elementos óticos, segundo o método de padrão de xadrez desenvolvido por Zhang [38].

Por último realizou-se uma plataforma de calibração com diversos sensores. Esta é descrita de forma mais detalhada no capítulo Plataforma Calibração.

#### 3.4.2 Teste com iluminação artificial

Para testar e analisar a resposta do Grupo Ótico decidiu-se implementar uma metodologia de testes através da utilização de iluminação artificial.

A utilização deste tipo de iluminação veio introduzir um parâmetro que permitiu sustentar os resultados obtidos. Isto é, na ausência de equipamento de verificação da resposta espectral do Grupo Ótico, a utilização de componentes com propriedades conhecidas permite auferir algumas propriedades do sistema.

Foram utilizados múltiplos LEDs (figura 59) [39]:

- Led vermelho com resposta central nos 660 nm;
- Led azul com resposta central nos 455 nm;
- Led verde com resposta central nos 521 nm;
- Leds infra-vermelho com resposta central nos 740 nm e 840 nm;
- Led ultra-violeta com resposta central nos 380 nm.

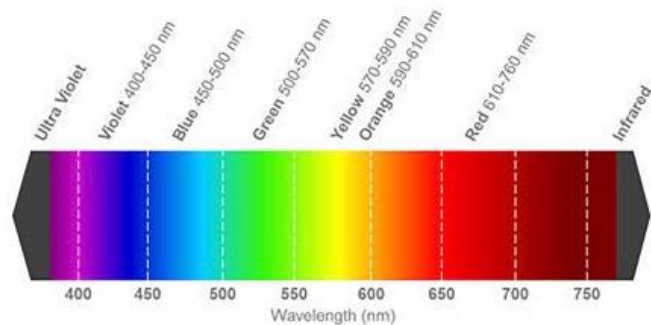


Figura 59. Resposta espectral segmentada em bandas de acordo com os LEDs utilizados [39].

Posteriormente adicionou-se ainda um *array* de LEDs (figura 60) infravermelhos com resposta central nos 850nm.



Figura 60. *Array* de LEDs infravermelhos, desenvolvido especificamente para esta dissertação.

Este foi adicionado de forma a poder dar uma iluminação mais uniforme ao objeto a ser estudado. Foi ainda adicionada uma lâmpada de halogéneo no formato *H4* (figura 61), tipicamente utilizada no farol de veículos. A decisão de utilização desta lâmpada foi tomada após análise do seu espectro apresentado (figura 62) [40]. Este interceta a resposta dos filtros utilizados e o seu formato permite utilizar equipamento de fixação já existente no mercado.



Figura 61. Lâmpada de halogéneo no formato *H4*.

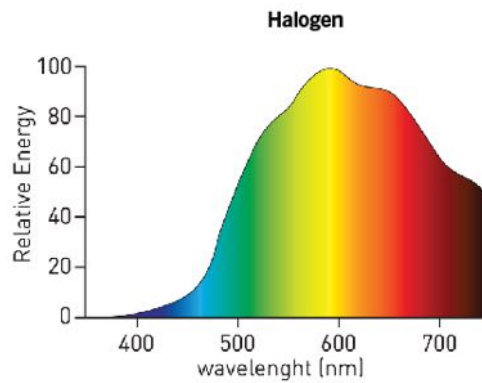


Figura 62. Análise de espectro de lâmpada de halogéneo no formato *H4* [40].

### 3.5 Plataforma Calibração

Plataforma de Calibração (figura 63) é uma estrutura que permite avaliar múltiplos parâmetros do Grupo Ótico. Foi desenvolvida agrupando alguns conceitos apresentados anteriormente e adicionado um elemento extra. Esse elemento extra é um prato resistivo, sobre o qual é possível controlar a temperatura.

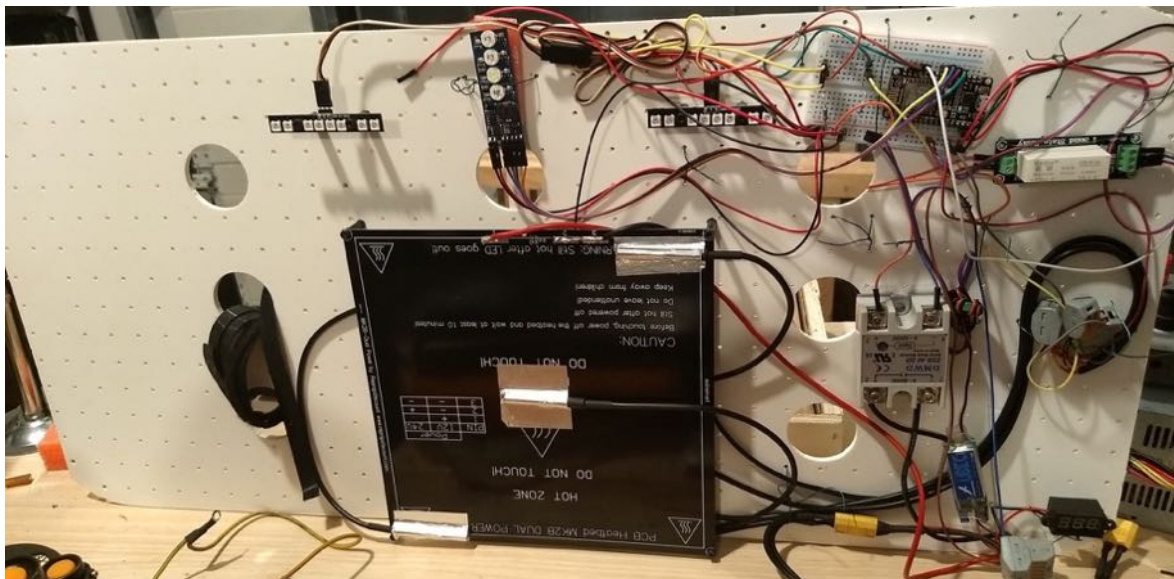


Figura 63. Prato de calibração, composto por elemento resistivo de aquecimento e múltiplos LEDs.

#### 3.5.1 Design

Para esta estrutura foi fabricada, em *CNC*, uma placa (figura 64) com 0.7 m largura, 0.3 m de profundidade e 0.05 m de altura com múltiplos furos distanciados de 20 em 20 mm.

Como objetivo principal, esta placa foi concebida de forma a que todos os componentes pudessem ser colados e alinhados. Os furos de 20 em 20 mm servem como referência para, de

forma rápida, poder inferir a posição de cada componente na placa. Assim, ao adicionar qualquer elemento à placa, é possível, através de uma análise visual, saber qual a posição do elemento a ser observado através da aplicação de uma escala.

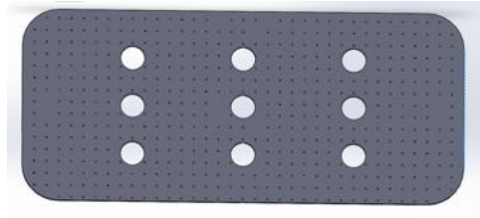


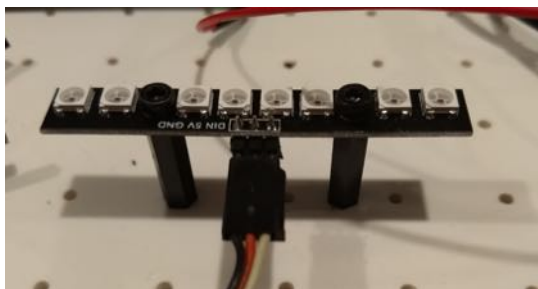
Figura 64. Desenho CAD de uma estrutura para suporte de componentes e calibração de posicionamento.

Adicionalmente foram ainda efetuados seis furos de 40mm para que na imagem, registada pelo sensor térmico, fossem observáveis as temperaturas do fundo onde a placa de calibração estava colocada.

### 3.5.2 Escolha de sensores/equipamento

Ao nível de equipamento foram escolhidos dois sistemas de LEDs, um elemento resistivo de aquecimento, dois relés, um conversor DC-DC de 12V para 5V e um esp8266.

Descrevendo o sistema de LEDs, começamos por falar no *Matek RGB 8 LED* (figura 65) [41]. Este é composto por 8 LEDs RGB, cada LED RGB recebe valores num intervalo de 0 a 255 através de um protocolo *one wire*, para poder manipular a intensidade da cor do LED. Consegue-se assim criar uma mistura de cores.



a)

Emitting color	Model	Wavelength(nm)
Red	13CBAUP	620-630
Green	13CGAUP	515-530
Blue	10R1MUX	465-475

b)

Figura 65. a) LEDs RGB Matek b) Respetivos comprimentos de onda [41].

O segundo conjunto de LEDs (figura 66) é uma placa que contém quatro LEDs: branco, vermelho, verde e azul. Os comprimentos de onda dos LEDs são os mesmos que os já descritos no sub-capítulo Teste com iluminação artificial.



Figura 66. Placa com LEDs canal único: branco, vermelho, verde e azul.

Para o elemento resistivo (figura 67) foi escolhido um prato de aquecimento de uma impressora 3D. Esta é controlada por um relé de estado sólido o qual liga a placa de controlo onde corre um algoritmo de *PID* para controlo de temperatura. A temperatura é definida via mensagem através do protocolo *MQTT*.



Figura 67. Prato de elemento resistivo para aquecimento.

Foram adicionados três sensores de temperatura *Dallas DS18B20*, colocados em dois cantos e no meio. A escolha da posição destes deve-se ao facto de em experiências anteriores se ter verificado que a temperatura não era uniforme ao longo do prato. Estes sensores de temperatura foram fixos com fita de alumínio (figura 68). Esta fita serve o propósito de criar uma zona com um índice de emissividade diferente do resto do prato. O alumínio tem um índice de emissividade de 0.04, bastante inferior ao índice de emissividade do prato de aquecimento, pintado de preto, que ronda os 0.9. Esta diferença permite criar uma zona de falsa leitura no sensor térmico *FLIR*. Todos estes componentes estão ligados a uma *Nodemcu 12-e*, que por sua vez liga, via *wireless*, ao sistema de mensagens *MQTT* (este assunto é desenvolvido com mais detalhe no Capítulo *MQTT*).

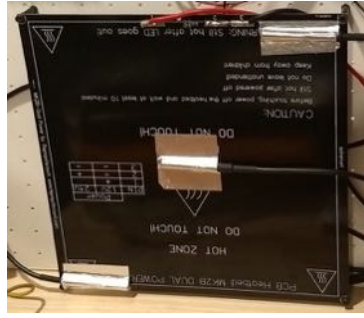


Figura 68. Posicionamento das sondas de temperatura com fita adesiva de alumínio.

### 3.5.3 Testes Sensor Térmico

Para validação dos resultados da imagem *FLIR* foi criado um conjunto de metodologias. Atendendo a que a ferramenta *FLIR One* iria ser desmontada para remoção do sensor térmico, foram retiradas múltiplas fotografias. Efetuou-se uma análise do conjunto de dados fornecidos pela ferramenta *FLIR Tools*. Como referido no capítulo Plataforma de calibração, foi incluído um elemento resistivo com controlo *PID*. O objetivo deste é poder ter um elemento na imagem com uma temperatura superior à temperatura ambiente, não só superior, mas também constante e validada via sensores de temperatura.

Para medição de temperatura local dos objetos foi utilizado um termómetro de infravermelhos de leitura sem contacto. O modelo *Mastech Ms6530*, apresentado na figura 69, tem características semelhantes ao sensor *FLIR*. Tem uma emissividade fixa nos 0.95 e uma resposta espectral compreendida entre os 8-14um (especificações técnicas dispostas na tabela 6).



Figura 69. Sonda de temperatura *Mastech Ms6530* por PIR.



Tabela 6 - Especificações técnicas da *Mastech Ms6530*.

Emissividade	0.95
Resposta espectral	8-14um
Medição de temperatura	Dos -20°C aos 537°C
Precisão:	-20° aos 50°C +-2.5°C, dos 51°C aos 537°C valor lido*1%+1°c
Tempo de resposta	0.5s

Foi ainda utilizado um contentor com cinco litros de água purificada onde se colocou uma sonda de temperatura (*Dallas DS18B20*). A utilização deste conjunto deveu-se aos seguintes pontos:

- através da análise da temperatura do solo com a *FLIR One* constatou-se que a presença de plantas saudáveis, tinha influência na temperatura do solo, criando zonas com grandes diferenciais de temperatura. As imagens podem ser observadas no Capítulo Resultados;

- as sondas de temperatura, tendo uma massa muito reduzida, apresentavam valores que eram influenciados pelas corrente de ar;

- o índice de emissividade da água purificada é 0.95, o mesmo valor que é utilizado no termómetro de infravermelhos sem contacto e no *firmware* modificado do sensor térmico, levando isto a uma correspondência direta da temperatura lida;

- o volume de água, permitia ter uma leitura de temperatura que não era tão facilmente influenciada por fatores externos.

Ainda como fonte adicional para referência de temperatura foi utilizado o corpo humano. Sabe-se que o corpo humano regula ativamente a sua temperatura [42].\_A temperatura do corpo humano está estudada para diferentes temperaturas ambientes e tempos de exposição como se pode observar na figura 70 [43].

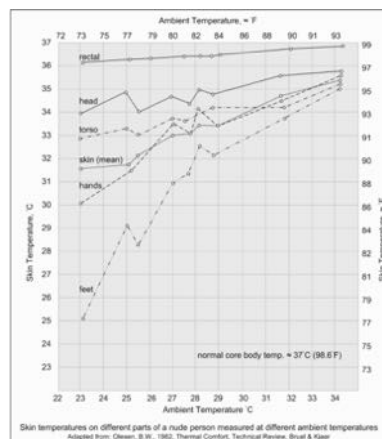


Figura 70. Gráfico com diferentes temperaturas do corpo humano conforme a temperatura ambiente [43].



### 3.6 Plataforma de Computação

De forma a poder realizar os testes em múltiplas localizações foi criada uma estrutura (figura 71) que permitiu o transporte de toda a plataforma.



Figura 71. Plataforma de Computação Móvel, na fase de prototipagem.

Esta estrutura foi desenhada em *CAD* e maquinada em *CNC* com o objetivo de criar pontos de fixação para múltiplos equipamentos e permitir a separação dos transformadores e respetivos cabos de alimentação dos restantes equipamentos.

Para suporte de distribuição de dados foi acrescentado um *switch* gigabit para permitir a distribuição de todos os dados via rede *ethernet* para todos os equipamentos. Este *switch*, durante o desenvolvimento, esteve ligado à rede interna do laboratório e nos testes exteriores encontrava-se ligado a um router sem fios *Linksys WRT54GL*. Foi ainda adicionado um *hub usb 3.0*. Originalmente foi utilizado um *hub usb 2.0*, mas verificou-se que o equipamento não conseguia acompanhar a carga dos equipamentos utilizados, apesar de nenhum dos equipamentos ser *usb 3.0* e os dados reportados, pelas ferramentas do sistema, indicarem que existia largura de banda suficiente no barramento. Não foi possível validar a origem do erro, pressupondo o autor que possa existir alguma incompatibilidade entre o *hub usb 2.0* selecionado e a placa *Nvidia Jetson Tx1*.

Foi também adicionado um disco externo de forma a poder otimizar a velocidade de leitura e escrita dos dados e para possibilitar a instalação de bibliotecas/programas que ocupam mais espaço do que aquele que é disponibilizado internamente na placa *Jetson*.

### 3.6.1 Configuração Placa *Nvidia Jetson*

Na altura de desenvolvimento existiam múltiplas fontes de informação para o desenvolvimento de aplicações na placa. Do próprio fabricante surge a primeira fonte de conteúdos. A *Nvidia®*, para este sistema de computação embebida, fornece uma imagem que denomina de “jetpack”. *Jetpack* é uma imagem que contém todos os softwares e bibliotecas agrupadas numa só aplicação instalada num computador anfitrião e na placa de desenvolvimento. São disponibilizadas oito componentes: *Cuda Toolkit*; *Linux for tegra*; *Tegra system profiler*; *Tegra Graphics debugger*; *cuDNN*; *VisionWorks*; *Opencv4tegra*; *tensorRT* e *MultiMediaAPI*.

Para o desenvolvimento deste sistema, foram utilizadas a *Cuda ToolKit*, *Opencv4tegra* e *Multimédia API*. O sistema *Cuda toolkit* proporciona um ambiente para otimizar as aplicações desenvolvidas na *Jetson* através da aceleração por *GPU*. O objetivo geral destas bibliotecas, fornecidas nesta componente é que parte do processamento ocorra na unidade de computação gráfica da placa de desenvolvimento, proporcionando assim aceleração de processamento a conteúdos tais como: cálculos de álgebra linear; processamento de imagem e vídeo; *machine learning* e processamento de gráficos.

*Opencv4Tegra* é a implementação do *OpenCV* com otimizações para correr em *GPU*. Apesar de ser uma biblioteca gratuita, as otimizações efetuadas não são divulgadas, ou seja, o programador cria código normal e a biblioteca otimiza a execução das funções do *OpenCV*.

*Multimédia API* é um conjunto de bibliotecas de baixo nível que otimizam o hardware utilizado na *Jetson*. Inclui ainda: *Libargus* para aplicações de imagem; *V4L2* para codificação, decodificação e outras funções de media e *Buffer Utility* para otimização dos respetivos buffers.

Como segunda fonte de informação, é importante a leitura da documentação disponível no site <https://developer.nvidia.com/embedded/downloads>. Sendo também recomendável a leitura dos documentos “*Release notes*”. Neles encontram-se correções aos erros de software com respetivos comandos a serem executados, figura 72, e recomendações para otimização de serviços.

Issue	Description
200276225	<p>After flashing the device using Ubuntu 16.04 on the host machine and rebooting, unable to install software applications from the Ubuntu Application Center.</p> <p><b>To workaround:</b>  Change the group ownership from lighdm to messagebus for the following file:  /usr/lib/dbus-1.0/dbus-daemon-launch-helper</p> <p>The commands are as follows:</p> <pre>\$ ls -l /usr/lib/dbus-1.0/dbus-daemon-launch-helper -rwsr-xr-- 1 root lightdm 38824 Jul 12 18:17 /usr/lib/dbus-1.0/dbus-daemon-launch-helper</pre> <pre>sudo chown root:messagebus /usr/lib/dbus-1.0/dbus- daemon-launch-helper sudo chmod 4754 /usr/lib/dbus-1.0/dbus-daemon-launch- helper</pre> <p>Note: NVIDIA supports Ubuntu 14.04 as the host operating system.</p>

Figura 72. Script exemplificativo de comandos correção de erros de software de acordo com *Nvidia*.

Como terceira fonte de informação temos os conteúdos disponibilizados pela comunidade. De múltiplas fontes o autor destaca o fórum dedicado da *Nvidia* para a plataforma *Jetson* (<https://devtalk.nvidia.com/default/board/139/embedded-systems/1>) e a página *Jetson Hacks* (<http://www.jetsonhacks.com/>), e respetivo github (<https://github.com/jetsonhacks?tab=repositories>).

### 3.6.2 Mosquitto

O *Mosquitto* é um “*message broker*” que implementa o serviço *MQTT* (*Message Queing Telemetry transport*). Funciona na base do modelo *Publish/Subscriber*. Tem como objetivo a implementação em dispositivos com recursos limitados ou onde se exija um protocolo “leve”. O sistema é então constituído por um *Broker*, um ou vários *Publishers* e um ou vários *Subscriber*. No *Mosquitto MQTT* o *Broker* é o *main server*. *Publisher* e *Subscriber* são respetivamente os utilitários/funções *Mosquitto\_pub* e *Mosquitto\_sub* [44] e o *Broker* é onde são recebidas e geridas as mensagens e é da responsabilidade deste reencaminhar ou reter as mensagens para o *Subscriber*, que por sua vez recebe as mensagens que circulam no *Broker*. *Publisher* gera e envia mensagens ao *Broker*. As mensagens enviadas dentro deste sistema são identificadas através de tópicos. Por convenção definiu-se que cada *Publisher* envie mensagens em tópicos distintos ou que se crie subdivisão de tópicos [45].

Descrevendo a aplicação implementada, os equipamentos têm comportamentos diferentes. O modulo sensor externo funciona como um *Publisher*, só envia mensagens. Sendo que cada sensor interno publica para um sub-tópico. O prato de calibração funciona como um *Subscriber* e *Publisher*. Recebe mensagens de controlo de leds e temperatura definida para o elemento resistivo. Envia mensagens com informações dos sensores de temperatura.

### 3.6.3 Home Assistant

De forma a ser possível ter uma interface gráfica que permitisse a visualização de dados dos múltiplos sensores, controlo de leds e controlo de temperatura do elemento resistivo, decidiu-se utilizar uma plataforma de controlo já implementada. *Home Assistant* é uma plataforma de automação *open source*. Permite controlar múltiplos dispositivos através de diferentes protocolos, um deles o *MQTT* e também guardar os valores de todos os sensores conectados à aplicação ao longo do tempo. Dispõe também de uma interface gráfica suportada em múltiplos sistemas operativos através da utilização de *HTML5*.

Na figura 73 podem ser observadas as interfaces para controlo e visualização de dados, onde se nota a evolução do sensor de temperatura ambiente, uma vista instantânea dos valores a serem produzidos pelos sensores e o painel para controlo de luzes da placa de calibração.

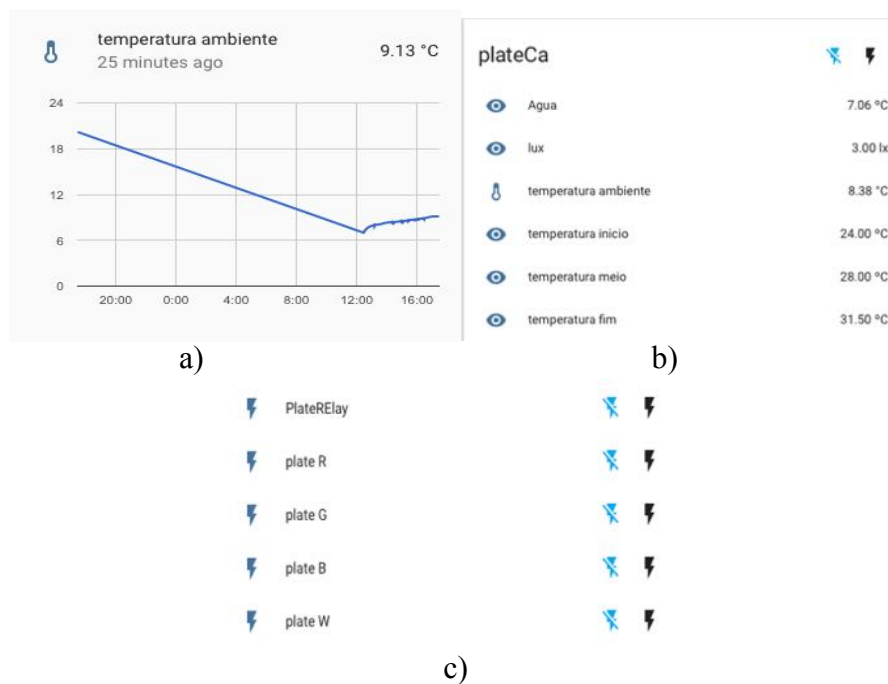


Figura 73. Dados obtidos através da interface do *Home Assistant*. a) Gráfico de evolução de temperatura; b) Painel de visualização de dados provenientes do Prato de Calibração; c) Painel de controlo do Prato de Calibração.

### 3.6.4 *MQTT.fx*

Para análise e *debugging* das mensagens enviadas por *MQTT* optou-se por utilizar uma ferramenta chamada *MQTT.fx*, esta é desenvolvida em Java baseada no *Eclipse Paho*. O *Eclipse Paho* é uma implementação *open-source* de clientes de mensagem para protocolos *MQTT*, sendo que a alternativa ao uso desta aplicação seria a utilização de linha de comandos. Como esta não permitia uma análise tão fluida dos dados optou-se por não utilizar esta ferramenta.

Na figura 74 podem observar-se os dados relativos com o *Broker*. Recebem-se os parâmetros de quantos clientes estão conectados e número de mensagens trocadas.

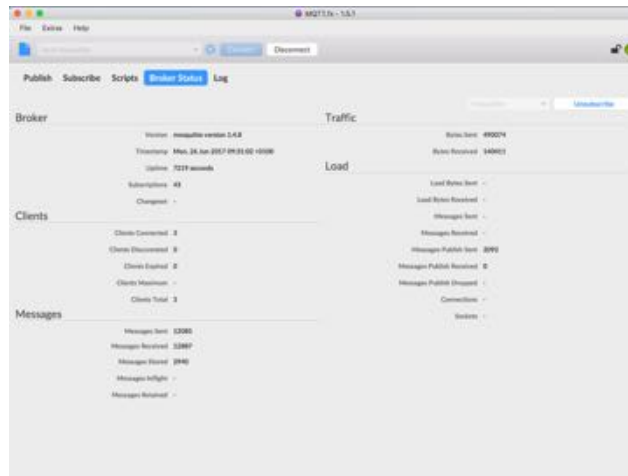


Figura 74. Leitura dos parâmetros acerca do servidor *MQTT*.

Na figura 75 pode-se observar a subscrição de todos os tópicos presentes no broker através da subscrição do tópico “#”.

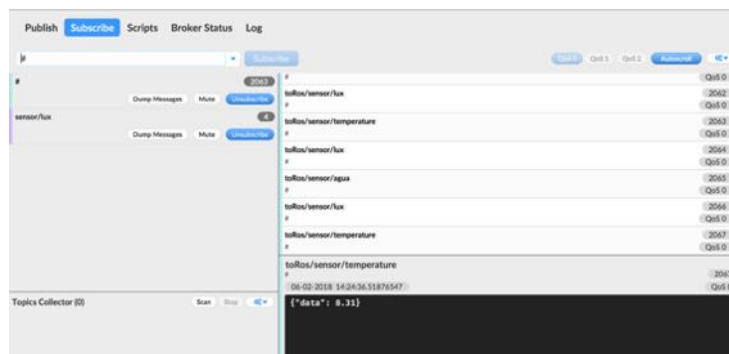
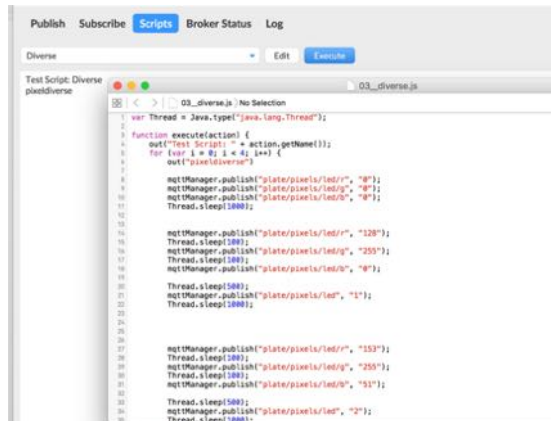


Figura 75. Subscrição de todos os tópicos que circulam no servidor *MQTT*.

Adicionalmente é possível a execução de rotinas (figura 76), com criação de sequências de controlo dos leds permitindo assim ativar diferentes leds, enviar mensagens de controlo para os *LEDs RGB* e permitir a mistura de cores e análise dos resultados.

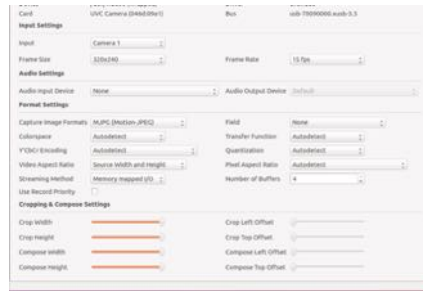


```
1 var Thread = Java.type("java.lang.Thread");
2
3 function execute(action) {
4     mqtt("Test Scripts" + action.getName());
5     for (var i = 0; i < 4; i++) {
6         mqtt("TestScripts");
7
8         mqttManager.publish("plate/pixels/led/r", "0");
9         mqttManager.publish("plate/pixels/led/g", "0");
10        mqttManager.publish("plate/pixels/led/b", "0");
11        Thread.sleep(1000);
12
13
14        mqttManager.publish("plate/pixels/led/r", "128");
15        Thread.sleep(100);
16        mqttManager.publish("plate/pixels/led/g", "255");
17        Thread.sleep(100);
18        mqttManager.publish("plate/pixels/led/b", "0");
19
20        Thread.sleep(500);
21        mqttManager.publish("plate/pixels/led", "1");
22        Thread.sleep(1000);
23
24
25
26
27        mqttManager.publish("plate/pixels/led/r", "153");
28        Thread.sleep(100);
29        mqttManager.publish("plate/pixels/led/g", "255");
30        Thread.sleep(100);
31        mqttManager.publish("plate/pixels/led/b", "51");
32
33        Thread.sleep(500);
34        mqttManager.publish("plate/pixels/led", "2");
35        Thread.sleep(1000);
36    }
```

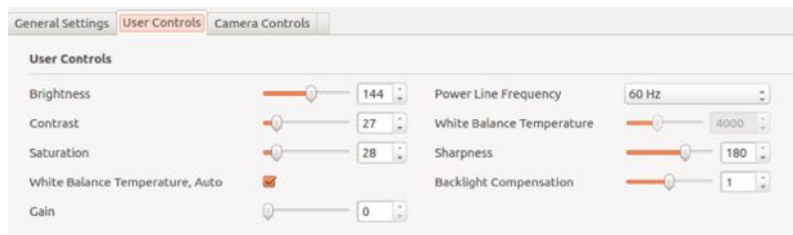
Figura 76. Execução de scripts no programa *MQTT.fx*.

### 3.6.5 Ferramenta V4L2

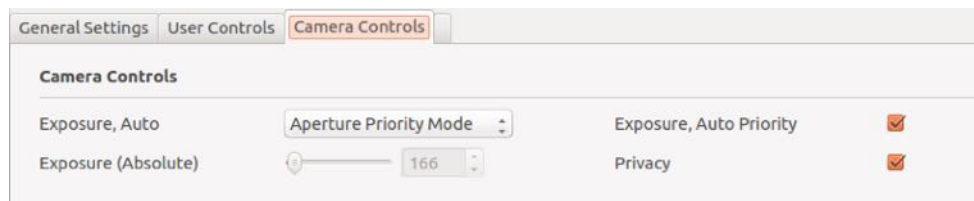
Ao longo do desenvolvimento desta dissertação foram sendo manipulados alguns parâmetros das *webcams* modificadas. Algumas destas modificações foram realizadas por código escrito em C++ na ferramenta *OpenCV*. No entanto, veio a verificar-se que as webcams não respondiam sempre da mesma forma. Devido a este comportamento decidiu-se utilizar uma ferramenta externa de manipulação dos parâmetros das webcams. Na figura 77 observa-se os parâmetros utilizados, em V4L2, para manipular a imagem final.



a)



b)



c)

Figura 77. Manipulação dos parâmetros da webcam através da ferramenta V4I2CTL. a) Painel de configurações gerais; b) Painel de configurações do utilizador; c) Painel de configurações da câmara.

### 3.7 Configuração ROS

De forma a unir todos os processos e componentes, optou-se pela adoção do ROS. Este é descrito como um “meta operating system” para robôs [46]. O ROS conjunto de bibliotecas de software que criam uma camada de abstração entre *software* e *hardware*, permitem um controlo de baixo nível de hardware, implementam um sistema de comunicação entre processos e fornecem ainda um sistema de desenvolvimento de software. Dispõe ainda de uma comunidade ativa de desenvolvimento que fornecem múltiplas bibliotecas. Estas bibliotecas são tipicamente chamadas por package.

Na continuação do desenvolvimento do tema apresentam-se, nos seguintes subcapítulos, as bibliotecas utilizadas para implementar todo o sistema.

### 3.7.1 *MQTT Bridge*

O *MQTT Bridge* é um *package* que permite a conversão de tópicos *MQTT* para mensagens *ROS* e vice-versa. Este *package* contém um serviço que conecta a um servidor *MQTT*, recebe ou publica mensagens de ou para tópicos existentes, realizando a conversão de dados entre as duas plataformas. Isto permite ter uma rede de sensores implementada e distribuída através do protocolo *MQTT*. Estes sensores foram descritos no capítulo prático de calibração e sensor externo. Ambos os sistemas comunicam via protocolo *MQTT*.

Para a utilização desta *package* foi configurando o ficheiro *config.yaml*, com os parâmetros do servidor *MQTT*, respetivos tópicos, tipo de dados e qual o sentido de conversão.

### 3.7.2 *Video\_stream\_opencv*

Para realizar a conversão dos dados do Grupo Ótico, foi utilizada a *pacakage Video stream opencv*. Esta permite receber múltiplas fontes de vídeo e fazer a transformação no formato de imagem do *ROS*. Através deste *package* é depois possível transmitir, para múltiplos sistemas o tópico de imagem correspondente a cada câmara do Grupo Ótico. Relativamente à *package*, esta foi alterada para permitir a injeção de dados provenientes do *MQTT Bridge* na imagem do sensor de imagem térmica. Foi ainda alterado partes do código relativamente ao controlo dos parâmetros do arranque das câmaras *usb*.

### 3.7.3 *Mavros*

Para realizar a interface, entre *Ardupilot* e *ROS* foi utilizada a *package Mavros*. Esta *package* permite a comunicação com placas desde que implementem o protocolo de comunicação *Mavlink*, que é o protocolo oficial de comunicação da placa *APM 2.5*. A *package* permite ainda a redistribuição do sinal da placa de controlo para o software da estação de visualização de dados, o *Mission Planer*. Existe a necessidade de criar esta ponte, que tem o nome de *gcs\_bridge*, pois o *Mavros* toma controlo do sistema de comunicações, sendo assim possível ao utilizar esta ponte a redistribuição dos dados para múltiplos softwares.

A *package* foi corrida sem modificações, utilizando os parâmetros normais de configuração: porta de série do recetor de dados e porta *udp* para reenvio dos dados do protocolo *Mavlink*.



#### 3.7.4 Visualização

Para as imagens e visualização dos dados foram utilizadas várias ferramentas integradas no *ROS*. Começamos pela utilização do *Image View*, que é uma ferramenta simples para visualização de tópicos de imagem em *ROS*. De seguida utilizou-se a *Rqt\_gui*. Esta ferramenta permite a construção de interfaces gráficas com múltiplos componentes dos *ROS*. Um deles é a utilização do *Image view*. Atendendo a isso a interface gráfica do Grupo Ótico é a *Rqt\_gui* com seis janelas da ferramenta *Image\_view*.

Para a visualização gráfica dos dados a serem processados dentro do sistema *ROS*, foi utilizado o *Rqt Graph*. Este permite observar todas as interações entre nós, tópicos e mensagens.

## 4. RESULTADOS

Neste capítulo discutem-se os resultados obtidos da integração das diferentes plataformas, *Flir One*, *Flir Tools*, *LEDs*, *Flir Purethermal*, Grupo Ótico com iluminação artificial, Grupo Ótico no exterior e *ROS*.

### 4.1 Resultados *Flir One* e *Flir Tools*

De forma a poder ter uma métrica de comparação com a ferramenta *Flir One* foram efetuados múltiplos testes. Para que os resultados tenham uma leitura mais clara e potencial replicação, optou-se por utilizar o seguinte alinhamento: fotografia sensor *RGB*; fotografia sensor térmico; e escala de temperatura apresentados da esquerda para a direita, respetivamente. Descrevem-se de seguida os resultados desses testes.

Para o primeiro teste foi tirada uma fotografia a uma calçada próxima de um relvado, com folhas em decomposição. Esta foto foi retirada com uma temperatura ambiente de 30°C (figura 78).

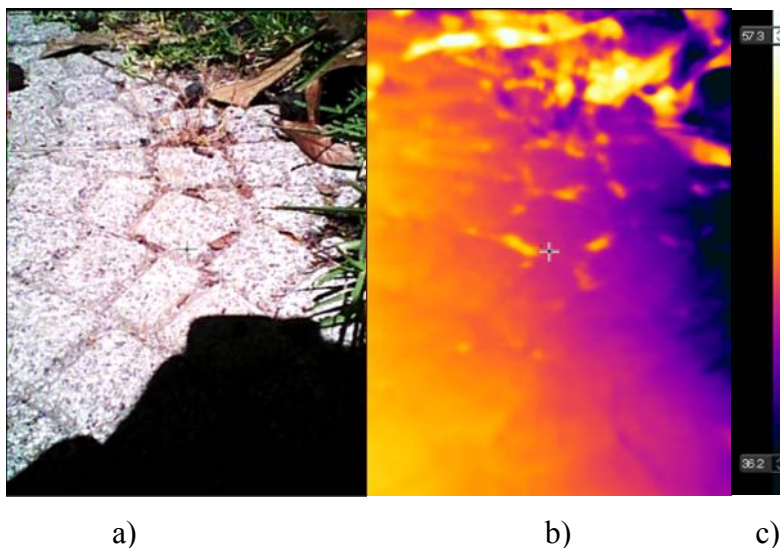


Figura 78. Fotos provenientes do sensor *Flir One* em calçada à temperatura ambiente de 30°C. No topo da foto “a)” podemos observar as folhas em decomposição. a) Imagem proveniente do sensor *rgb Flir One*; b) Imagem proveniente do ser térmico da *Flir One*; c) Gradiente de temperatura fornecido pela ferramenta *Flir Tools*.

Tal como observado na imagem *RGB* (figura 78), no lado esquerdo, na parte superior da calçada, a castanho, são identificadas folhas em decomposição, bem como relva e, na parte inferior, a sombra do autor. Note-se que na fotografia térmica, na parte do meio, se observa um gradiente de cor partindo do amarelo alaranjado para o roxo escuro, representando a

diferença de temperatura. Este gradiente corresponde ainda, neste caso, ao ponto mais afastado da calçada e a relva. Os valores de temperatura obtidos são na calçada no ponto mais afastado, à esquerda, 48.6°C; e na relva a 36.1°C, no ponto mais à direita. No topo da foto podemos observar as folhas em decomposição. A temperatura mais alta registada na imagem apresenta-se como amarelo, o valor reportado pelo software é de 61°C.

Na figura 79, retirada com uma temperatura ambiente de 39°C, observamos uma planta que floresceu através de uma frincha de um conjunto de blocos de cimento com uma espessura de 5cm, bem como a sombra de uma árvore.

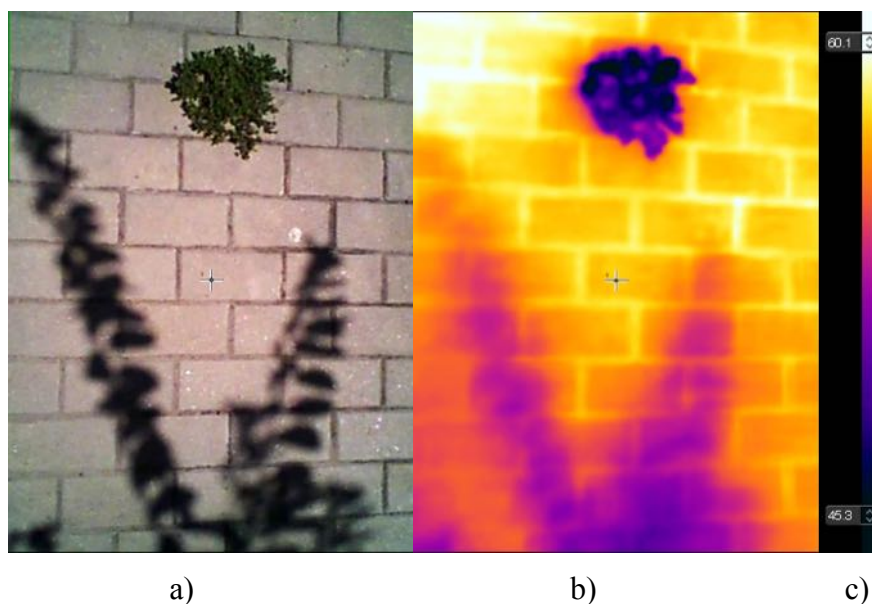


Figura 79. Fotos provenientes do sensor *Flir One* onde se regista o efeito de uma sombra e os seus contornos (51 °C), a diferença de temperatura entre o cimento e uma planta (44.1 °C - 60.4 °C), a uma temperatura ambiente de 39°C. a) Imagem proveniente do sensor rgb *Flir One*; b) Imagem proveniente do ser térmico da *Flir One*; c) Gradiente de temperatura fornecido pela ferramenta *Flir Tools*.

Na figura 79, na imagem do sensor térmico podemos observar dois fenómenos. O primeiro é a temperatura da planta ser inferior à temperatura dos blocos de cimento. O valor mínimo de temperatura na planta é de 44.1 °C e o valor máximo no canto superior esquerdo é de 60.4 °C. Observamos uma diferença de temperatura do meio envolvente de 16.3°C. O segundo fenómeno observado é a consequência da sombra da árvore. Conseguem-se observar, na imagem térmica, os contornos da sombra, registando aí um valor de temperatura de 51°C.

Na figura 80, na imagem a *RGB*, veem-se frutos (laranjas) e folhas em cima de um terreno com relva. Em contraste, na imagem térmica consegue-se identificar e diferenciar múltiplos elementos com uma cor amarelo-alaranjado. Começando pelos frutos foi feita uma

avaliação do seu estado para consumo, apresentando-se estes ainda em bom estado. As folhas, já em estado de decomposição, apresentavam uma temperatura mais elevada.

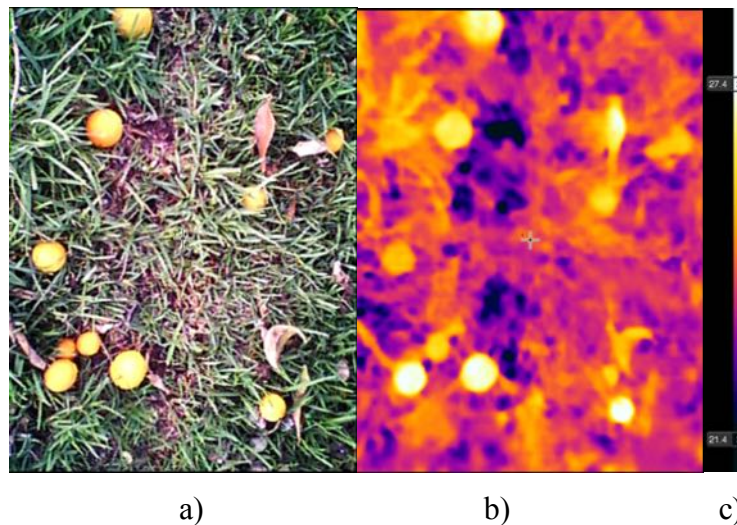


Figura 80. Fotos provenientes do sensor *Flir One*, sendo passível a diferenciação térmica de laranjas inertes no chão e a observação do seu estado de saúde. a) Imagem proveniente do sensor rgb *Flir One*; b) Imagem proveniente do ser térmico da *Flir One*; c) Gradiente de temperatura fornecido pela ferramenta *Flir Tools*.

Relativamente à relva, observando a figura 81, resultante da junção das duas imagens *RGB* e térmico, consegue-se perceber que o tom de amarelo, na imagem *RGB*, que está relacionado com o estado de saúde da relva, tem, por consequência, uma temperatura mais elevada que uma planta em pior estado de saúde.

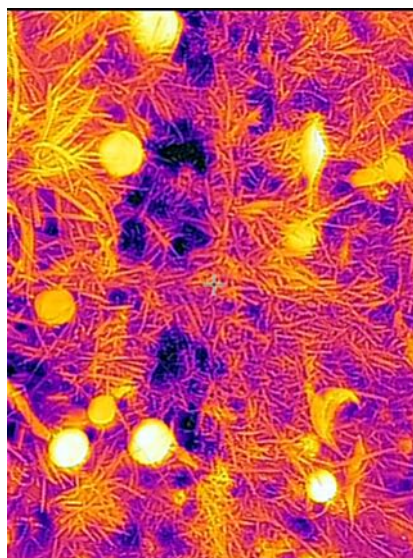


Figura 81. Foto proveniente do sensor *Flir One* onde é realçado a diferença de temperatura entre solo e laranja e o estado de saúde (temperatura mais elevadas) da relva.

#### 4.1.1 Análise de resultados com *Flir One*

Da análise dos resultados retira-se que a ferramenta *Flir One* tem aplicabilidade na análise de saúde das plantas. A planta através do processo de transpiração desloca água desde a sua raiz até à folha. Este processo é claramente visível e cria uma imagem característica, tipicamente apresentada por uma diferença de cor entre as plantas e o meio ambiente. No entanto, convém salvaguardar que para o sucesso desta análise é necessário um diferencial de temperatura elevado. Comparando o diferencial de temperatura da figura 79 com a figura 80, registou-se um valor de 21.4°C a 27.4°C. Esta diferença é justificada dado que os testes foram efetuados em diferentes alturas do dia, no caso da figura 80, no final do dia. Esta verificação demonstra a importância da variação circadiana da iluminação e do seu impacto na redução de diferenças de temperatura entre os vários elementos da natureza e necessidade de datação (dia, mês e ano) bem como da hora da aquisição de dados. Desta forma é recomendável que os testes sejam efetuados na hora correspondente à maior intensidade luminosa do dia [47].

Na combinação das duas imagens, *RGB* e térmica, é possível avaliar o estado das plantas através da análise da presença de descolorações da planta, na imagem *RGB* e alterações de temperatura na imagem térmica. Fica, contudo, a dúvida se é possível com o sensor térmico distinguir plantas em decomposição de frutos ainda em bom estado de consumo, pois as suas respostas térmicas foram idênticas. É importante ressaltar que na criação da representação da imagem térmica, o sensor atribui à escala criada a mesma latitude apresentada na imagem recolhida. Isto é, se na cena existir um objeto com uma temperatura de 100°C e outro com uma temperatura de 20°C, a escala apresentada será de 20°C a 100°C.

## 4.2 Resultados dos testes *LEDs*

A componente de *LED* verde pode ser vista, na câmara *RGB*, à esquerda na figura 82. Esta câmara não é modificada, por isso vê-se o verde do led. Em contrapartida, na câmara modificada, figura 82, com o filtro *Wratten 25 A*, consegue-se notar a presença do *LED* verde, sendo perceptível que a sua transmissão é bastante ténue. Analisando a curva de transmissão do filtro *Wratten 25 A* (figura 83) [48], verifica-se que este ainda permite a transmissão da componente verde, embora numa zona bastante próxima do vermelho, com um pico a iniciar na zona final do espectro da componente verde. Em contraponto, na câmara modificada com o filtro *BG3*, não se verifica a presença do *LED* Verde. Analisando-se a curva de transmissão do



filtro *BG3* verifica-se que este tem um valor de transmissão bastante baixo para a componente de espectro característico da luz verde.

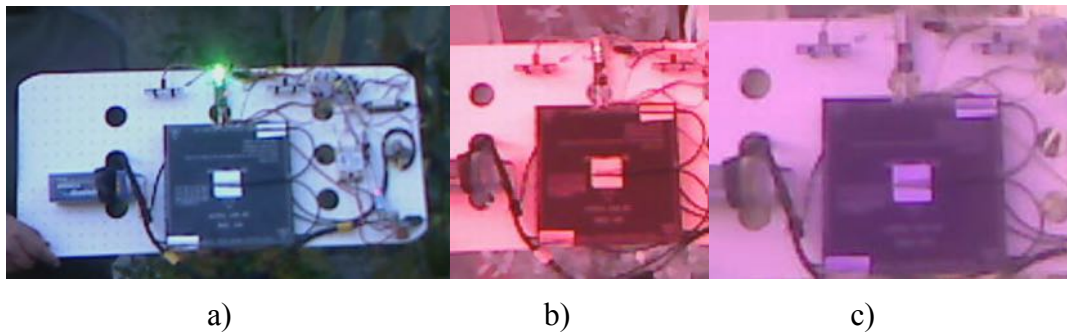


Figura 82. Resposta diferenciada do Grupo Ótico com o *LED Verde*. a) Resposta da câmara *RGB*; b) Resposta da câmara modificada com filtro *Wratten 25 A* ; c) Resposta da câmara modificada com filtro *BG3*.

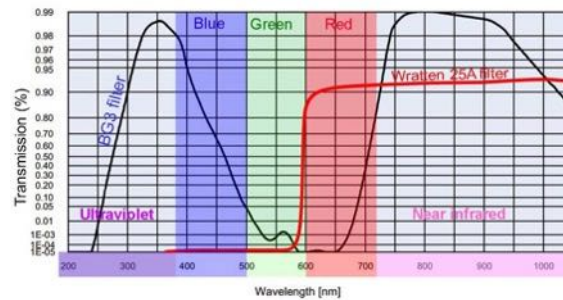


Figura 83. Resposta espectral dos dois filtros, *Wratten 25 A* e *BG3*, utilizados no Grupo Ótico [48].

A componente do *LED azul* pode ser vista na imagem *RGB*, apresentada à esquerda na figura 84. Na câmara modificada com o filtro *Wratten 25 A*, não se observa a presença do led azul, isto justifica-se porque este filtro não tem transmissão nesta zona do espectro, tal como se observa na figura de resposta de transmissão. Na câmara modificada com o filtro *BG3*, observa-se a transmissão da cor azul, já com atenuação. Esta justifica-se pela resposta de transmissão do filtro na zona espectral do led correspondente ao valor fornecido pelo fabricante (455nm), ser de aproximadamente 50%.

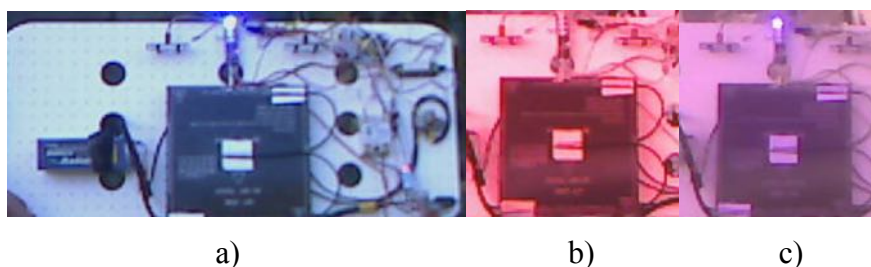


Figura 84. Resposta diferenciada do Grupo Ótico com o *LED Azul*. a) Resposta da câmara *RGB*; b) Resposta da câmara modificada com filtro *Wratten 25 A* ; c) Resposta da câmara modificada com filtro *BG3*.

O resultado do *LED* vermelho pode ser visto na câmara *RGB* e na câmara modificada com o filtro *BG3* (figura 85). Na câmara com o filtro *Wratten 25 A*, o *LED* parece apresentar mais brilho ou um nível idêntico. Esta resposta não corresponde com a esperada. Era espectável que o filtro deixasse passar a luz proveniente do led vermelho, mas com uma atenuação de 10%, ou seja existe uma redução do brilho.

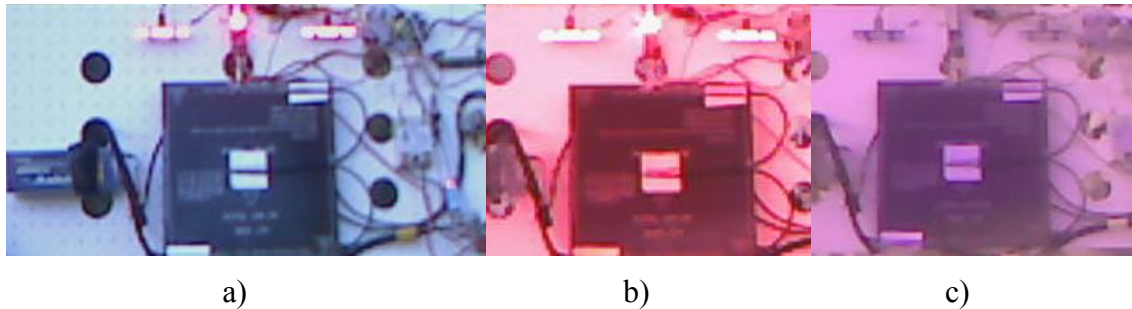


Figura 85. Resposta diferenciada do Grupo Ótico com o *LED* Vermelho. a) Resposta da câmara *RGB*; b) Resposta da câmara modificada com filtro *Wratten 25 A*; c) Resposta da câmara modificada com filtro *BG3*.

Coloca-se a hipótese que este erro tenha sido originado pelo processo de calibração de cores, dado que ao remover o filtro *IR*, a câmara fica mais sensível ao canal vermelho e ao resto do espectro dos infravermelhos, o *Near IR*, 1,100nm. Com este erro valida-se o processo de calibração com os *LEDs*. Ao utilizar uma fonte de emissão comum e com um valor conhecido, pode-se validar os resultados da calibração manual.

### 4.3 Análise da Flir Purethermal

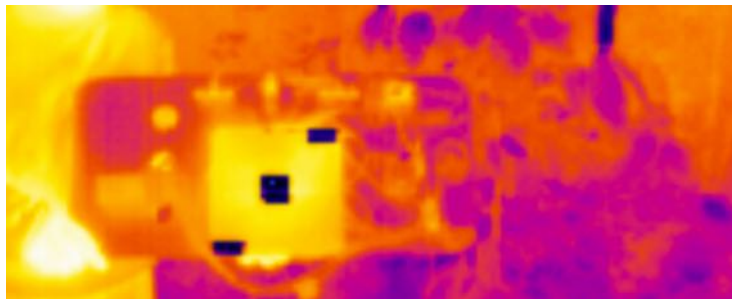
Após a translocação do sensor da placa *Flir one* para a outra placa *Purethermal* e introdução do *firmware* customizado, realizaram-se testes para verificar se o sensor de imagem térmico mantinha o mesmo comportamento que na aplicação original. Para isso colocou-se a placa no exterior e aguardou-se algum tempo para que todos os sensores de temperatura estabilizassem. Após avaliação da temperatura ambiente colocou-se o elemento resistivo com uma temperatura de 25°C. Foram recolhidas múltiplas temperaturas através do termómetro de infravermelhos sem contacto de forma a validar os valores apresentados pelo programa *Home Assistant* (figura 86).

👁️	Agua	12.00 °C
👁️	lux	95.00 lx
🔧	temperatura ambiente	18.12 °C
👁️	temperatura inicio	22.00 °C
👁️	temperatura meio	25.00 °C
👁️	temperatura fim	26.50 °C

Figura 86. Valores de temperatura do prato de calibração registados no software *Home Assistant*.

Os valores de temperatura registados no *Home Assistant*, variaram entre 0.1°C e 2°C, sendo que os sensores de temperatura Dallas foram os que apresentaram o menor desvio de leituras. Estes sensores correspondem aos valores apresentados na figura 87: Água (12°C), temperatura início (22°C), meio (25°C) e fim (26.5°C). O valor da temperatura registado da mão, lido pela sonda, foi de 30°C.

Observando a figura 87, que inclui na parte superior a imagem proveniente do sensor térmico e na parte inferior a proveniente do sensor *RGB*, pode-se concluir que o sensor térmico continua a ter o mesmo comportamento relativamente à criação de uma imagem com paleta de cores.



a)



b)

Figura 87. Imagens provenientes do Grupo Ótico, com destaque do comportamento do sensor térmico (a). a) Resposta do sensor térmico do Grupo Ótico; b) Resposta do sensor RGB do Grupo Ótico.



Analisando a temperatura do prato (figura 87), que varia dos 22°C aos 26.5°C, consegue-se observar um gradiente de cor, indicando que o sensor mantém uma boa representação de temperatura. Em relação à temperatura ambiente, registada pelo sensor de temperatura ambiente com o valor de 20°C, esta pode ser observada em toda a cena, com uma cor predominante de roxo claro estando a temperatura mais baixa, que seria de 12°C, associada à cor de roxo escuro.

Relativamente ao *firmware* existente na placa *Purethermal*, verifica-se que, apesar da latitude de temperatura se manter idêntica à existente na aplicação original, a perda de informação de temperatura, ponto a ponto, cria alguns problemas, apesar da imagem resultante ser boa. A obtenção de informação adicional seria o resultado ideal.

#### 4.4 Resultados do Grupo Ótico com iluminação artificial

Tal como previamente referido, no subcapítulo da metodologia, de forma a proceder à análise do Grupo Ótico, criou-se um conjunto de testes com iluminação artificial. A análise dos resultados foi dividida por elementos de iluminação. Devido ao facto de o sensor térmico não responder a estes testes, desativou-se este elemento.

Relativamente à calibração dos sensores (figura 88), optou-se por deixar todas as opções de configuração destes em modo automático. As diferentes opções como ganho, balanço de brancos e exposição, quando controladas manualmente podem introduzir resultados diferentes do que aqueles obtidos em modo automático. Esta opção também é justificável visto os três sensores serem o mesmo modelo.



Figura 88. Calibração do Grupo Ótico através da utilização de alvos de calibração.

No primeiro teste, registou-se a resposta do sensor *RGB* ao *LED* verde (figura 89). Com o sensor *RGB*, foi passível de se observar o componente verde. Desta forma, infere-se que a componente da luz verde é vista sem reduções de luminosidade ou alterações de cor.

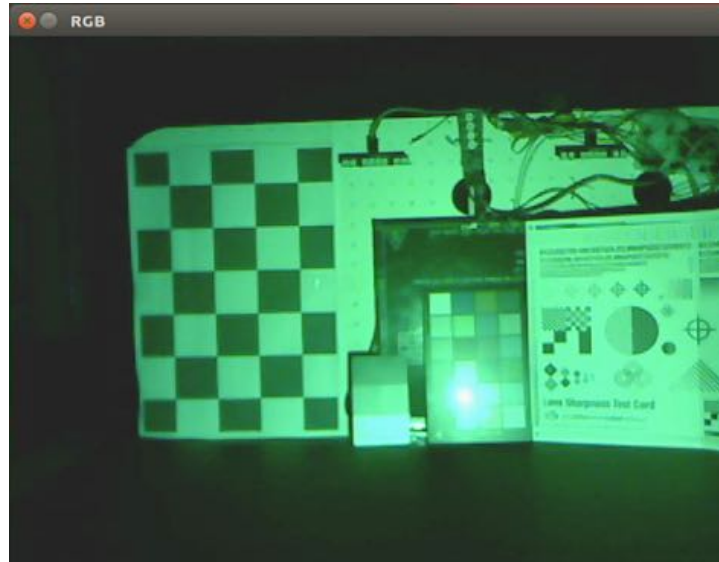


Figura 89. Resposta do sensor *RGB* ao *LED* Verde.

No teste com o sensor modificado com o filtro *WR25A* (figura 90) verificou-se que este apresenta uma resposta com baixa luminosidade. Esta observação justifica-se pela resposta de transmissão de filtro à componente do espectro de luz verde.

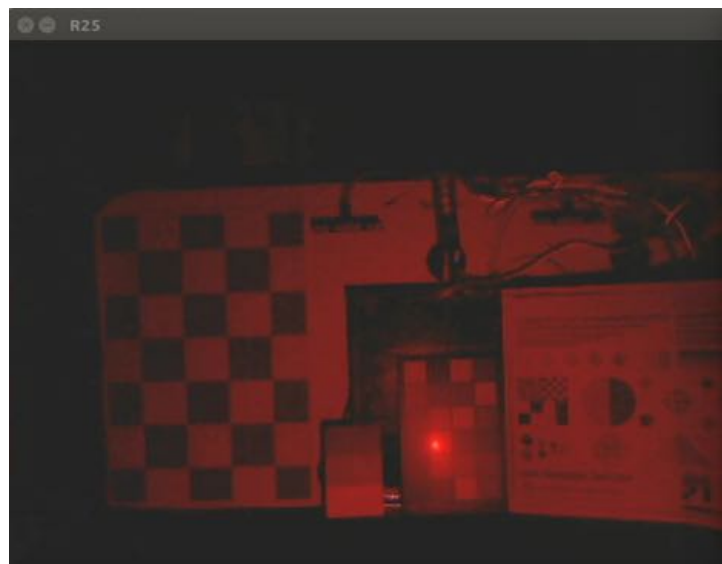


Figura 90. Resposta do Sensor *WR25* ao *LED* Verde.

Relativamente à alteração de cor, observam-se dois fenómenos. Um provocado pela definição de correção automática de brancos fornecida pela câmara e o outro resultante da aplicação do filtro *WR25A*. O filtro provoca a atenuação da luminosidade que chega ao sensor,

reduzindo assim a quantidade de luz que chega ao sensor proveniente da componente verde. Deste modo entende-se que o filtro provoca uma mudança de cor da luz verde. A alteração das cores, pelo processo automático de correção de brancos, resulta num vermelho forte. A cor esperada resultante deste filtro e da luz verde seria um tom laranja. Relativamente ao sensor modificado com o filtro *BG3* (figura 91) não se observa a mesma resposta pois este filtro elimina, por completo, a luz verde.

No teste com o *LED* azul começamos por observar a resposta do sensor não modificado (figura 91). Verifica-se um tom de azul claro com uma luminosidade forte e não se observa nenhuma alteração à luz.

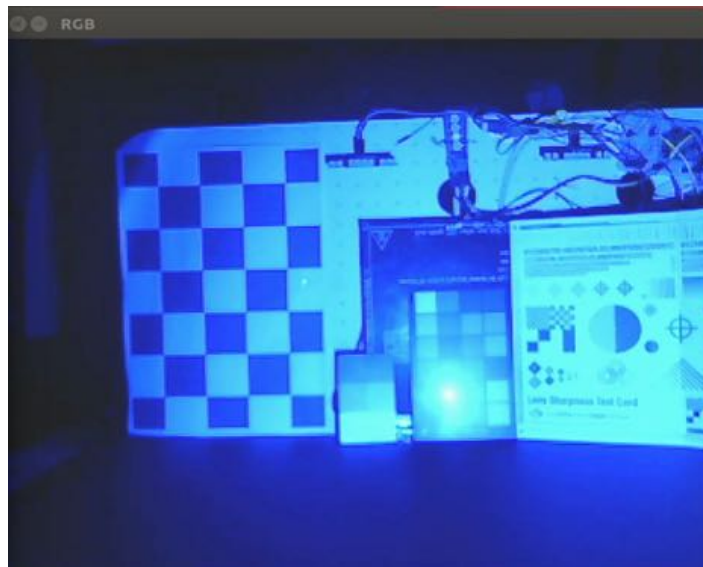


Figura 91. Resposta do Sensor RGB ao *LED* Azul.

Os resultados decorrentes do uso do sensor modificado com *BG3* (figura 92) não corresponderam ao esperado. Esperava-se uma atenuação da cor azul, na curva de transmissão do filtro, sendo que a componente espectral do led azul foi atenuada na ordem dos 30%. Para além da ausência de atenuação, verifica-se uma ligeira mudança de cor, para azul violeta.

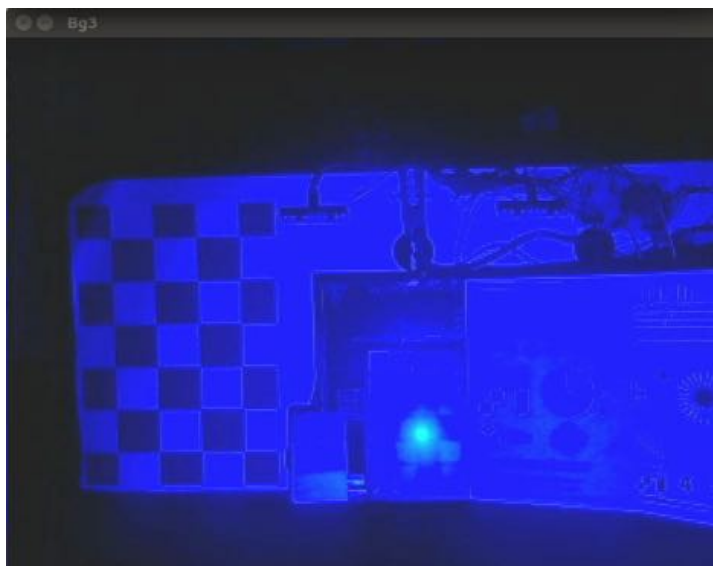


Figura 92. Resposta do Sensor *BG3* ao *LED* Azul.

Da análise à resposta do sensor modificado com o filtro *WR25A*, verifica-se que o LED azul produz uma luz com componente espectral ultravioleta. Não se esperava resposta neste sensor, ou seja, a imagem resultante seria a preto. Resultante desta alteração de cor consegue-se ver os componentes que, quando iluminados com uma luz *UV* (figura 93), produzem a seguinte resposta: o painel da estrutura produz uma cor branca, que é visto como vermelho; um dos cabos que liga os equipamentos, produz a cor vermelho. Relativamente à luminescência deste elemento, esta deve-se ao facto de o sensor aumentar a exposição automaticamente de acordo com a luminosidade presente na cena.

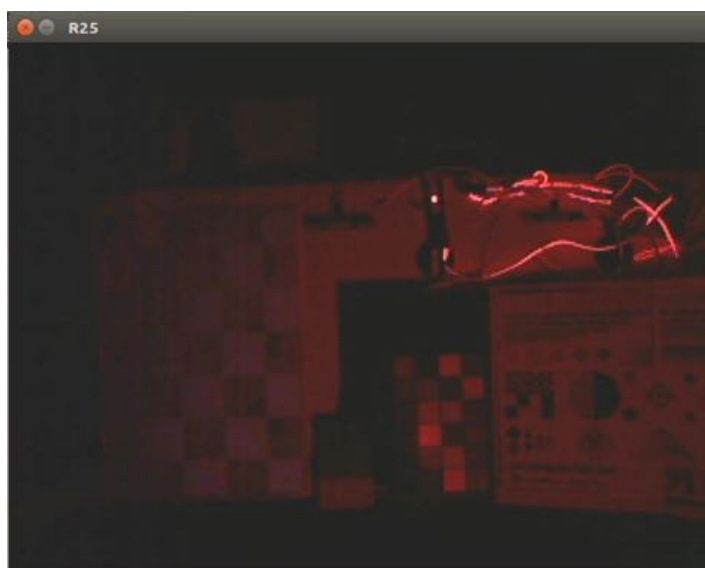


Figura 93. Resposta do sensor *R25* à componente *UV* do *LED* Azul.

Com a iluminação do *LED* vermelho obtiveram-se os resultados mais próximos dos esperados. Verifica-se no sensor *RGB* (figura 94), uma ligeira descoloração, tendendo a cor para um vermelho rosa.

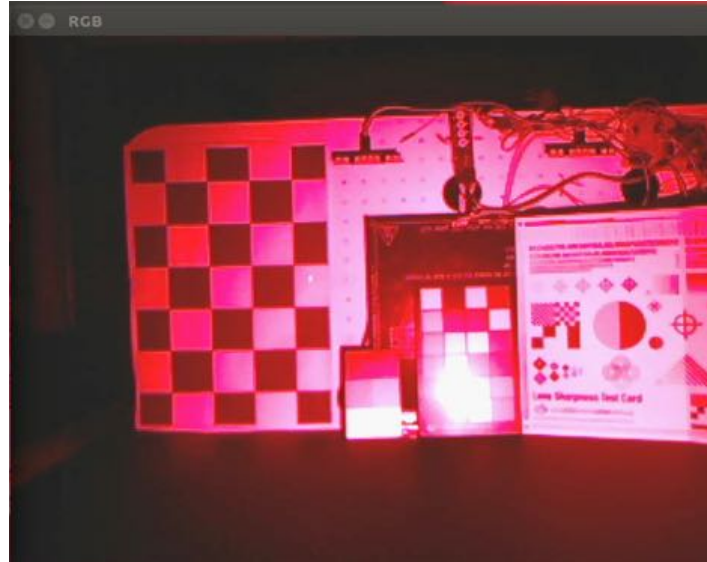


Figura 94. Resposta do Sensor *RGB* ao *LED* Vermelho.

Relativamente ao sensor *WR25* (figura 95) os resultados obtidos foram os esperados. Visualiza-se uma cor de vermelho nítido e menos tingido por rosa que no sensor *RGB*. Desta forma o filtro consegue remover as restantes componentes do espectro, deixando só passar o vermelho e *IR*.

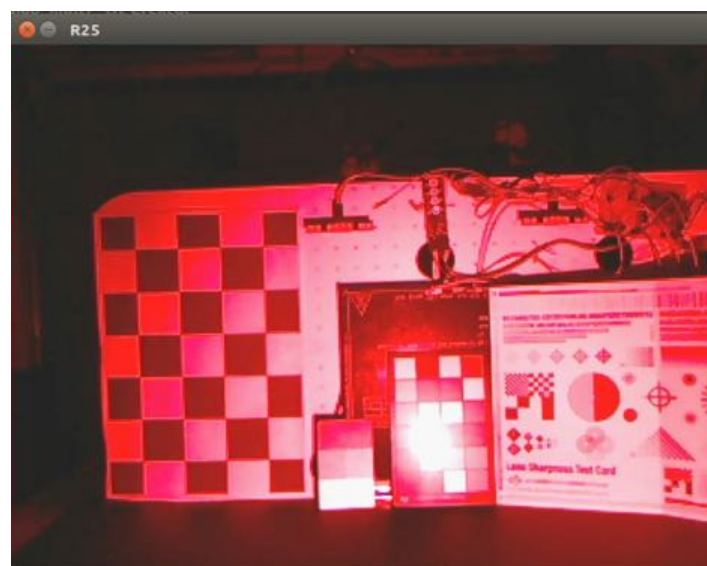


Figura 95. Resposta do Sensor *WR25* ao *LED* Vermelho.

Consegue-se observar no sensor *BG3* (figura 96), embora com pouca luminosidade, a presença da iluminação do *LED* vermelho, estando esta de acordo com a curva de transmissão do filtro, com uma subida que se inicia na zona espectral dos 650nm.

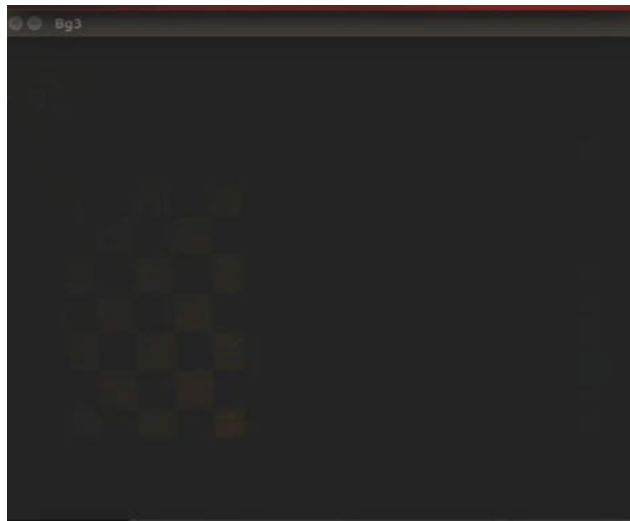


Figura 96. Resposta do Sensor BG3 ao *LED* Vermelho.

Utilizando o led *UV*, consegue-se observar na câmara *RGB* (figura 97) a resposta dos componentes quando iluminados com este tipo de luz. Os objetos brancos, ganham uma luminosidade grande e a cor predominante é o azul. O efeito de aumento de luminosidade de objetos brancos é visualizado à vista normal e a componente azul é tipicamente observada em fotografia com câmaras normais.

Nos cartões de calibração é visualizada a cor roxo e não era esperado que estes tivessem um retorno da luz tão forte.

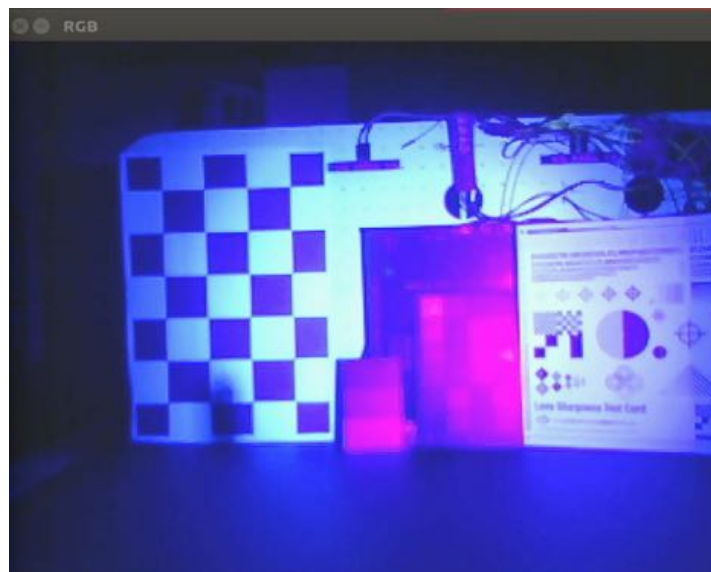


Figura 97. Resposta do Sensor *RGB* ao *LED UV*.



Com o sensor *WR25A* (figura 98) observa-se a componente da luz que retorna em branco e é filtrada permanecendo só a componente do vermelho. Atendendo aos níveis de luminosidade verificados no teste do *LED* vermelho e aos resultados do sensor *RGB*, esperava-se uma resposta com um vermelho com maior luminosidade.

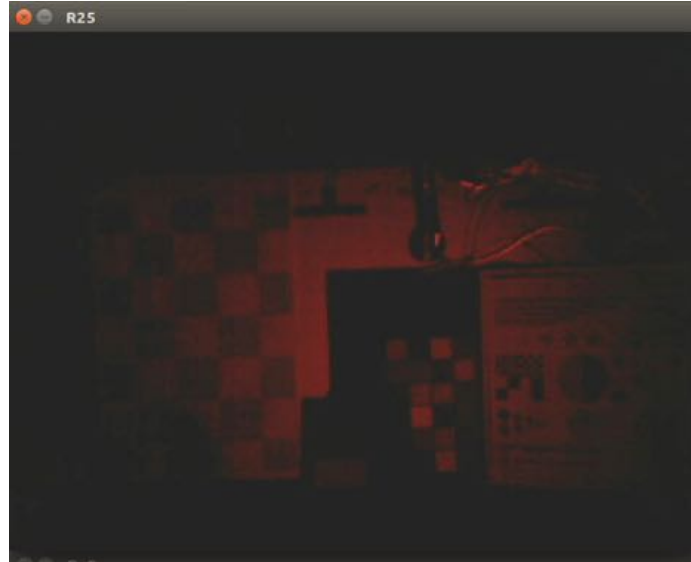


Figura 98. Resposta do Sensor R25 ao *LED UV*.

O sensor *BG3* (figura 99), produz uma resposta de acordo com a esperada, atendendo ao facto que este filtro tem um índice de transmissividade de praticamente um para o comprimento de onda do led *UV*. Note-se ainda a diferença de cor entre este sensor *BG3* e o sensor *RGB*. No primeiro nota-se claramente uma cor violeta, enquanto que no *RGB* a cor representada é azul.



Figura 99. Resposta do Sensor BG3 ao *LED UV*.

Na resposta ao *LED IR* de 740nm (figura 100), observa-se no sensor *RGB* uma resposta de baixa luminosidade. Através da análise da imagem consegue-se perceber que o valor de

ganho já estava bastante elevado (mais ganho, mais ruído na imagem). No entanto pode-se ainda concluir que o sensor, com o seu filtro *IR*, de origem ainda tem resposta a esta componente do espectro, embora sendo esta muito baixa e pouco prática para utilização normal.



Figura 100. Resposta do Sensor *RGB* ao *LED IR 740nm*.

Nos outros dois sensores, *WR25A* e *BG3*, a única diferença é que no *WR25A* (figura 101) visualiza-se um ligeiro tom de vermelho comparativamente ao sensor *BG3* (figura 102). Relativamente a esta diferença, esta podia ser corrigida com a opção de “tint”, no entanto para testes não se realizaram estas correções.



Figura 101. Resposta do Sensor *R25* ao *LED IR 740 nm*.





Figura 102. Resposta do Sensor *BG3* ao *LED IR 740 nm*.

Convém ainda ressaltar que no canto esquerdo de ambas as imagens, o papel contém um padrão de xadrez o qual não aparece representado nas imagens. Isto deve-se ao facto de a tinta utilizada absorver o espectro da luz emitida. Para a iluminação com o led *IR* de 840 nm observam-se resultados praticamente idênticos nos sensores modificados com o filtro *WR25A* (figura 103) e *BG3* (figura 104). Também se continua a perceber ausência do padrão de xadrez na esquerda de ambas as imagens. A presença de uma ligeira coloração vermelha no sensor *WR25A* é pouco evidente entre as duas imagens. Neste espectro de iluminação o sensor *RGB* já não apresenta resposta devido à atenuação do filtro *IR* de origem.



Figura 103. Resposta do Sensor *R25* ao *LED IR 840 nm*.



Figura 104. Resposta do Sensor *BG3* ao *LED IR 840 nm*.

Por último observamos o comportamento do Grupo Ótico através da utilização de uma lâmpada de halogéneo. Pela análise do gráfico de emissão apresentado previamente, sabe-se que esta não emite luz no comprimento de onda dos *UV* e a sua emissão, na componente do espectro da luz azul, é bastante baixa. Tem como pico a banda espectral correspondente ao amarelo e a sua resposta espectral decai ao longo do vermelho e dos infravermelhos.

Analisando a imagem, proveniente do sensor *RGB* (figura 105), observa-se uma cor branca e uma presença completa das cores. Esta cor branca deve-se ao facto da correção automática do equilíbrio de brancos. Caso esta fosse ajustada, a representação desta lâmpada seria um tom amarelo visto ser esta componente espectral com mais emissividade.

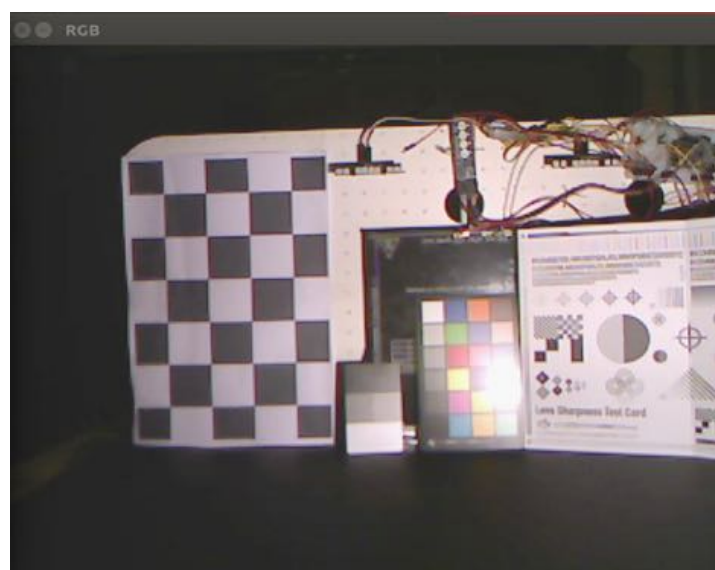


Figura 105. Resposta do Sensor *RGB* à lâmpada de halogéneo.

Relativamente ao sensor *WR25A* (figura 106) percebe-se uma coloração vermelha da imagem. Se observarmos o padrão de xadrez, verifica-se que este começa a perder cor, resultante da utilização do filtro que bloqueia todo o espectro anterior ao vermelho. A luminosidade da imagem também resulta da presença deste filtro pois a curva de transmissão desta deixa passar a zona corresponde aos vermelhos e infravermelhos, os quais são comparáveis com os valores de emissão da lâmpada de halogéneo.

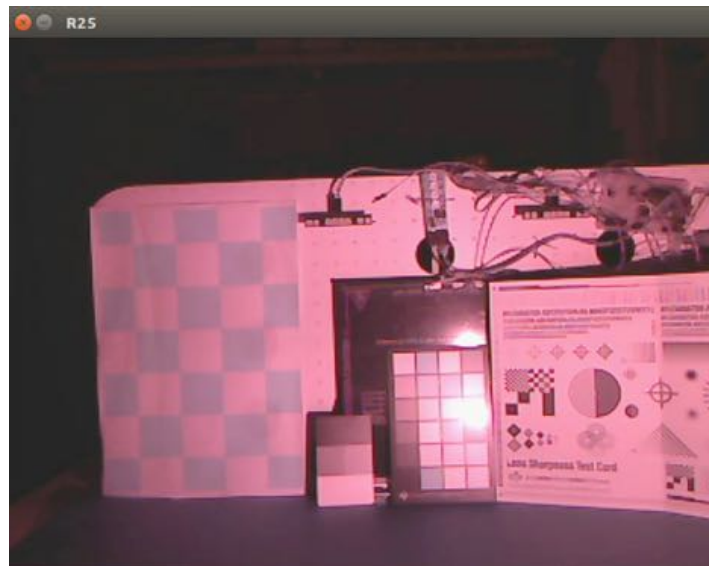


Figura 106. Resposta do Sensor R25 à lâmpada de halogéneo.

Relativamente ao sensor *BG3* (figura 107), começamos por observar o padrão de xadrez, verificando-se que este já se encontra pouco visível tal como o resultado dos leds 740 nm e 840 nm. A lâmpada de halogéneo não tem emissão na componente espectral dos ultravioleta que é uma das bandas que o filtro *BG3* deixa passar, sendo que em consequência disto não se observa nenhuma cor. Resultante deste filtro fica só a componente dos infravermelhos, componente cujo filtro tem uma transmissão de aproximadamente 1, iniciando o seu decaimento a partir dos 850 a 900 nm. Esta curva corresponde também às emissões de radiações da lâmpada utilizada.

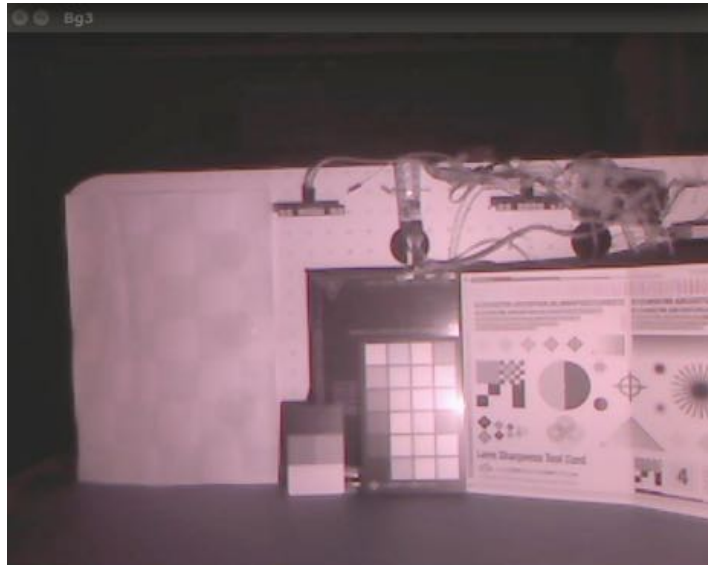


Figura 107. Resposta do Sensor *BG3* à lâmpada de halogéneo.

Como conclusão deste capítulo, valida-se a utilização de elementos de iluminação artificial para obtenção da resposta das alterações ao Grupo Ótico, sendo que o único elemento que não obteve a resposta esperada foi o *LED* Azul.

No que concerne aos cartões de calibração, importa referir que estes são fabricados com uma película mate, de forma a reduzir as reflexões das luzes. Em todas as imagens consegue-se verificar um pequeno foco onde a luminosidade é mais forte, correspondendo este ao ponto onde o *LED* está alinhado com o alvo de calibração. No caso do *LED UV*, o alvo ficou iluminado por completo, tendo um retorno da imagem com maior luminosidade que o resto da cena visualizada.

#### 4.5 Resultados do Grupo Ótico no exterior

Para testes do Grupo Ótico foi escolhido um local onde se encontravam múltiplas plantas e árvores. O objetivo da cena escolhida é poder recriar vários pontos de referenciação com plantas/árvores saudáveis e outras em início de decomposição ou em estado de decomposição. Intencionalmente, a cena tem ruído nas imagens de forma a poder observar a interação desse ruído com o resto da imagem.

Começou-se por proceder à calibração e referenciação do sensor *RGB* do Grupo Ótico (figura 108). Este passo teve como objetivo permitir avaliar a exposição do sensor *RGB* em cada teste. Observando a figura 108 e figura 109 podemos concluir que com a exposição automática obtêm-se imagens sobre e sub expostas.



Figura 108. Calibração de exposição e contraste do sensor RGB.

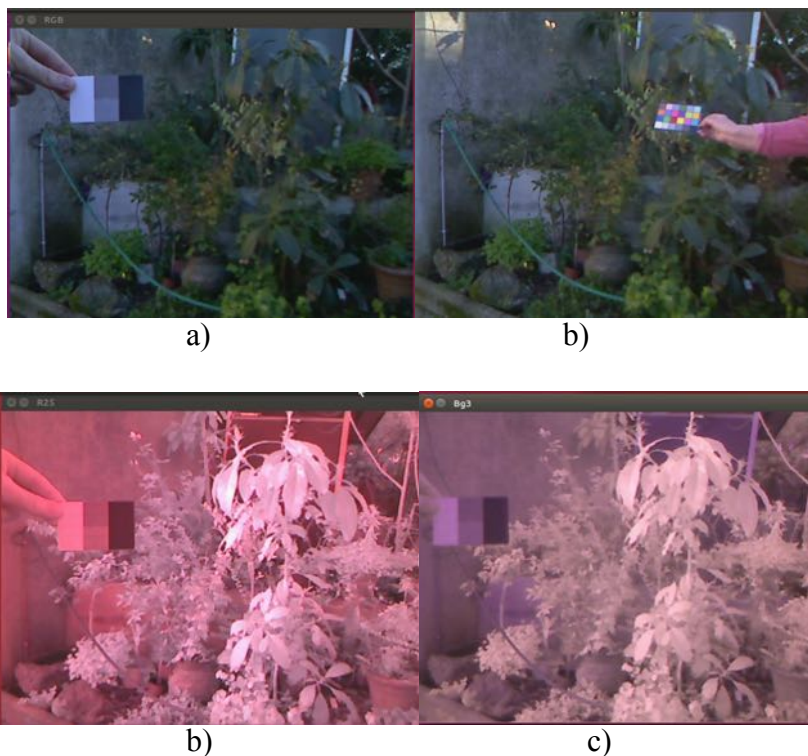


Figura 109. Utilização do alvo comercial *Mid Grey* e alvo de cores para referenciação de exposição. a) Calibração *Mid Grey* sensor RGB; b) Calibração alvo de cores sensor RGB; c) Referenciação de valores através da utilização do alvo *Mid Grey* no sensor R25; d) Referenciação de valores através da utilização do alvo *Mid Grey* no sensor BG3.

A árvore selecionada para análise foi a árvore de manga. Esta apresentava um conjunto de folhas em bom estado e outras já com indicadores de problemas de mau estado tal como pode ser observado na figura 110.



Figura 110. Árvore de manga, utilizada como fundo para os testes ao Grupo Ótico.

Procedeu-se a uma recolha de temperaturas, através do termómetro sem contacto, seleccionando múltiplos pontos e registando a temperatura. Observando a tabela 7 podem verificar-se múltiplos dados.

Tabela 7 - Registo de temperatura (termómetro sem contato) no cenário de Árvore de Manga

Temperatura ambiente	18.1°C
Temperatura leitura solo	10.3°C
Temperatura corpo água	12°C
Temperatura planta perto do solo	17°C
Temperatura planta nível médio	17.3
Temperatura planta topo sombra	18°C
Temperatura planta topo iluminado sol	19.1°C

Colheu-se uma folha da árvore de manga que apresentava estar em médio estado e já com um elevado fator de degradação nas extremidades. Começa-se por observar a planta com o sensor *RGB*. Usando a mão para segurar a folha como referência de posição, consegue-se observar a mudança de cor da folha de um verde para castanho nas pontas, na zona final da folha. Colocada no fundo está a árvore de manga. Observando-se a foto na figura 111 consegue-se visualizar uma descoloração nas folhas da árvore de manga.





Figura 111. Folha de manga visualizada pelo sensor *RGB*.

Na zona envolvente da planta de manga também estão outras árvores de fruto, onde, à vista desarmada ou através do sensor *RGB*, não se observa nenhum problema de desenvolvimento. Para analisar a planta observe-se a imagem térmica na figura 112, devido à diferença de posicionamento e ângulo de visão da lente de cada sensor, a imagem obtida apresenta uma diferença de alinhamento.

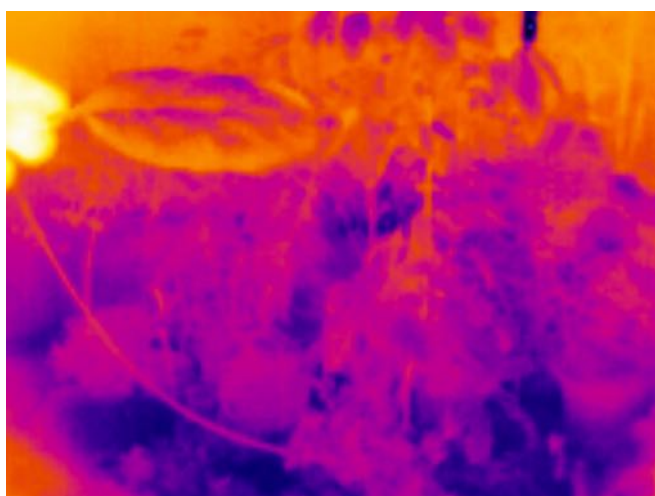


Figura 112. Folha de manga visualizada pelo sensor *PureThermal*.

Na imagem do sensor térmico (figura 112) temos a mão como referência de temperatura a 33°C, com um amarelo forte, a roxo escuro temos o terreno / água com uma temperatura de 10°C a 12°C. Como roxo claro temos a temperatura de 16°C. Como se pode observar a folha acabada de colher apresenta no seu núcleo uma cor de roxo claro. Nas suas pontas, a cor apresentada tende para um amarelo alaranjado, o que corresponde a um gradiente de temperatura do núcleo para o exterior.

Na figura 113, observa-se a imagem proveniente do sensor de imagem modificado com o filtro *BG3*. Pode-se comparar a diferença de tonalidade das plantas entre esta imagem e a

proveniente do sensor *RGB*, resultando numa diferença de tonalidade mais acentuada entre as zonas onde a planta apresenta degradação. Como resultado da remoção do filtro *IR* e introdução do filtro *BG3*, verifica-se ainda uma diferença de luminosidade acentuada entre as plantas e os restantes objetos.



Figura 113. Folha de manga visualizada pelo sensor *BG3*.

Na parte superior da imagem, na zona do meio, consegue-se observar uma estrutura cuja cor original era branca. Note-se agora a diferença de cor deste elemento, que aparece na imagem com um tom azul. Observa-se a ausência da cor verde em toda a imagem, sendo que a presença da cor azul só é perceptível em duas zonas. Na figura 114, observa-se o resultado do sensor de imagem com o filtro *WR25A*. Começando pela análise da folha recolhida, verifica-se também uma diferença de tonalidade acentuada entre as zonas onde a planta apresenta degradação.





Figura 114. Folha de manga visualizada pelo sensor *WR25*.

Nas restantes plantas do fundo, a diferença entre luminosidade das plantas e da restante cena é ainda mais evidente comparativamente à imagem produzida pelo Sensor *BG3*. Note-se a presença da cor vermelho na estrutura branca e uma ligeira coloração de vermelho em toda a imagem.

#### 4.5.1 Análise aos resultados do Grupo Ótico

Através da visualização em simultâneo de todas as imagens, provenientes dos múltiplos sensores, foi possível inferir o estado de saúde das plantas, em concordância com a avaliação qualitativa dos extremos de estado de conservação biológica. Através do sensor térmico foi possível observar uma correlação entre a temperatura da planta e o seu estado de saúde. A planta ao efetuar o processo de transpiração desloca água desde a sua raiz até a ponta da planta. É este processo que está a ser observado na imagem térmica. Este mecanismo da planta apresenta um diferencial de temperatura em relação ao registado nos elementos constituintes do prato de calibração (criado artificialmente).

Da análise dos resultados do Grupo Ótico, enunciam-se pontos fulcrais na sua implementação metodológica:

1. A análise da temperatura de um cenário, realizada pelo Grupo Ótico, pressupõe que haja um diferencial de temperatura e como tal, a data da realização dos testes tem um impacto bastante significativo. A realização deste teste, por exemplo na altura do Inverno, das 2 a.m. às 4 p.m., produziria resultados potencialmente inconclusivos. Isto deve-se ao facto de existir, por esta altura do dia, uma maior uniformização da temperatura entre solo, temperatura ambiente e

temperatura das plantas. Tal como os testes com a ferramenta *FLIR One* indicaram, sugere-se dias/horas com um grande diferencial de temperatura. Para este propósito, sugere-se a utilização de ferramentas de monitorização da temperatura como o *Home Assistant*, como a que foi utilizada neste trabalho, que permite a visualização (através das sondas de temperatura) da amplitude do diferencial de temperatura;

2. A inclusão de uma sonda de humidade, poderá constituir uma mais valia correlacionando a humidade do solo com a sua temperatura e a temperatura das plantas;

3. Analisando os sensores de imagem modificados, verificou-se que a remoção do filtro *IR* permite visualizar uma componente espectral que era removida analogicamente. Na realidade atendendo ao objetivo de aplicação original das câmaras, esta componente do espectro tem pouco interesse na sua usual utilização;

4. As plantas apresentam maior luminosidade comparativamente aos restantes objetos presentes na cena. Esta resposta é a componente mais interessante para o estudo da saúde das plantas, estando relacionada com o grau de reflexão do componente da iluminação no espectro dos infravermelhos. Sendo assim, a utilização dos filtros permite isolar as restantes componentes e providenciar uma análise mais detalhada;

5. A performance dos filtros foi avaliada qualitativamente, tendo-se analisado de forma diferencial qual o filtro que removia maior quantidade de informação, ou seja, permitia um melhor isolamento da banda a ser observada.

Como foi apresentado no Estado da Arte, múltiplos fabricantes estão a avançar para a adição de vários filtros, em contraponto pela escolha isolada de um só filtro, de forma a ser possível o registo de múltiplas respostas em simultâneo e mais detalhada análise da cena a ser observada.

## 4.6 Resultados *ROS*

Neste capítulo apresentam-se os resultados obtidos através da utilização do *ROS*. Começamos por apresentar a visualização de todos componentes e informação que circula no sistema (diagrama na figura 115).

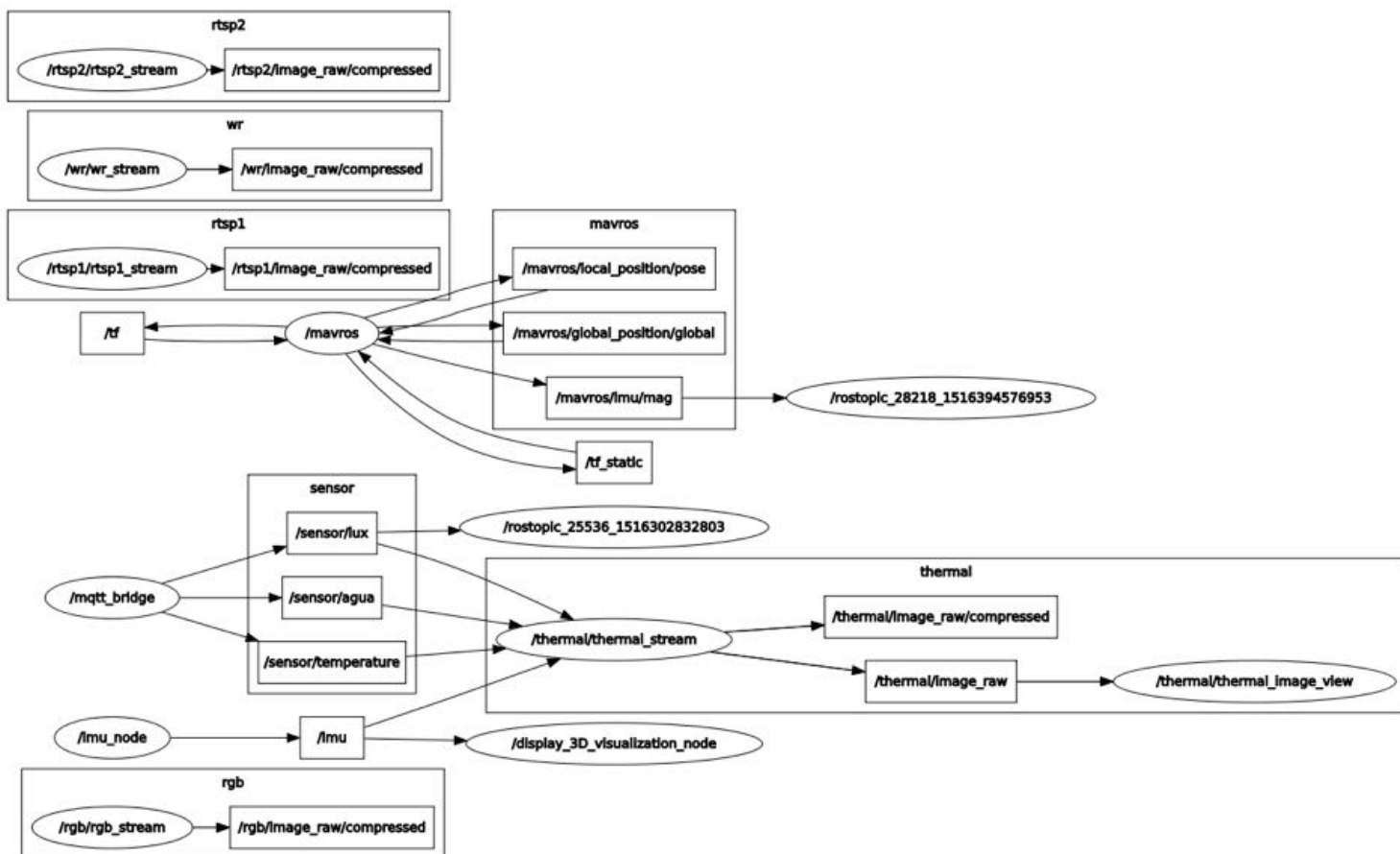


Figura 115. Diagrama de relação entre componentes ROS.

A organização dos tópicos e mensagens foi feita de modo automático através do componente ROS *rqt\_graph* (figura 115). Na parte superior, observa-se o resultado da visualização dos tópicos de imagem disponibilizados pelas câmaras de stream *rtsp* e pelo sensor modificado com o filtro *WR25A*. Na parte do meio, podemos observar a interação entre os tópicos de pose e o processo *Mavros*. O *Mavros*, ao conectar a *APM* com o ROS, cria todos os tópicos relacionados com posicionamento. Na parte do *MQTT Bridge*, conseguimos observar a transformação dos tópicos *MQTT* em mensagens ROS. Estas ficam então disponíveis para serem consumidas por outros nós. Como se visualiza na figura 115, o nó *thermal*, que corresponde ao processo de visualização da imagem proveniente do sensor térmico, estão a ser utilizadas as informações provenientes do sensor externo. Observa-se ainda que este processo consome mensagens provenientes do *IMU* adicionado (*Razor 9DOF*).

Na figura 116 pode-se observar o resultado da interface *Rqt\_gui*. Nesta estão presentes as seis imagens provenientes do Grupo Ótico e das duas câmaras de *stream*. No canto superior esquerdo pode-se visualizar a imagem resultante da fusão de dados entre o sensor térmico e o sensor externo de temperatura.

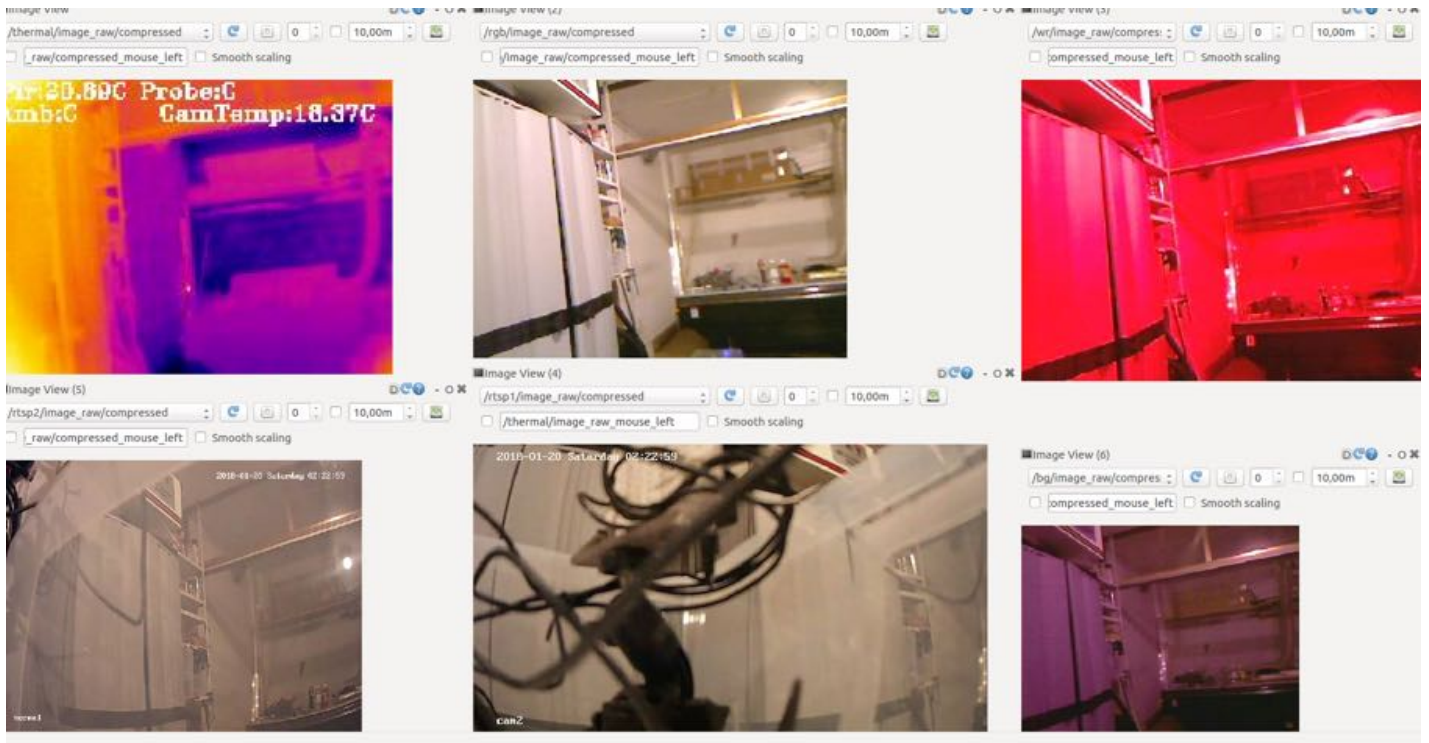


Figura 116. Visualização de imagens e dados provenientes do Grupo Ótico (interface Rqt\_gui).

O resultado da interligação da *APM* com o *Mission Planner* através do *MavRos* pode ser observado na figura 117. Os dados provenientes da placa de controle, através do protocolo *Mavlink*, são retransmitidos para o *software* de visualização e comando via porta *udp*. Estes dados estão disponíveis a outros clientes que queiram interagir com a placa de controle.



Figura 117. Visualização dos dados provenientes da *APM* no software *Mission Planner*.

## 5. INTEGRAÇÃO DE TODOS OS SISTEMAS

Neste capítulo são abordados os passos necessários para efetuar a integração de todos os componentes. Nos capítulos anteriores foram analisados, de forma independente, os sistemas desenhados.

### 5.1 Integração do *Hardware*

Para evitar os erros que decorriam do sensor PIR estar montado numa placa de ensaio, foi necessário passar este para uma *PCB*. Desta forma, procedeu-se ao processo de desenho esquemático e *layout* de *PCB* utilizando o *software Eagle* de criação de *PCBs*, de custo zero para utilização não comercial. Para o processo de fabrico das *PCBs* foi utilizado o *software Flatcam*, igualmente gratuito, com produção final em fresagem via *CNC*. Para encapsular o sensor e respetivo *PCB*, foi desenhada e produzida uma caixa em impressora 3D. Na figura 118 são visualizados todos os passos necessários para integrar, na Plataforma Móvel, o sensor de recolha de temperatura.

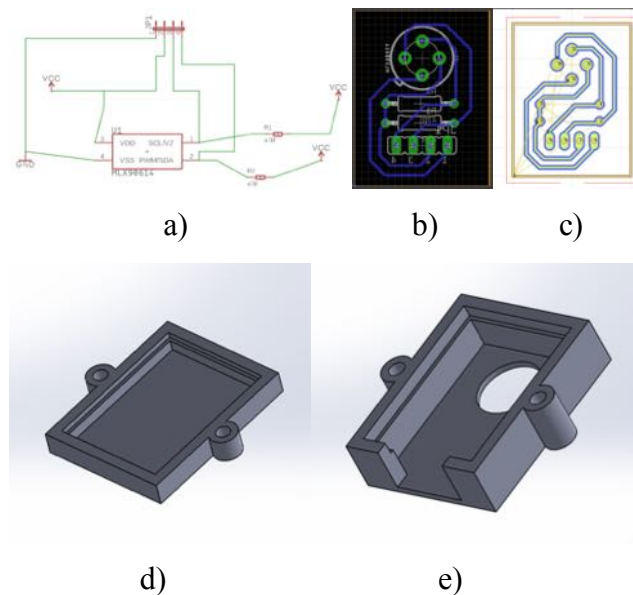


Figura 118. Desenho esquemático, *layout* de *PCB*, preparação de fabrico e encapsulamento do sensor PIR. a) Desenho do esquemático em *Eagle*; b) Organização de vias em *Eagle*; c) Preparação de corte via fresagem *CNC* de *PCB* no *software FlatCam*; d) Desenho da tampa traseira do sensor *PIR*; e) Desenho da tampa frontal do sensor *PIR*.

Após a realização da integração do sensor *PIR*, foi ainda necessário fabricar mais uma *PCB* para a placa *Teensy*. Na placa *Teensy*, corre uma versão do componente do sistema *ROS*. O *ROS-Serial* é um *package* que permite utilizar placas de sistemas embebidos como um nó de



comunicações. Nesta aplicação decidiu-se utilizar uma *Teensy 3.5*. De forma a evitar erros devidos a vibrações e impactos, decidiu-se realizar o mesmo processo efetuado para o sensor *PIR*. Na figura 119 observa-se o esquemático realizado e *PCB* final.

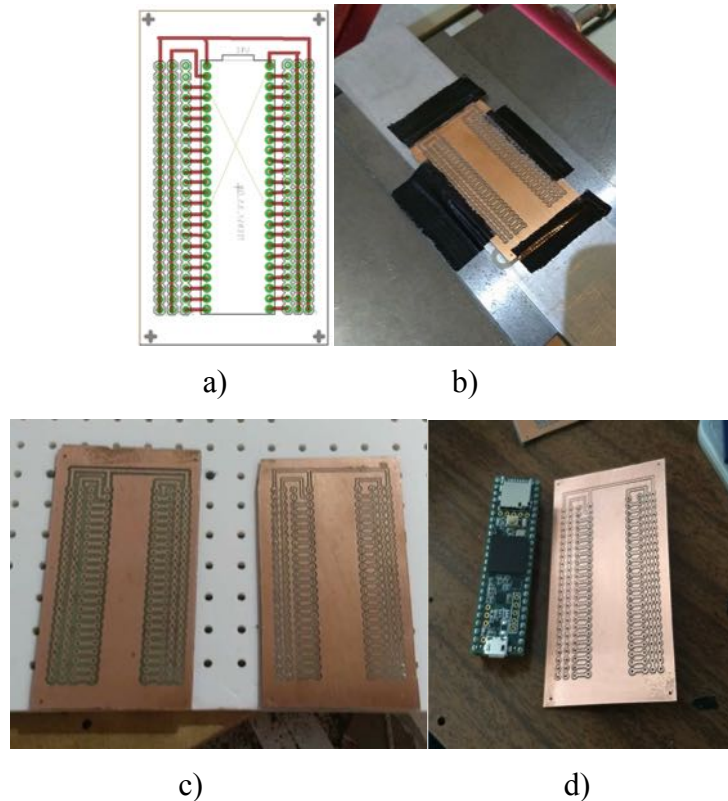


Figura 119. Desenho (*software Eagle*) e fabrico em fresagem *CNC* de *PCB* de suporte para a placa *Teensy 3.5*. a) Desenho no *software Eagle* de *PCB* para *teensy 3.5*; b) *PCB* após fabrico por fresagem *CNC*; c) Comparação entre diferentes iterações de fabrico; d) Placa final pronta a ser soldada.

Para a integração dos componentes, *Nvidia Jetson*, *ethernet hub*, *modem wifi* e diferentes câmaras, foram necessários vários passos para poder adicionar todo equipamento à Plataforma Móvel (figura 120). O primeiro passo foi desenhar e fabricar uma caixa, pois não foi possível encontrar uma opção comercial que fosse adequada. Em segundo, procedeu-se à adaptação de todos os sistemas às baterias disponíveis. Cada equipamento tem uma tensão de funcionamento diferente e fixa e por isso foi necessário utilizar um conversor e regulador de tensão. Atendendo a que se poderiam utilizar baterias com diferentes níveis de tensão, optou-se por utilizar reguladores *dc/dc buck-boost*. O terceiro passo foi a criação de cabos com as tomadas corretas para cada equipamento (atendendo a que estes utilizavam transformadores *ac/dc*), sistema de distribuição de energia com proteção de fusível e a criação de cabos *ethernet* com o comprimento necessário para poder interligar os componentes dentro da caixa.

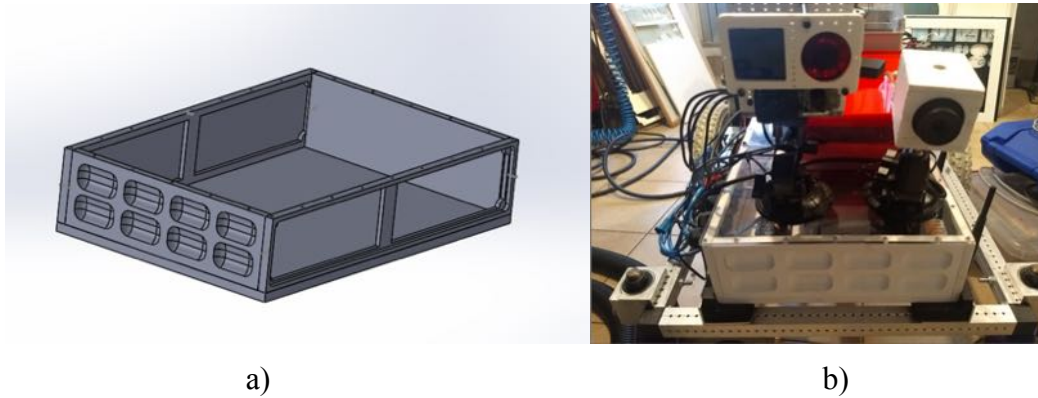


Figura 120. Desenho em *CAD* e produção da caixa (em fresagem *CNC*) para o suporte e integração dos diferentes componentes (*Nvida Jetson*, *ethernet hub*, modem *wifi* e diferentes câmaras). a) Desenho da caixa em software *CAD*;  
b) Caixa já com os componentes integrados.

O quarto passo constitui a adição de uma nova estrutura de suporte à Plataforma Móvel. Foram utilizadas duas barras em L de alumínio e foi adicionada uma esponja de forma a minimizar os impactos transmitidos ao chassis pelo terreno. Como último passo foi necessário proceder à substituição dos pneus da Plataforma Móvel. No decorrer dos testes da plataforma verificou-se que os pneus iniciais, de formato rígido, transmitiam demasiadas vibrações à plataforma e tinham fraca aderência em terrenos de terra solta. A substituição implicou retificação das jantes em *CNC*, e substituição por pneus de câmara de ar. Este processo de ajuste da plataforma foi um passo importante para uma melhor aplicabilidade da Plataforma Móvel aos diferentes contextos e cenários (ex. inclinação, aderência do terreno), tipicamente observados nos terrenos da agricultura.

## 5.2 Planeamento da plantação e das trajetórias da Plataforma Móvel

Inicialmente, a estrutura foi desenhada para observar plantas cuja altura não seria superior a 30cm ou inferior a 20cm. A estrutura deslocaria por cima das plantas, as câmaras estariam centradas nas plantas e as rodas correriam em trilhos cuja dimensão correspondia a um tamanho fixo utilizado pelo agricultor tal como observado na figura 121.

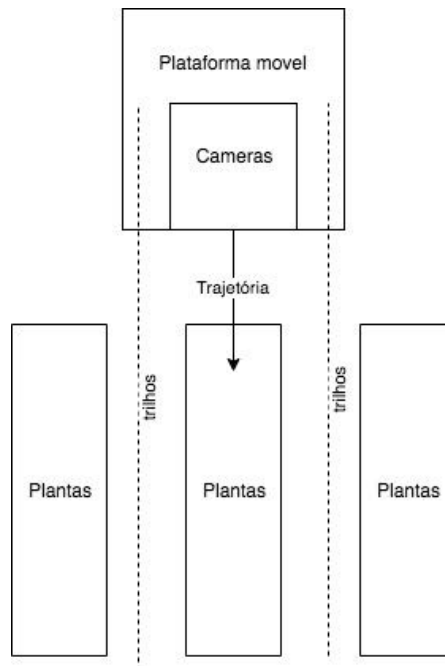


Figura 121. Trajetória de recolha de dados entre campos com plantas.

Devido ao clima atípico que ocorreu durante o ano de desenvolvimento da dissertação, o acesso ao campo, incluído no planeamento inicial, esteve condicionado. Assim foi necessário mudar a estratégia de análise. Esta mudança e opção teve impacto na qualidade da análise, pois o sistema foi projetado para uma distância de 30cm. Atendendo a que os campos disponíveis para a análise seriam diferentes e com trilhos diferentes teve que se planear um método de calibração das lentes diferentes presentes no sensor Grupo Ótico.

Nos testes ao Grupo Ótico verificou-se o impacto da alteração do ponto de focagem das câmaras modificadas com os filtros. No entanto, a recalibração teve que ser efetuada de forma rápida pois estas (elementos com o filtro *WR25A* e *BG3*) avaliam o retorno de um comprimento de onda específico. A qualidade da focagem pode ser descartada nesta fase de testes. Tal como dito anteriormente, das três câmaras de visão duas são de calibração adaptável, sendo a mudança de ponto de focagem algo que se executa sem recorrer aos alvos de calibração e, portanto, passível de ser executado no campo de testes. A câmara *RGB* pertencente ao Grupo Ótico multiespectral só pode ser alterada com o recurso a alvos de calibração. Como tal, decidiu-se deixar esta inalterada, não dando assim tanta relevância ao resultado obtido.

Para facilitar a aquisição de imagens de forma objetiva, seriada e replicável pela plataforma final, foi planeado um campo (dimensões agrícolas em cenário experimentação, inferiores ao cenário industrial), com a cultura de plantas de forma organizada entre trilhos.

Na figura 122, onde é disposto o planeamento e uniformização da plantação e trajeteto da plataforma, foram introduzidos vários elementos de ruído. Para além das lajes, foram



adicionados dois outros elementos de ruído. Um fruto acabado de colher em bom estado e um tabuleiro de plantas frescas prontas a plantar. Estima-se que estes elementos adicionados causem uma diferença relevante na cena observada pelo sensor Grupo Ótico, permitindo aferir a resposta da Plataforma Móvel em cenários reais com múltiplos ruídos.

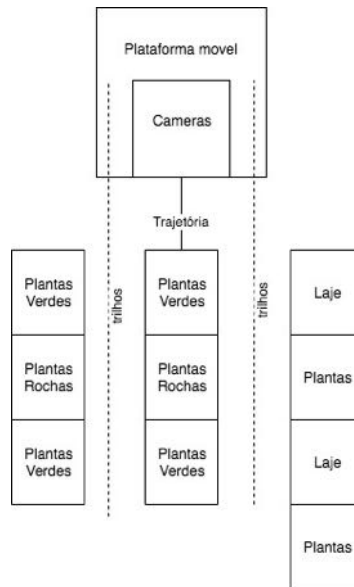


Figura 122. Planeamento da plantação e trajetória da Plataforma Móvel.

Foi adicionada ao terreno uma segunda secção (figura 123) onde, para além do grupo de plantas, foram incluídos vários elementos dispersos de forma a introduzir ruído na imagem registada pelos sensores.

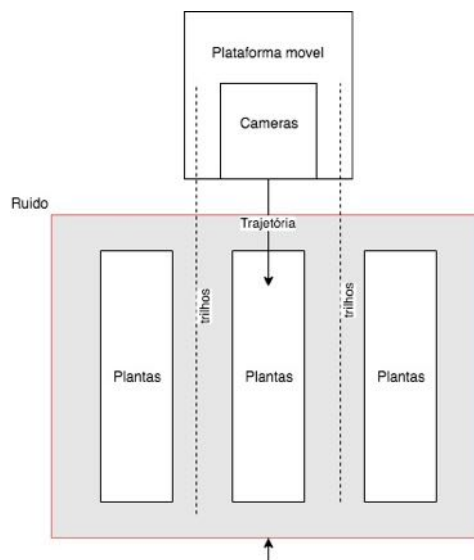


Figura 123. Introdução de ruído na zona de plantação e trajetória de movimento da Plataforma Móvel.

### 5.3 Integração do *Software*

Ao nível do software foi necessário executar algumas modificações e adicionar um modulo extra ao *ROS*. Ao longo do decurso dos testes efetuados, foram usados módulos isolados utilizados em *virtual machines* com o mesmo sistema operativo que corria na placa de sistema embebido. No entanto, devido a mudanças de arquitetura (*Intel* para *ARM*), foi necessário proceder a recompilações e algumas alterações a opções utilizadas nos módulos. Este passo foi realizado de forma a poder cumprir o objetivo final de ter uma plataforma comercializável.

Durante a execução dos testes verificou-se que o arranque dos módulos de visão não era executado de forma constante. Para isso procedeu-se à criação de um script específico que testava o arranque destas e validava o seu funcionamento. Relativamente aos módulos de *software* também foi necessário criar um *script* que garantisse a execução na sequência certa.

## 6. RESULTADOS INTEGRAÇÃO

Neste capítulo são discutidos os resultados resultantes da integração de todos os sistemas e sensores na plataforma final móvel.

### 6.1 Sensor externo

Começamos por falar dos resultados decorrentes do uso do sensor externo. O sensor externo (figura 124) permitiu inferir a temperatura do solo e do ar e avaliar a luminosidade presente no local. Esta sua utilização tornou possível a comparação com os dados da temperatura obtidos pelo sensor *Purethermal* e pela sonda PIR.



Figura 124. Introdução do sensor externo.

Na Figura 125 observamos, através do componente *ROS Topic List*, os dados provenientes da sonda de temperatura e da sonda de medição da temperatura do ar, sendo que a sonda de temperatura se encontrava enterrada a 5cm do topo do solo. Podemos observar que neste dia de testes foi obtido um diferencial de 5.25°C (como previamente mencionado). Através da configuração do servidor MQTT e componente *ROS MQTT Bridge* tornou-se possível a inclusão e a receção do sinal proveniente de múltiplos sensores externos, como a sua análise em tempo real.

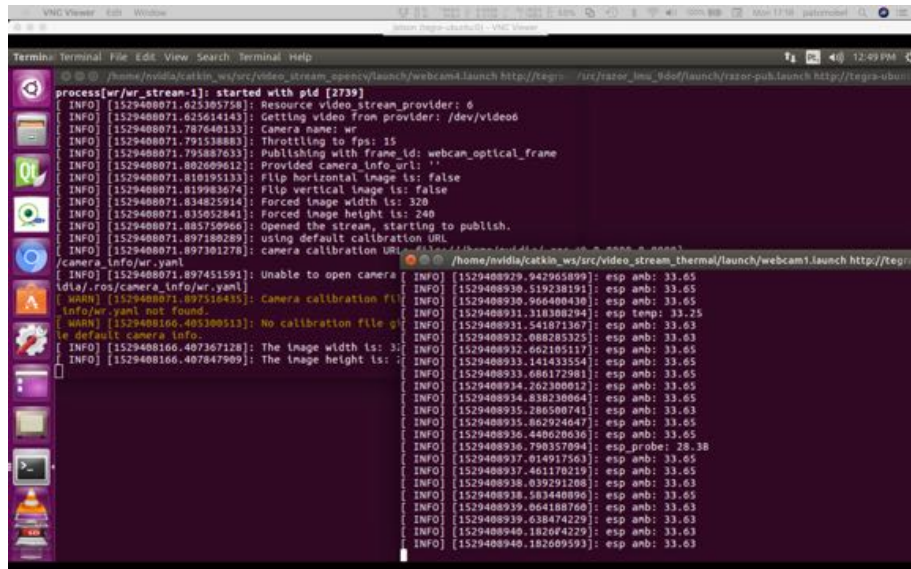


Figura 125. Análise dos tópicos publicados pelo sensor externo via MQTT e componentes ROS MQTT Bridge.

De seguida podemos observar, na figura 126, os resultados provenientes do programa *Mission Planner*. Estes dados permitem controlar, de forma instantânea, o posicionamento da Plataforma Móvel. Obtém-se também a atitude da plataforma podendo assim julgar, de forma rápida, se esta se encontra em risco de perder o equilíbrio ou visualizar o trajeto já percorrido.



Figura 126. Controlo de altitude, posicionamento GPS e trajeto percorrido (software *Mission Planner*).

Na figura 127 visualizam-se os sistemas de receção e análise de dados, com recurso a dois monitores externos e um portátil.



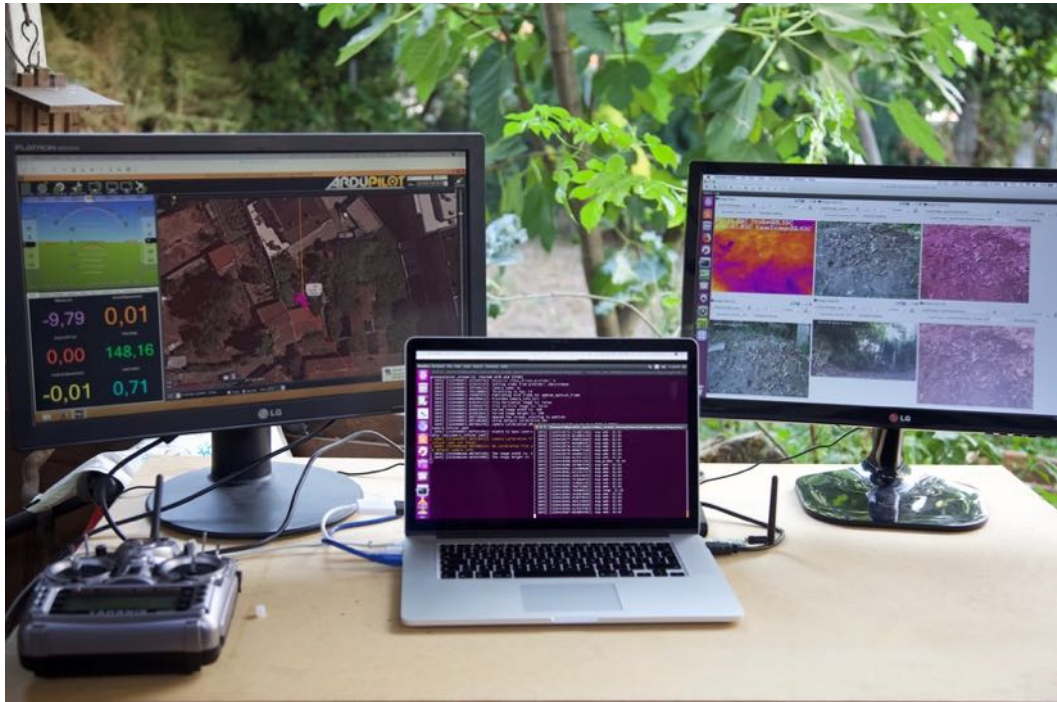


Figura 127. Sistema de recepção e integração em portátil, com projeção em 2 monitores externos.

## 6.2 Plataforma Móvel em cenário de campo de agricultura

Antes de ser inicializada a limpeza do campo e a plantação, de acordo com a ordem estabelecida no capítulo “Planeamento da plantação e das trajetórias da Plataforma Móvel”, efetuou-se uma recolha de dados do campo sendo escolhidas duas zonas para análise tal como observado na figura 128. A primeira zona incluía vegetação e dois blocos de pavimento e a segunda incluía plantas frescas, blocos de cimento e frutos que tinham caído recentemente de uma árvore.

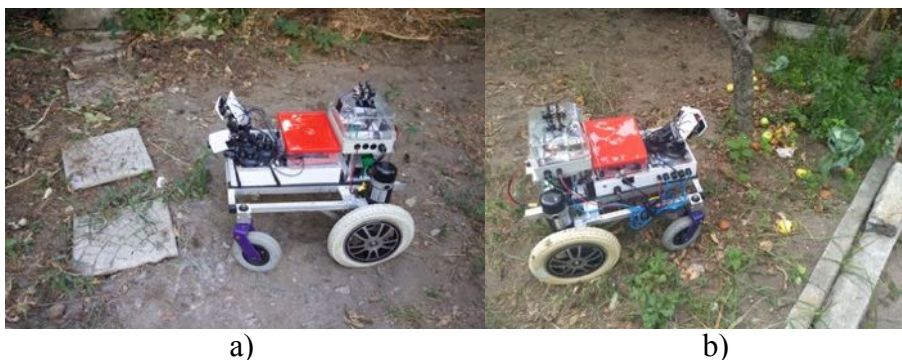


Figura 128. Cenário e captação em cenário de campo real, repartido por duas zonas de interesse. a) Zona com lajes e vegetação; b) Zona com frutos e plantação de forma aleatória.

Na primeira zona, com os dois blocos de pavimento, pode-se observar a imagem correspondente ao sensor *Purethermal* (figura129, imagem no canto superior esquerdo). Tal como falado, nos capítulos anteriores, observa-se a amarelo laranja o elemento mais quente da cena avaliada pelo sensor e a roxo o elemento mais frio. Os blocos de cimento, representados a amarelo laranja, absorvem a energia proveniente do sol e libertam a energia de forma lenta ao longo do dia. A roxo observamos as plantas, cuja temperatura é inferior à temperatura de um elemento exposto ao sol, aproximando-se da temperatura do solo.

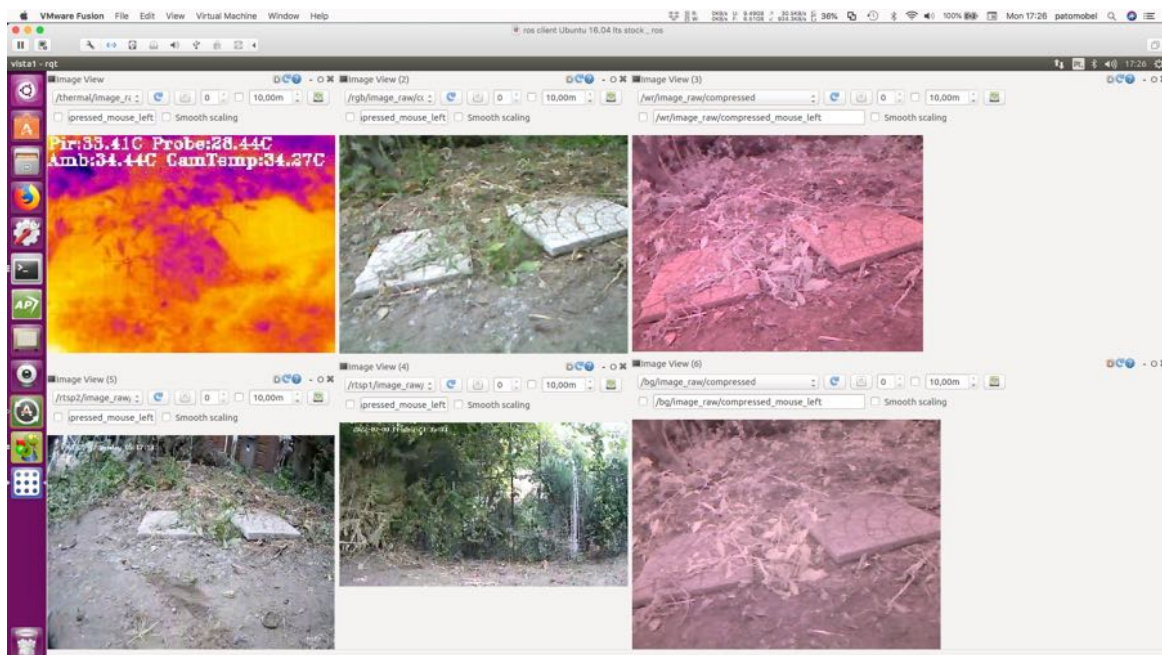


Figura 129. Cenário de campo descampado, com dois blocos de pavimento e alguma vegetação.

De seguida deslocou-se a Plataforma Móvel para a segunda zona de interesse (figura 130). Podemos observar no canto superior esquerdo a latitude da cor existente, desde o roxo ao laranja amarelado, associado ao estado de saúde das plantas. Podemos observar no lado direito, na imagem superior, o resultado do sensor *WR25*. Este tem uma cena observável com duas tonalidades, vermelho e branco. Quanto mais branco estiver o objeto observado, maior é a quantidade de luz infravermelha refletida. Se o registo do objeto observado se aproximar do vermelho, menor é a quantidade de luz infravermelha refletida. No canto inferior direito observamos o resultado do sensor *BG3*. Este tem um ligeiro tom de azul e maioritariamente um gradiente de preto para branco. É possível com este sensor distinguir a diferença de tonalidade entre uma planta e um fruto caído no chão. Na imagem do meio na linha superior, correspondente ao sensor *RGB*, o registo da imagem anterior é contrária. Observamos uma planta com uma tonalidade verde escuro e um fruto com uma tonalidade branca, sobre-expondo a imagem capturada pelo sensor.



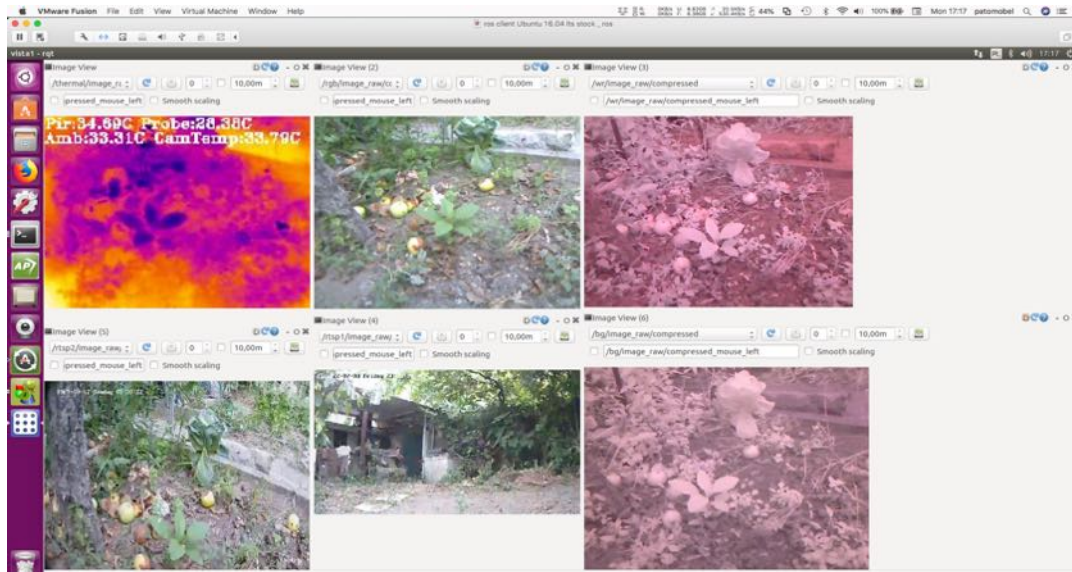


Figura 130. Cenário de campo descampado, com registo de temperatura sensor *Purethermal* (superior esquerdo), *WR25* (superior direito), *BG3* (inferior direito) e *RGB* (meio).

Na Figura 131, observa-se um conjunto de fotos da plantação efetuada de acordo com o planeamento definido no capítulo “Planeamento da plantação e das trajetórias da Plataforma Móvel”.

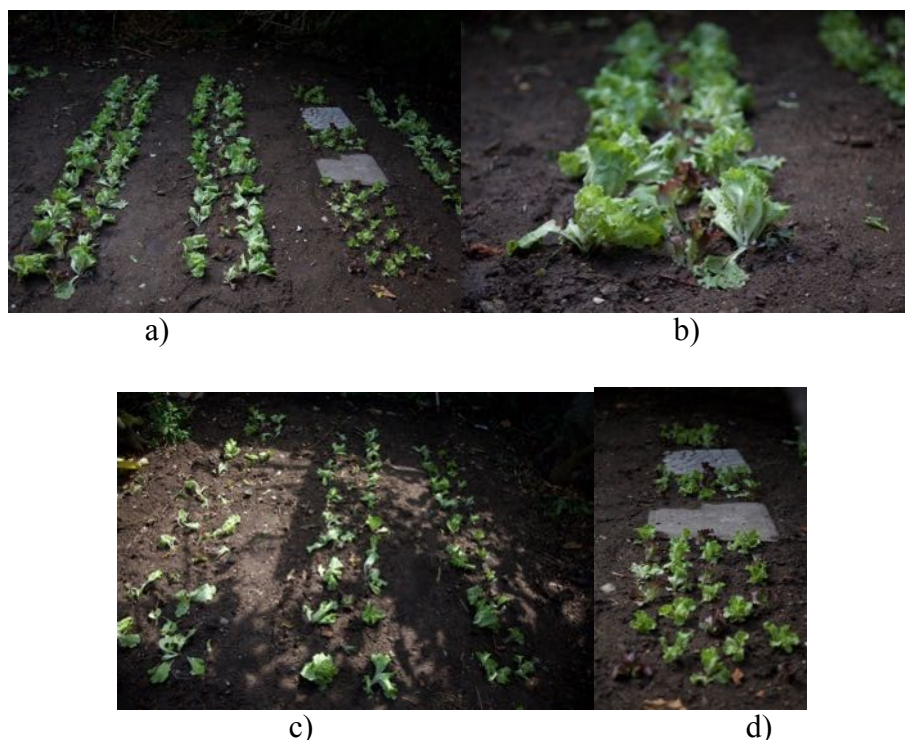


Figura 131. Campo real com plantação (alface) e trilhos, que obedecem a planeamento prévio de plantação e trajetória de Plataforma Móvel. a) Visão completa de campo a ser analisado; b) Mistura de alfaces verdes e roxas para avaliação de sensores modificados; c) Plantação com ruído extra; d) Plantação com plantas intercaladas de lajes.

Na figura 132, observam-se fotos da plataforma a efetuar a análise dos percursos planeados.



a)



b)



c)

Figura 132. Plataforma Móvel a efetuar a análise em tempo real das trajetórias planeadas. a) Plataforma a efetuar o percurso planeado de folhas intercaladas com lajes; b) Adição de fruto fresco; c) Trajetória com introdução de ruído.

Na figura 133, conseguimos visualizar, na imagem superior central, dois tipos de plantas, verdes (alface verde) e roxas (alface roxa). Nos sensores *WR25* e *BG3* (canto superior direito e canto inferior direito), verificamos que estes não apresentam a gama de cor observada no sensor *RGB* (imagem superior meio). Os sensores apresentam um gradiente de cor entre o preto e branco, sendo que o sensor *WR25* apresenta ainda uma coloração de vermelho/rosa. No



sensor *PureThermal* (canto superior esquerdo) observamos uma distribuição uniforme da cor roxa representado esta a temperatura do solo, com pontos de roxo claro correspondendo estes às folhas das plantas saudáveis.

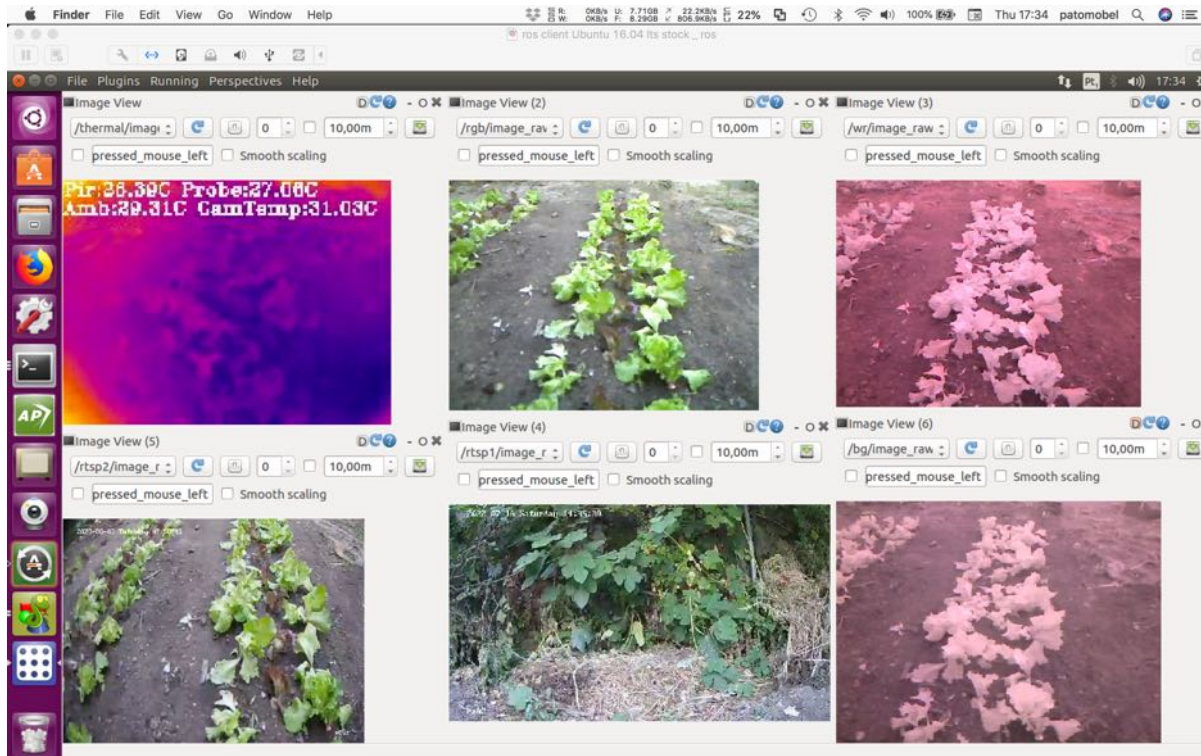


Figura 133. Descriminação de alface verde e alface roxa, com sensores *WR25* e *BG3* (canto superior direito e canto inferior direito, respetivamente), sensor *RGB* (imagem do meio, linha superior) e sensor *PureThermal* (canto superior esquerdo)

Na figura 134 foi introduzido um bloco de cimento, como elemento externo e de ruído em relação ao cenário de plantação. Este elemento é identificável, na imagem do sensor *PureThermal* (canto superior esquerdo), pela sua cor amarelo laranja e nas restantes imagens do sensor do Grupo Ótico através da diferença de luminosidade entre as plantas e o bloco.

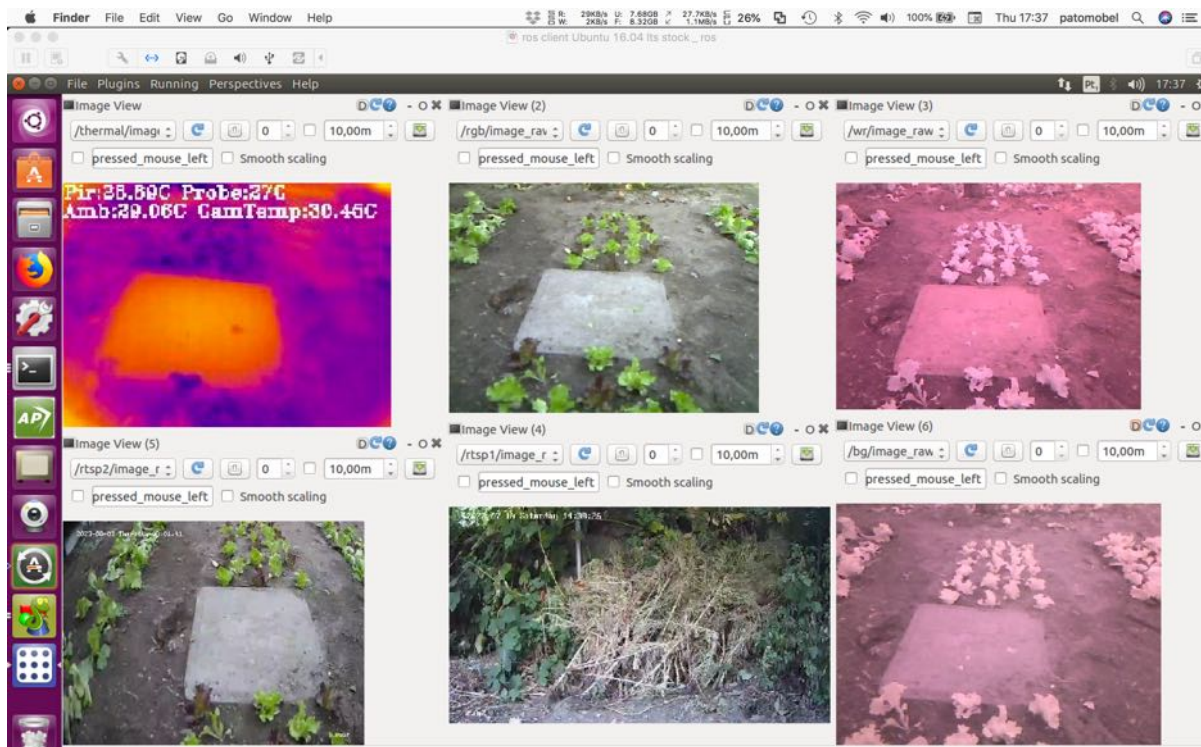


Figura 134. Identificação de elemento externo, bloco de cimento, no meio da plantação, identificável na imagem do sensor *PureThermal* (canto superior esquerdo).

Na figura 135 foi introduzido um fruto em estado considerado saudável. A introdução deste elemento serve para validação da utilização de múltiplos sensores. Como se pode observar, a cor deste fruto é próxima da cor das plantas (verde), aparece inclusive nos sensores *WR25* e *BG3* com uma tonalidade próxima das plantas, indicando assim que um fruto saudável reflete, em proporções idênticas, o mesmo espectro de frequências correspondente às plantas em estado saudável. Observa-se igualmente que, devido ao fruto já não se encontrar em processo de evapotranspiração, a sua temperatura aproxima-se à temperatura ambiente.

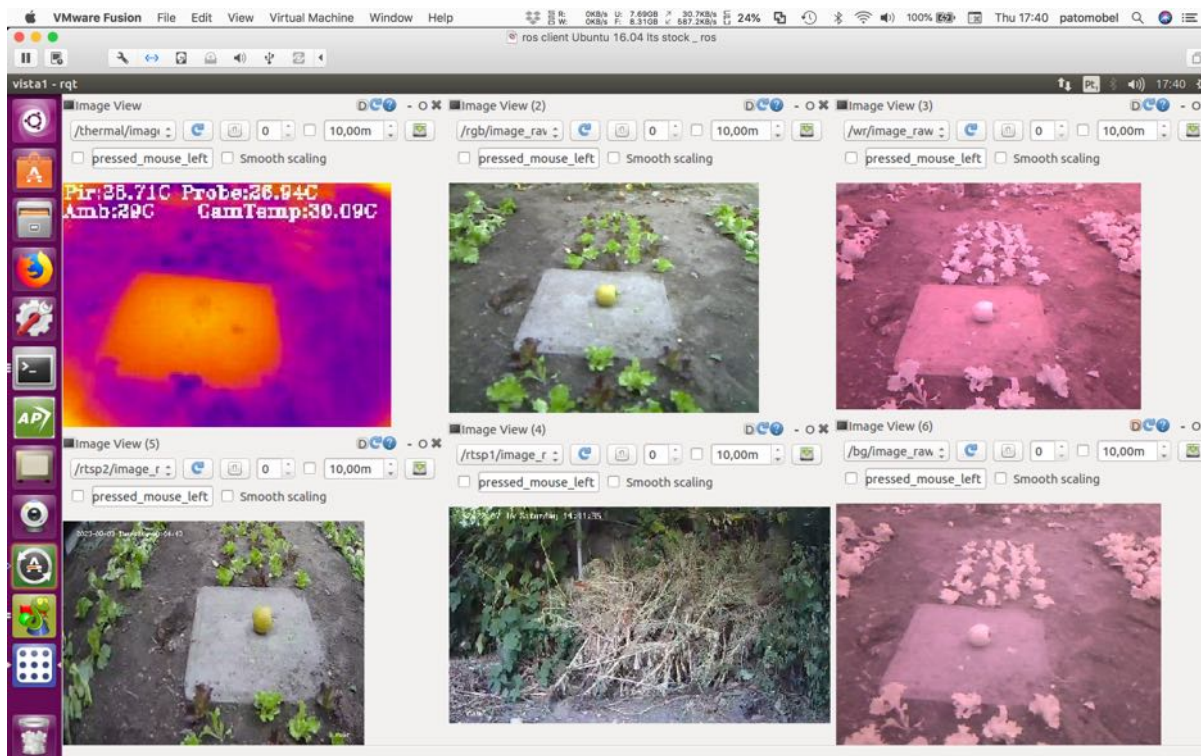


Figura 135. Adição do elemento vegetal fruto, em bom estado de conservação (tonalidade equivalente às plantas, nos sensores *WR25* e *BG3*).

Na figura 136 introduziu-se um tabuleiro com um conjunto de plantas saudáveis (tabuleiro fornecido pelo produtor de Alfaces). Consegue-se observar em todas as imagens do Sensor Grupo Ótico a diferença de tonalidade em relação ao cenário envolvente. Se observarmos o sensor *RGB* (centro superior), relativamente à cor das plantas, visualizamos uma cor maioritariamente verde e algumas a roxo. A diferença entre as plantas no tabuleiro e as plantadas no terreno é observável nos sensores *WR25* e *BG3*, sendo que estas apresentam um nível de tonalidade branco superior. Note-se que nestes dois sensores não é observável a diferença de cor (verde/roxo) existente no sensor *RGB*.



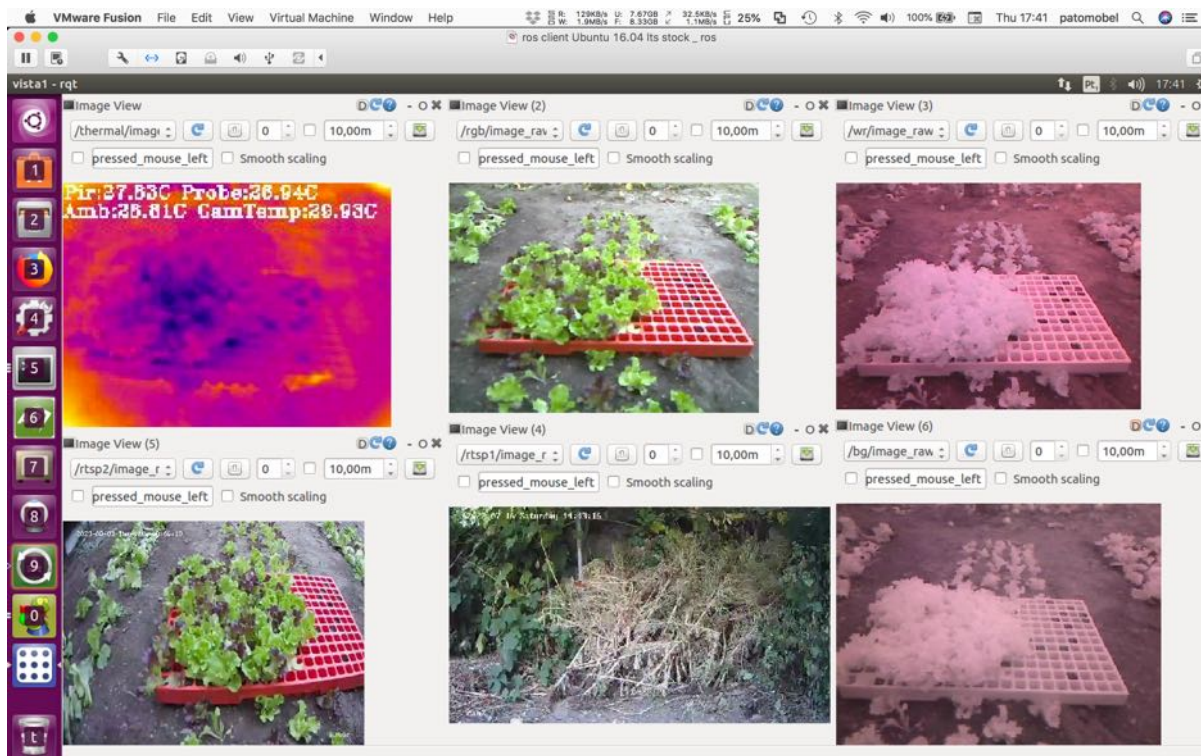


Figura 136. Diferenciação entre plantas no tabuleiro e plantadas no terreno, com nível de tonalidade branco superior (sensores *WR25* e *BG3*, canto superior e inferior direito).

Por último, na figura 137, observamos a introdução de ruído aleatório na zona de plantação. A diferença entre plantas saudáveis e plantas em decomposição é um gradiente de luminosidade observado nos sensores *WR25* e *BG3*. Correspondendo o tom claro a uma planta/folha saudável e o tom escuro a uma planta/folha em decomposição. Facilmente se consegue reconhecer as folhas adicionadas através da análise da câmara térmica, devido ao diferencial de temperatura.

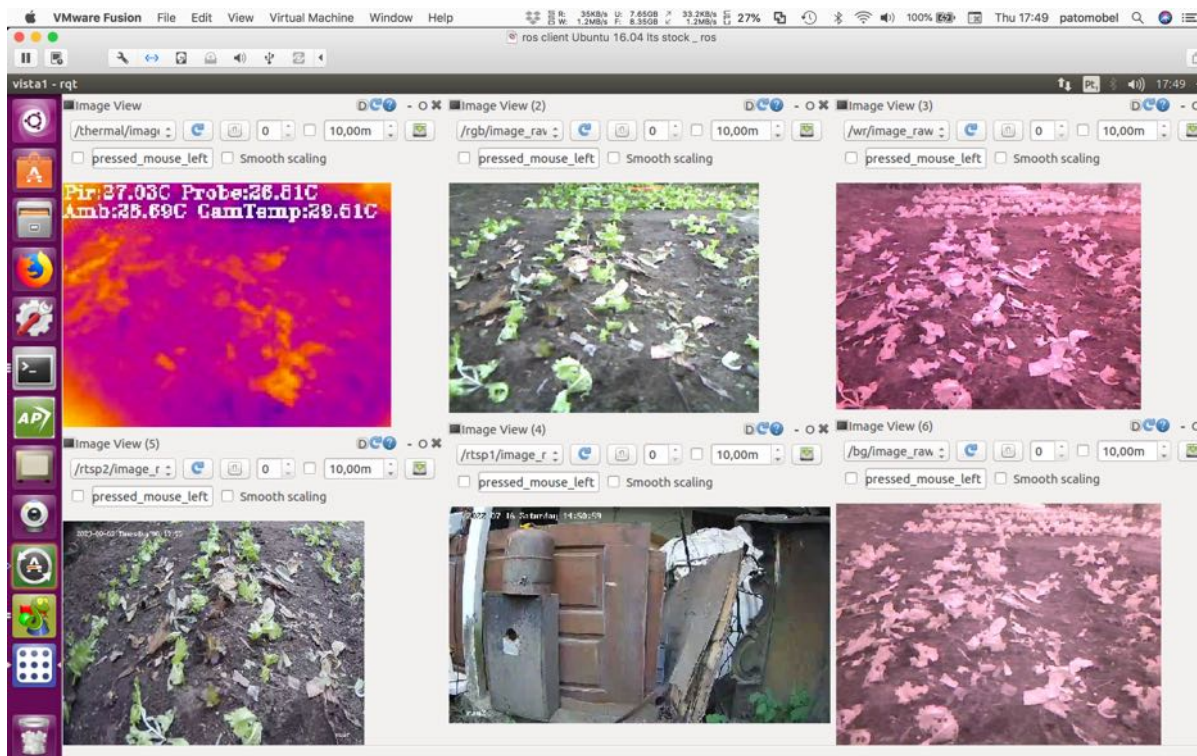


Figura 137. Introdução de ruído aleatório na zona de plantação, plantas em decomposição, identificáveis na câmara térmica (canto superior esquerdo).

### 6.3 Especificações finais da Plataforma Móvel

Da análise de todos os resultados é possível concluir que o Grupo Ótico fornece extensos dados de imagem, passíveis de serem utilizados de forma individual ou em conjunto. A integração e análise da informação proveniente de vários sensores, será fundamental para que a aplicação de algoritmos de inteligência artificial de pós-processamento da imagem possa identificar, de forma automatizada, os vários elementos existentes nos cenários de Agricultura de Precisão.

Os resultados apresentados pela interface gráfica permitem uma análise imediata das condições do estado dos objetos e elementos vegetais observados. Assim sendo cumpre-se o objetivo de, numa primeira etapa, fornecer informações para avaliação instantânea pelo utilizador.

Registou-se, em vídeo, o movimento da Plataforma Móvel em vários tipos de cenário. Um terreno sinuoso e outro em cenário de plantação em campo real com percurso pré-planeado e automatizado. Validando assim a escolha de um sistema de condução diferencial. A adição de sistema de controlo e telemetria à Plataforma Móvel, permitiu a correção e ajuste da trajetória em tempo real como resposta aos diferentes objetos e elementos externos,

potencialmente presentes mesmo em cenários automatizados de Agricultura. Com a finalidade de facilitação do controlo da Plataforma Móvel por utilizador externo, foram desenvolvidos e simplificados *scripts* de arranque de todos os módulos.

Como especificações finais da plataforma obtiveram-se os seguintes parâmetros:

- Velocidade máxima 1.6m/s (6km/h);
- Peso: 29.5Kg;
- Baterias: 22.2V 5Ah Li-po, 14.8V 10Ah Li-po;
- Autonomia: Plataforma Computação 4H; Plataforma Móvel 6H(utilização normal);
- Peso máximo: 100Kg;
- Dimensões: 60cm(l)\*68cm(c)\*60(a);
- Espaço entre pneus: 50cm;
- Altura máxima plantação: 20cm;
- Plataforma Computação: Nvidia Jetson tx1 (Ubuntu 16.04Lts, ROS Kinetic);
- Comunicações: Wifi 2.4Ghz linksys wrt54g dd-wrt ( alcance em linha de vista: 300m ); Frsky Taranis 2.4Ghz ACCST + D8R-XP (alcance em linha de vista: 1.5Km ); 3DR radio 400Mhz ( alcance em linha de vista: 1.6km );
- Grupo Ótico: Purethermal Flir Lepton 3.0 8.8Hz Thermal 160\*120; 3\*Logitech V-UCR45 15Hz 1.3Mp Rgb; Sensor temperatura IR MLX90614ESF-ACF-000-SP-ND, 70°C~380°C 35° ângulo visão;
- Controladores: Apm 2.5c/ NEO-6M GPS; Sabertooth Dual( 6V-24V 12A contínuos, 25A pico );
- Motores: Motion Tech Ec Series 24V 200W 16N.m 118rpm.

## 7. CONCLUSÃO E TRABALHO FUTURO

No decorrer desta dissertação foi criado um protótipo de plataforma móvel, veículo terrestre não tripulado, com suporte e integração de todos os sistemas e sensores e capacidade para utilização em terrenos agrícolas.

Como passos intermédios, foi desenvolvida uma plataforma de captação de imagem multiespectral, configurados diferentes tipos de *software* e desenvolvidas diferentes plataformas computacionais, de forma a unificar todo o processo de aquisição de informação proveniente de diferentes sensores.

Em relação aos sensores e equipamento ótico utilizados na aquisição de imagens, foi possível o recurso a equipamento de baixo custo, mantendo a qualidade e reprodutibilidade dos dados. Contudo, foi igualmente patente a importância da qualidade do equipamento ótico, cuja dificuldade de fabrico, que persiste, implica uma limitação onerosa. Ao nível das plataformas de computação, a *Nvidia Jetson tx1* constituiu uma plataforma com uma excelente capacidade de processamento de imagem, suportando o seu uso em futuros projetos. Ao nível do software, a introdução da ferramenta *ROS* veio facilitar toda a implementação do sistema de comunicações e processamento de imagem. Em relação ao tipo de plataforma móvel que foi desenvolvida, a plataforma terrestre é uma opção viável às plataformas aéreas. Apesar das plataformas aéreas permitirem uma recolha de dados mais ampla e rápida, as mesmas padecem de menor autonomia e restrições de condições de voo (atendendo às leis que vigoram em 2018 relativamente ao uso de *UAV*). Em contrapartida, as plataformas terrestres, apesar de terem uma aquisição de dados menos ampla, providenciam uma recolha de dados mais pormenorizada e com maior autonomia.

Todo o desenho dos componentes foi efetuado de forma a ser facilmente replicado em tecnologia de impressoras *3D* (com uma capacidade de carga de 10Kg). Utilizando o processo de fresagem por *CNC*, com utilização de materiais mais rígidos, incrementa-se assim a capacidade de carga para 100Kg e garante-se a robustez exigida em utilizações no meio agrícola.

O foco desta dissertação foi o desenvolvimento de um protótipo para uso na Indústria da Agricultura, mas, dada a sua implementação faseada e modular, desde a fase inicial de desenho *3D*, fabrico de hardware, integração sensorial e configuração de múltiplas ferramentas software, constitui uma plataforma tecnológica universal com potencial conversão para fins de Indústria de Segurança Civil e Militar.

## 7.1 Trabalho Futuro

Ao longo da execução desta dissertação foram ocorrendo várias ideias passíveis de serem exploradas no futuro.

Uma das opções futuras consiste em melhorar a qualidade das câmaras utilizadas, pois otimizando a sua resolução permitirá melhorar a qualidade dos dados analisados via imagem. Outra opção será a inclusão de outras bandas de visualização ou a utilização de filtros, passa banda, restritos de forma a correr diferentes algoritmos de análise de visão. Relativamente a estes seria interessante explorar bandas específicas de forma a diminuir a carga dos algoritmos computacionais ou procurar identificar, de uma forma mais eficaz, objetos com uma cor característica.

Relativamente à estrutura da plataforma móvel, uma questão interessante seria estudar diferentes tipos de sistemas de locomoção, bem como implementar um sistema de planeamento de rotas com recurso a técnicas de *machine learning*.

Ao nível de sensores, era interessante investigar o acoplamento de alguns sensores adicionais de forma a melhorar a obtenção de dados. A adição de uma *LIDAR* poderia permitir um melhor mapeamento do meio envolvente e navegação espacial. Seria igualmente interessante adicionar um sensor de radar (por exemplo o *Walabot Developer*), de forma a poder diferenciar o tipo de objeto que está a ser observado.

No decurso da presente dissertação e já em fase de investigação e desenvolvimento, foi desenvolvido (figura 138) um equipamento, tipicamente dominado por *gimbal*, que permite a estabilização contínua do equipamento ótico e restantes sensores em três eixos.



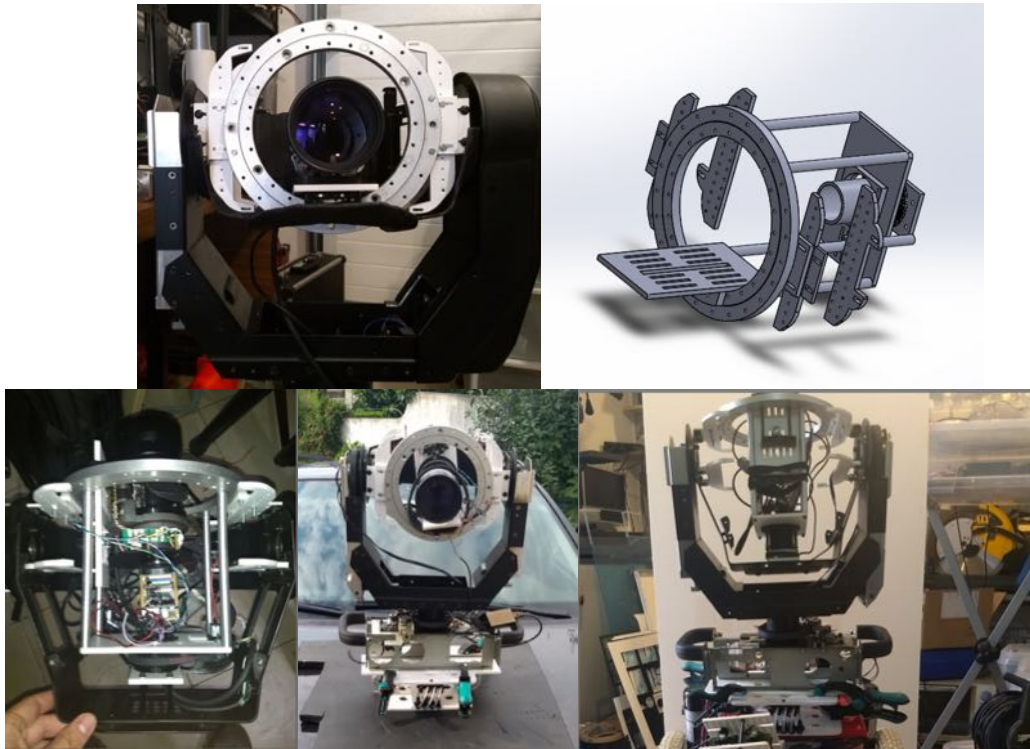


Figura 138. *Gimbal* para estabilização da imagem do Grupo Óptico em fase de desenvolvimento.

Igualmente, em fase de desenvolvimento (figura 139), encontra-se a modificação de um sistema de lentes e câmara, com ajuste do sistema com diferentes parâmetros de ampliação da imagem (distância e foco) como resposta a contextos ambientais mais complexos. Esta análise, em zonas específicas, permitirá a obtenção de dados mais restritos que o sistema de visão utilizado no decurso desta dissertação. Um caso de utilização real para este equipamento consistirá na pesquisa e identificação de pragas.



Figura 139. Modificação de lente de ampliação, acoplada ao Grupo Óptico, com a finalidade de aquisição e focagem em objetos e/ou zonas restritas.

As tecnologias previamente utilizadas na Indústria da Agricultura tais como o uso de imagem obtida por satélite ou por aviões comerciais têm vindo a ser passíveis de serem

utilizadas em *UAVs* e *UGVs*, atendendo à descida progressiva do preço de alguns sensores. Desta evolução resultam vários fatores facilitadores da otimização de recursos naturais, produção de larga escala e/ou controlo de infestações.

Para futuras investigações, fica demonstrada a possibilidade da adaptação de equipamentos existentes no mercado em segunda mão (implementados para outros fins que não agrícolas). Fica também aqui mencionado, nesta conclusão, que a importação de equipamentos com restrições alfandegárias, por estes estarem associados a tecnologias militares (sensor visão térmica, etc...), obriga a alguns passos que não foram descritos nesta dissertação.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] FLIR Systems, “FLIR duo R,” FLIR Systems, 2018. [Online]. Available: <https://www.flir.eu/products/duo-r/>.
- [2] Parrot Drones SAS, “Parrot Sequoia +,” Parrot Drones SAS, 2018. [Online]. Available: <https://www.parrot.com/business-solutions-us/parrot-professional/parrot-sequoia#take-advantage-of-an-entirely-autonomous-sensor>.
- [3] SLANTRANGE, Inc, “Slantrange 3p,” SLANTRANGE, Inc, 2018. [Online]. Available: <http://www.slantrange.com/3p/>.
- [4] “Aerialtronics Pensar,” AERIALTRONICS, 2017. [Online]. Available: <https://www.aerialtronics.com/en/products/pensar#contact>.
- [5] MAPIR CAMERA, “Kernel Cameras,” MAPIR CAMERA, 2018. [Online]. Available: <https://www.mapir.camera/pages/kernel-cameras>.
- [6] Propeller Aerobotics Pty Ltd, “Propeller Aeropoints,” Propeller Aerobotics Pty Ltd, [Online]. Available: <https://www.propelleraero.com/aeropoints/>.
- [7] Naïo Technologies, “Naïo Technologies,” Naïo Technologies, 2016. [Online]. Available: [www.naio-technologies.com](http://www.naio-technologies.com).
- [8] O. Bawden, “AgBot II - the future of farming,” 2 11 2016. [Online]. Available: <https://www.flickr.com/photos/104605572@N02/30654321431>.
- [9] Clearpath Robotics Inc, “Husky UGV,” [Online]. Available: <https://www.clearpathrobotics.com/husky-unmanned-ground-vehicle-robot/>.
- [10] NASA, “The Electromagnetic Spectrum,” Nasa, 14 11 2014. [Online]. Available: <https://imagine.gsfc.nasa.gov/science/toolbox/empectrum1.html>.
- [11] Surrey NanoSystems, “VantaBlack,” Surrey NanoSystems, 2018. [Online]. Available: <https://www.surreynanosystems.com/vantablack>.
- [12] Oxford University Press, “Definition of primary color,” Oxford University Press, 2018. [Online]. Available: [https://en.oxforddictionaries.com/definition/us/primary\\_color](https://en.oxforddictionaries.com/definition/us/primary_color).
- [13] “Primary color,” [Online]. Available: [https://simple.wikipedia.org/wiki/Primary\\_color](https://simple.wikipedia.org/wiki/Primary_color).
- [14] Axis, “Axis,” 2010. [Online]. Available: [https://www.axis.com/files/whitepaper/wp\\_ccd\\_cmos\\_40722\\_en\\_1010\\_lo.pdf](https://www.axis.com/files/whitepaper/wp_ccd_cmos_40722_en_1010_lo.pdf).
- [15] B. Bayer, “Color imaging array”. United States of America Patente US3971065A, 5 3 1975.
- [16] Semiconductor Components Industries, “<https://www.onsemi.com>,” [Online]. Available: <https://www.onsemi.com/pub/Collateral/AR0130CS-D.PDF>.
- [17] Thorlabs, “<https://www.thorlabs.com>,” Thorlabs, [Online]. Available: [https://www.thorlabs.com/newgroupage9.cfm?objectgroup\\_id=4024](https://www.thorlabs.com/newgroupage9.cfm?objectgroup_id=4024).
- [18] K. Bowyer, “Networkwebcams,” 18 9 2012. [Online]. Available: <https://www.networkwebcams.co.uk/blog/2012/09/18/day-night-switching-ir-cut-filters/>.
- [19] T. Adão, J. Hruška, L. Pádua, J. Bessa, E. Peres, R. Morais e J. Sousa, “Hyperspectral Imaging: A Review on UAV-Based Sensors, Data Processing and Applications for Agriculture and Forestry,” *Remote Sensing*, vol. 9, n° 11, p. 1110, 2017.
- [20] M. Gadermayr, “RWTH Aachen,” 2 1 2014. [Online]. Available: <https://www.lfb.rwth-aachen.de/en/research/basic-research/multispectral/>.
- [21] FluxData Inc, “FLuxDAta.com,” FluxData Inc, [Online]. Available: <http://www.fluxdata.com/products/fd-1665-ms3>.
- [22] Optec S.p.A. , “Optec,” Optec S.p.A. , [Online]. Available: [http://www.optec.eu/en/telecamere\\_multicanale/telecamere\\_multicanale.asp](http://www.optec.eu/en/telecamere_multicanale/telecamere_multicanale.asp).
- [23] Harris Geospatial Solutions, “Harris Geospatial Solutions,” harrisgeospatial, [Online]. Available: <https://www.harrisgeospatial.com/Support/SelfHelpTools/HelpArticles/HelpArticles-Detail/TabId/2718/ArtMID/10220/ArticleID/16262/Push-Broom-and-Whisk-Broom-Sensors.aspx>.
- [24] P. Nygrén, “Specim,” [Online]. Available: <http://www.specim.fi/top-10-questions-airborne-hyperspectral-imaging/>.
- [25] Specim, Spectral Imaging Ltd, “Specim Spectral Imaging,” Spectral Imaging Ltd, [Online]. Available: <http://www.specim.fi/hyperspectral-cameras/>.

- [26] J. Hillmann, "Ximea," 23 03 2016. [Online]. Available: <https://www.ximea.com/support/attachments/5981/SpectroNet-2016-03-Ximea-V02.pdf>.
- [27] Oemcameras, "oemcameras," [Online]. Available: [http://opencart.rhp-edge.com/image/data/VUE\\_color\\_palette.jpg](http://opencart.rhp-edge.com/image/data/VUE_color_palette.jpg).
- [28] R. KAŇA, "plant-phenotyping-network," 2013. [Online]. Available: [http://www.plant-phenotyping-network.eu/lw\\_resource/datapool/\\_items/item\\_217/kana\\_thermal\\_imaging.pdf](http://www.plant-phenotyping-network.eu/lw_resource/datapool/_items/item_217/kana_thermal_imaging.pdf).
- [29] Harris Geospatial Solutions, "Vegetation Analysis: Using Vegetation Indices in ENVI," Harris Geospatial Solutions, [Online]. Available: <https://www.harrisgeospatial.com/Learn/Whitepapers/TabId/2359/ArtMID/10212/ArticleID/16162/Vegetation-Analysis-Using-Vegetation-Indices-in-ENVI.aspx>.
- [30] Midwest Optical Systems, "Midopt," Midwest Optical Systems, [Online]. Available: <http://midopt.com/healthy-crop/>.
- [31] cfastie, "New NDVI colormap," 26 07 2014. [Online]. Available: <https://publiclab.org/notes/cfastie/08-26-2014/new-ndvi-colormap>.
- [32] J. Weier e D. Herring, Nasa, 30 7 2000. [Online]. Available: [earthobservatory.nasa.gov](http://earthobservatory.nasa.gov).
- [33] G. Zuba e O. Vergara, "The 2012 U.S. Drought Worsens, Expected to Surpass 1988 Drought in Industry Losses," [Online]. Available: <http://www.air-worldwide.com/Print-Preview/22415/>.
- [34] Color-Hex, "Color-Hex NDVI Color Palette," [Online]. Available: <http://www.color-hex.com/color-palette/19447>.
- [35] 3M, "multimedia.3m.com," [Online]. Available: <https://multimedia.3m.com/mws/media/790820/joint-design-for-structural-adhesives-technical-bulletin.pdf>.
- [36] FLIR, "media.digikey.com," [Online]. Available: <https://media.digikey.com/Photos/FLIR/FLIR-ONE-ANDROID.jpg>.
- [37] AMS, 5 4 2016. [Online]. Available: [https://www.mouser.com/ds/2/588/TSL2580-81\\_DS000417\\_1-00-948092.pdf](https://www.mouser.com/ds/2/588/TSL2580-81_DS000417_1-00-948092.pdf).
- [38] A. Kaehler e G. Bradski, "Learning opencv 3," em *Learning opencv 3*, O'Reilly, 2017, pp. 652-653.
- [39] RS Components Ltd, "uk.rs-online," [Online]. Available: <https://uk.rs-online.com/web/p/visible-leds/1263153/>.
- [40] J. Leid, "Blue Light: What are the risks to our eyes?," 10 2016. [Online]. Available: <http://www.pointsdevue.com/article/blue-light-what-are-risks-our-eyes>.
- [41] World Semi, "World-semi," [Online]. Available: [http://www.mateksys.com/Downloads/WS2812B\\_en.pdf](http://www.mateksys.com/Downloads/WS2812B_en.pdf).
- [42] T. Campbell e N. Chonacky, "https://digitalcommons.unl.edu," 1975. [Online]. Available: Thermal Regulation of the Human Body.
- [43] "Temperatures in and on the human body," [Online]. Available: [http://www.healthyheating.com/Definitions/facts\\_about\\_skin#.W3cPbC3MzOR](http://www.healthyheating.com/Definitions/facts_about_skin#.W3cPbC3MzOR).
- [44] R. A. Light, "Mosquitto: server and client implementation of the MQTT protocol," 17 05 2017. [Online]. Available: <http://joss.theoj.org/papers/10.21105/joss.00265>.
- [45] Hivemq, "MQTT Essentials Part 5: MQTT Topics & Best Practices," Hivemq, [Online]. Available: <https://www.hivemq.com/blog/mqtt-essentials-part-5-mqtt-topics-best-practices>.
- [46] ROS, "Ros.org," ROS, [Online]. Available: <http://wiki.ros.org/ROS/Introduction>.
- [47] G. Y. Qiu e M. Zhao, "Remotely monitoring evaporation rate and soil water status using thermal imaging and "three-temperatures model (3T Model)" under field-scale conditions," *Journal of Environmental Monitoring*, 2010.
- [48] cFastie, "Red Filter Rising," 12 11 2013. [Online]. Available: <https://publiclab.org/notes/cfastie/11-12-2013/red-filter-rising>.