



Universidade do Minho

Escola de Engenharia

Emanuel Júnior Faria Ferreira

Virtual ROI – Simulador de visão

Dissertação de Mestrado

Ciclo de Estudos Integrados Conducentes ao Grau de
Mestre em Engenharia Eletrónica Industrial e Computadores

Trabalho efetuado sob a orientação de
Professora Doutora Filomena Soares
Eurico Damasio

julho de 2018

Agradecimentos

O alcançar desta etapa não teria sido possível sem a colaboração, auxílio, carinho e dedicação por parte de várias pessoas ao longo de todo o percurso da minha vida e formação.

Por esta mesma razão, não quero deixar passar esta oportunidade para agradecer a todos aqueles que, direta ou indiretamente, contribuíram para o meu sucesso e a minha chegada até este momento.

À minha mãe, Filomena Faria, e ao meu pai, Manuel Antunes, pela dedicação, educação, sacrifício e apoio incondicional. Obrigado por tudo o que sou.

A minha orientadora, Filomena Soares, pelo apoio ao longo do meu percurso académico e na concretização desta dissertação.

Ao meu orientador, Eurico Damásio, por me integrar como estagiário na sua equipa e pelo profissionalismo e interesse demonstrado durante a realização desta dissertação.

Aos meus amigos Tiago Pinto, Sandra Sousa, Teresa Conde, Rita Lopes, João Marcelo, Ana Pedregal e Cátia Silva pelo apoio, conversas, paciência, discussões e momentos ao longo destes anos, na duração deste curso e em especial durante a elaboração desta dissertação.

À minha afilhada e padrinhos que também sempre estiveram lá quando precisava.

Por último, agradeço a todos os meus familiares e amigos que me apoiam e acreditaram sempre nas minhas capacidades. Por serem as pessoas fantásticas que são, o meu MUITO OBRIGADO!



Resumo

Esta dissertação tem como principal objetivo a criação de um *software* de simulação que permita gerar imagens 2D com base em cenários 3D obtidos do *software Autodesk Inventor*. As imagens devem corresponder às obtidas através de uma câmara real, instalada numa linha de produção real. Para chegar à imagem simulada (com resolução e qualidade apropriadas), o utilizador deve optar pela escolha da posição, modelo e lente da câmara.

Após uma revisão bibliográfica e estudo de ótica procedeu-se a testes práticos com câmaras e lentes da marca *Cognex* para aferir a distância focal, círculo de confusão, campo de profundidade, abertura do diafragma, ângulo e campo de visão, lentes, filtros e outros. Para a realização dos testes práticos foram avaliadas quatro configurações experimentais que diferiam na posição da câmara (horizontal/vertical), na forma de mover a câmara (precisa para permitir repetições) e na iluminação. Em cada configuração foram testadas diferentes variáveis, como por exemplo, luz, rotação entre a grelha de controlo, entre outras, de forma a verificar a que oferecia maior estabilidade, repetibilidade e fiabilidade. A configuração Instalação horizontal fixa e iluminada foi a selecionada uma vez que era a que oferecia maior estabilidade, precisão, exatidão.

Com mais de 2000 testes realizados (cerca de 530 práticos recorrendo a uma *Cognex In-Sight* e os restantes no *Autodesk Inventor*) foi possível comprovar a teoria e ainda deduzir formas de controlar a direção e rotação de uma vista 2D num espaço 3D recorrendo a vários métodos. Os testes práticos permitiram concluir que as fórmulas utilizadas no *Virtual ROI* dão origem a medidas (das fotografias) com baixo índice de erro, se comparadas com as reais. Permitiu ainda definir o valor do círculo de confusão necessário para calcular o campo de profundidade, com base na qualidade das fotografias obtidas.

Concluiu-se ainda que a utilização de filtros melhora a qualidade e contraste das cores, o que torna mais fácil para um *software* de visão por computador distinguir os componentes numa imagem. Ainda foi possível comparar uma fotografia real de um produto e simular a mesma imagem no *Virtual ROI* com uma precisão de 4,5% em termos de campo de visão.

Palavras-chave: Ótica, *Region of Interest*, *Inventor Application Programming Interface*, câmara, *Model View Controller*, Visão por Computador.



Índice

Agradecimentos.....	i
Resumo	ii
Lista de Figuras	vii
Lista de tabelas	xii
Lista de acrónimos	xiii
Nomenclatura	xiv
1 Introdução	1
1.1 Enquadramento	1
1.2 Motivação	1
1.3 Estado da arte	2
1.4 Objetivos	6
1.5 Organização do documento.....	7
2 Fundamentos teóricos.....	9
2.1 Sensores	9
2.2 Distância focal.....	10
2.3 Círculo de Confusão	12
2.4 Profundidade de Campo	15
2.5 Diafragma e abertura.....	18
2.6 Ângulo de visão e campo de visão.....	21
2.7 Lentes - Suportes e as distâncias DFS e DFI	22
2.7.1 DFI.....	23
2.7.2 DFS.....	23
2.7.3 Relação entre DFI e DFS.....	24



2.8	Espaçadores	25
2.9	Filtros	26
2.10	Relação entre as variáveis.....	28
2.11	<i>Software</i> utilizado para obter e analisar imagens	30
2.12	A arquitetura MVC	31
2.12.1	Modelos	32
2.12.2	Vistas.....	33
2.12.3	Controlador.....	33
2.12.4	Editores	34
2.13	Ficheiros XML.....	34
2.14	<i>Autodesk Inventor</i>	37
3	<i>Virtual ROI</i> – a aplicação e funcionamento	39
3.1	Câmaras Cognex.....	41
3.2	Posição das câmaras	42
3.3	Ligação entre o <i>Virtual ROI</i> e o <i>Autodesk Inventor</i>	43
3.4	Abrir ficheiros.....	44
3.5	Guardar a imagem obtida	46
3.6	<i>Property Grid C#</i>	47
3.6.1	Opções	49
3.6.2	Parâmetros	50
3.7	Medição à distância <i>d0</i>	51
3.8	Enviar dados por E-mail	52
3.9	Movimentar as câmaras e possíveis soluções	53
3.9.1	Breve explicação dos componentes da API do <i>Autodesk Inventor</i>	53



3.9.2	Rotação da imagem com duas coordenadas.....	55
3.9.3	Rotação da imagem com solução esférica	61
3.9.4	Girar câmara sem mover <i>target</i>	63
3.9.5	O desejado.....	64
3.9.6	Solução de mover apenas o <i>Eye</i>	64
3.9.7	Solução de mover o <i>Eye</i> e reverter o <i>Target</i> à posição desejada	65
3.9.8	Solução da circunferência.....	66
4	Metodologias e configurações experimentais	71
4.1	Obter distâncias do campo de profundidade e distância <i>d0</i>	71
4.2	Instalação horizontal separada.....	72
4.3	Instalação vertical	73
4.4	Instalação vertical iluminada	74
4.5	Instalação horizontal fixa e iluminada	75
5	Resultados e discussão	77
5.1	Círculo de Confusão	77
5.2	Filtros	79
5.3	Profundidade de campo	83
5.4	Cálculos <i>Virtual ROI</i> e testes reais	85
5.5	Qualidade com base na inspeção visual	88
5.6	Comparação de fotografia real com simulação do <i>Virtual ROI</i>	92
6	Conclusões e perspectivas futuras.....	96
	Referências	100
	Anexos	106
	Anexo A – Fotografias obtidas dos testes práticos.....	106



Universidade do Minho
Escola de Engenharia



BOSCH

Anexo B – Lista de câmaras disponíveis no *Virtual ROI*..... 114



Lista de Figuras

Figura 1 Menu Configuração do DOF simulator (Bemowski, 2014).....	3
Figura 2 Menu Aparência do DOF simulator (Bemowski, 2014).....	3
Figura 3 Menu Câmara do DOF simulator (Bemowski, 2014).....	3
Figura 4 Menu Lentes do DOF simulator (Bemowski, 2014).....	4
Figura 5 Menu Distância do DOF simulator (Bemowski, 2014).....	4
Figura 6 Menu Enquadramento do DOF simulator (Bemowski, 2014).....	4
Figura 7 Menu Guardar Configurações do DOF simulator (Bemowski, 2014).....	5
Figura 8 Menu Campo de Visão do DOF simulator (Bemowski, 2014).....	5
Figura 9 Menu Simulação do DOF simulator (Bemowski).....	6
Figura 10 Tamanhos standard de alguns sensores existentes (Vision Doctor, s.d.)	10
Figura 11 Refração da luz em água (esquerda – (Bisquolo, 2006)) e numa lente (direita)	11
Figura 12 Efeito das lentes divergentes (esquerda) e convergentes (direita) em raios de luz (Câmera Neon, 2013)	12
Figura 13 Funcionamento da luz numa câmara (baixo – (Wallbase, s.d.)) e imagem correspondente na realidade (cima – gerado com recurso a (Ray Optics Simulation, 2018))	13
Figura 14 Campo de profundidade e distância d0 (em inglês Best focus point) (Introduction to Depth of Field in Modern Photography, s.d.)	16
Figura 15 Lente com uma grande abertura (esquerda) e outra com menor abertura (direita) (Santacreu, s.d.)	18



Figura 16 Comparação do campo de profundidade numa fotografia tirada com grande abertura (esquerda) e noutra com menor abertura (direita) (Nave, s.d.).....	19
Figura 17 Efeito da abertura no campo de profundidade e na luz a que o sensor é exposto (gerado com recurso a (Ray Optics Simulation, 2018))	20
Figura 18 Ângulo de visão fixo e informação capturada tendo em conta a distância.....	21
Figura 19 DFI (esquerda) e DFS (direita) representadas numa lente e câmara fotografica respetivamente (What is the Flange Focal Distance and How to Find More Lenses for Your Camera, s.d.)	24
Figura 20 Funcionamento básico de um espaçador	25
Figura 21 Luz branca a ser refratada por um prisma (esquerda – (Focus Escola de Fotografia, 17)) e por uma lente simples (direita)	27
Figura 22 Dois pares de fotografias dos mesmos objetos, as da direita apresentam aberrações cromáticas ((Motomas, 2016) e (Zack, s.d.)).....	28
Figura 23 Funcionamento base de uma lente delgada para projeção da imagem de um objeto no sensor	29
Figura 24 Interface gráfica do software In-Sight Explorer 4.9.1 da Cognex Corporation	31
Figura 25 Visualização do código XML utilizando o explorador Mozilla Firefox	37
Figura 26 Diagrama de blocos do fluxo de informação do Virtual ROI	40
Figura 27 Comparação dos explorador das câmaras no Inventor Studio (esquerda) em relação à lista apresentada no Virtual ROI (direita).....	43



Figura 28 Abrir ficheiro ".iam" diretamente com o Virtual ROI	44
Figura 29 Mensagem de erro apresentada ao utilizador quando o Virtual ROI tenta abrir um ficheiro que não é do tipo ".iam"	45
Figura 30 Menu inicial para utilizador escolher que ficheiro abrir	45
Figura 31 Abrir novo ficheiro através do menu "File"	46
Figura 32 Menu apresentado para guardar uma vista (esquerda) e respetivo ficheiro criado com apenas a câmara selecionada (direita)	47
Figura 33 Propriedades utilizadas no Virtual ROI para controlar o menu de propriedades da aplicação e sua descrição	49
Figura 34 Menu com as opções de controlo	50
Figura 35 Menu para escolha do modelo da câmara (esquerda) e respetivas opções e informações que ficam visíveis quando escolhido um modelo (direita)	50
Figura 36 Propriedades de leitura que transmitem informação ao utilizador	51
Figura 37 Medições efetuadas a um componente que podem ser utilizadas por sistemas de para validar os tamanhos das caraterísticas	52
Figura 38 E-mail padrão criado pelo Virtual ROI com a vista em anexo e as informações no conteúdo	53
Figura 39 Pontos Eye e Target e ainda o vetor unitário UpVector representados numa situação em que o utilizador utiliza um computador	54
Figura 40 Testes de modificação do vetor UpVector para rodar a vista apresentada	56
Figura 41 Representação da vista da câmara (esquerda) e a amarelo o local e campo de visão da câmara utilizada (direita)	57



Figura 42 Rotação de uma bancada alterando o valor da coordenada X do vetor unitário UpVector de -1 para +1	60
Figura 43 Vista com dois eixos equidistantes e um outro mais afastado.....	61
Figura 44 Diferentes fases para calcular os novos valor do vetor UpVector, consoante o ângulo que o utilizador deseja girar.....	62
Figura 45 Mover o ponto Eye de forma a colocar a câmara noutra posição, mas sempre a apontar para o ponto Target	64
Figura 46 Exemplo de mover apenas o ponto Eye que leva ao deslocamento do ponto Target.....	65
Figura 47 Exemplo de mover o ponto Eye e posteriormente voltar a colocar os valores iniciais no ponto Target	66
Figura 48 Exemplo de mover o ponto Eye ao longo da superfície de uma esfera com centro no ponto Target	67
Figura 49 Sistema esférico (ρ, φ, θ) em relação ao sistema cartesiano (x, y, z) (Spherical Coordinates (Latitude, Longitude) - Sistema de coordenadas, 2008)	68
Figura 50 Parte das grelhas utilizadas na medição do campo de visão das câmaras.....	72
Figura 51 Instalação vertical utilizada para primeiros testes.....	74
Figura 52 Instalação vertical iluminada (instalação vertical com a adição de luz).....	75
Figura 53 Instalação horizontal fixa e iluminada com controlo de luz e distância mais fiável	76
Figura 54 Distâncias D_n e D_f obtidas no Virtual ROI	78
Figura 55 Comparação de duas partes de fotografias da mesma série de testes, com dois círculos de confusão diferentes	79
Figura 56 Variação do valor de Focus Metric em função da distância entre o objeto e a lente (para cada filtro utilizado)	80



Figura 57 Quatro fotografias tiradas da mesma posição e com os mesmos parâmetros a uma grelha colorida em que apenas se altera o filtro de cor utilizado.....	82
Figura 58 Fotografias com a única diferença na utilização de uma grelha de controlo a preto e branco (esquerda) contra uma colorida (direita), em cima encontra-se a comparação gráfica dos dois testes.....	83
Figura 59 Comparação dos pixéis de duas fotografias que correspondem às linhas que possuem um Focus Metric de 35 e 36,7 e a uma distância de 226 e 241,5 respetivamente da Tabela 6	88
Figura 60 Comparação de imagens submetidas a análise profissional	89
Figura 61 Diferenças de contraste utilizando um filtro verde na lente.....	92
Figura 62 Comparação de fotografia da bancada real (esquerda) com imagem do modelo 3D no Autodesk Inventor (direita)	93
Figura 63 Comparação de fotografia do produto real (esquerda) com a imagem gerada pelo Virtual ROI (direita), utilizando os mesmos parâmetros.....	94
Figura 64 Comparação das medições feitas ao produto desenhado no Inventor (esquerda) e obtido no Virtual ROI (direita).....	94



Lista de tabelas

Tabela 1 Comparação das distâncias limite do campo de profundidade com a distância d_0 (todos os valores foram obtidos utilizando uma lente de 80 mm e as unidades encontram-se em pés) (Hull, 2015)	17
Tabela 2 Representação standard das aberturas de lente (Arbabi, 2011)	18
Tabela 3 Comprimento de onda e frequência das cores do espectro visível (Kilhian, 2010)	27
Tabela 4 Distâncias dos pontos d_0 , D_n e D_f para cada caso (D_n e D_f com 25 Focus Metric)	84
Tabela 5 Percentagens que ocupa cada campo entre D_n e d_0 e comparação com a ocupação dos campos entre d_0 e D_f	84
Tabela 6 Erro entre os valores do FOV teórico calculado e os obtidos nos testes práticos com a grelha de controlo a preto e branco	86
Tabela 7 Erro entre os valores do FOV teórico calculado e os obtidos nos testes práticos com a grelha de controlo colorida.....	87
Tabela 8 Qualidade das imagens com base na opinião de profissionais que trabalham com processamento de imagem.....	90
Tabela 9 Circulo de confusão das fotografias com base na sua qualidade Focus Metric.....	90



Lista de acrónimos

Acrónimo	Significado
API	<i>Application programming interface</i>
CCD	<i>Charge-Coupled Device</i>
CMOS	<i>Complimentary Metal Oxide Semiconductor</i>
DFI	Distância entre a Flange e a Imagem
DFS	Distância entre Flange e o Sensor da câmara
FOV	<i>Field Of View</i>
GUI	<i>Graphical User Interface</i>
ISO	<i>International Organization of Standardization</i>
MVC	<i>Model View Controller</i>
ROI	<i>Region Of Interest</i>
XML	<i>eXtensible Markup Language</i>



Nomenclatura

Símbolo	Significado	Unidades
<i>c</i>	Círculo de confusão que corresponde ao tamanho do círculo que se forma no sensor, círculos mais pequenos correspondem a imagens mais focadas	mm
<i>d0</i>	Distância desde o plano <i>H</i> até ao objeto a ser fotografado (que se encontra no plano mais focado), quando o plano <i>H</i> é desprezado considera-se a distância desde a lente da câmara até ao objeto a ser fotografado (que se encontra no plano mais focado)	mm
<i>d1</i>	Distância entre a lente e a câmara que não permite capturar por completo um objeto	mm
<i>d2</i>	Distância entre a lente e a câmara que permite capturar por completo um objeto	mm
<i>Df</i>	Ponto mais distante do objeto (em relação à lente) que se apresenta focado visto a olho nu e numa fotografia sem ampliação	mm
<i>di</i>	Distância desde o plano <i>H'</i> até ao sensor da câmara, quando o plano <i>H'</i> é desprezado considera-se a distância desde a lente da câmara até ao sensor da câmara	mm
<i>Dn</i>	Ponto mais próximo do objeto (em relação à lente) que se apresenta focado para o olho nu e numa fotografia sem ampliação	mm
<i>Eye</i>	Local onde a câmara se encontra, é de onde a vista é projetada	



<i>Extent</i>	Altura ou largura capturadas no plano perpendicular ao vetor entre <i>Eye</i> e <i>Target</i> , com o ponto <i>Target</i> no centro deste	
<i>f</i>	Distância focal da lente, que corresponde à distância que uma lente delgada necessita para focar corretamente uma imagem num sensor, é imposto pela lente utilizada (pode só admitir uma distância focal ou pode permitir altera-lo, indicando qual o valor que está a ser usado no corpo da lente;	mm
<i>H</i>	Plano imaginário de interceção entre a luz que entra numa lente pelo lado do objeto a ser fotografado e a luz que sai para o sensor de uma câmara	
<i>H'</i>	Plano imaginário de interceção entre a luz que entra numa lente pelo lado do sensor da câmara e a luz que sai em direção ao objeto a ser fotografado	
<i>N</i>	Abertura do diafragma da câmara, quanto maior o seu valor, mais fechado se encontra o diafragma da câmara	
<i>Object_{Height}</i>	Altura ou largura do objeto a fotografar, corresponde ao campo de visão (FOV)	mm
<i>Sensor_{Height}</i>	Valor único que corresponde ou à altura ou à largura do sensor da câmara	mm
<i>Target</i>	Ponto para onde a câmara está a apontar, sendo este o ponto que se encontra no centro do ecrã	
<i>UpVector</i>	Vetor unitário que guarda a rotação da vista apresentada ao utilizador	



BOSCH

Universidade do Minho
Escola de Engenharia

$Vector_{EyeTarget}$ Vetor formado entre os pontos *Eye* e *Target* e com a direção de *Eye* para *Target*

x, y, z	Coordenadas cartesianas do ponto à superfície de uma esfera (igual a ponto $X_{Eye}, Y_{Eye}, Z_{Eye}$ Eye se for considerado o ponto Target como centro da esfera)	mm
X', Y', Z'	Coordenadas cartesianas do vetor $Vector_{EyeTarget}$	mm
$X_{Eye}, Y_{Eye}, Z_{Eye}$	Coordenadas cartesianas do ponto <i>Eye</i>	mm
$X_{Target}, Y_{Target}, Z_{Target}$	Coordenadas cartesianas do ponto <i>Target</i>	mm
ρ	Rô – letra grega que corresponde ao raio de uma esfera	mm
ϕ	Fi – letra grega que corresponde ao ângulo formado no eixo Z de uma esfera	Graus
θ	Teta – letra grega que corresponde ao ângulo formado no eixo X de uma esfera	Graus



1 Introdução

1.1 Enquadramento

Desde a revolução industrial que a indústria tem vindo a melhorar e aumentar o seu rendimento nas diversas áreas. As fábricas não são exceção, e, nos dias de hoje é necessário garantir qualidade, rapidez e muitas vezes quantidade no que está a ser produzido. Para que isso possa acontecer, é comum assistir à substituição de certas etapas dos processos de fabrico e verificação por sistemas automáticos e mecânicos, de forma a economizar recursos e evitar erros devido a cansaço/fadiga humano.

Assim, nas novas linhas de produção automatizadas recorre-se a sistemas de visão que visam aumentar a velocidade do processo, validando várias etapas ao longo dos processos realizados.

Num sistema de visão de uma linha de produção existe o *hardware* do sistema (envolve todos os componentes como câmara, lentes, cabos e módulos de processamentos) e o *software* (envolve todo o processamento das imagens recolhidas e validação dos resultados). As imagens recolhidas para verificação devem possuir qualidade suficiente para que todos os componentes sejam corretamente identificados (incluindo as suas posições no objeto) e ao mesmo tempo ter a qualidade necessária para que seja possível reduzir o tempo de processamento.

1.2 Motivação

Para se instalar um sistema de visão adequado aos objetivos da linha é necessária uma correta seleção dos componentes.

Antes de uma nova linha ser instalada fisicamente, por norma são utilizados programas para simular o dimensionamento, funcionamento e posicionamento dos componentes, sensores e outros constituintes da linha. Nestes programas é possível simular o funcionamento de grande parte da linha, mas a simulação do que o sistema de visão conseguirá é por norma raro.



Programas como o *Autodesk Inventor* permitem a simulação da linha e permitem ainda gerar imagens de qualquer posição que o utilizador deseje. No entanto, não permitem a seleção das câmaras, lentes e outros componentes/parâmetros que serão utilizadas na prática. Com uma seleção desses componentes seria possível aproximar a imagem gerada à imagem real (imagem obtida quando a linha estivesse instalada).

1.3 Estado da arte

Desde 1960 que a visão por computadores verificou um crescimento, expandindo se para diversas áreas como diagnósticos médicos, automatização de fábricas, veículos e robôs automáticos (Tadhg Brosnan, 2004). Com esta expansão, inúmeras são as indústrias que beneficiaram da aplicação da visão por computador, como por exemplo indústria de produção de componentes eletrónicos delicados (J.L.C. Sanz, 1988), produção de vidros (Novini, 1990), pintura de produtos (T. Torres, 1998), produção de circuitos integrados (H. Li, 1994) e outros.

O preço das câmaras é afetado pela resolução das mesmas (maior qualidade equivale a equipamento mais caro), pelo fator de corte (em inglês *crop*) das imagens (maior resolução permite melhor qualidade nas imagens cortadas da original), pela capacidade de reduzir a qualidade de modo a reduzir o ruído da imagem, pela forma como tratam da luz, entre outras (Mansurov, 2015).

Aplicando uma lente numa câmara é possível aumentar a qualidade da imagem à distância (que antes era menor devido a ser necessário cortar a imagem). Como consequência o campo de visão é reduzido, o que faz com que apesar da imagem manter a sua resolução a cena capturada será menor (Diane Berkenfeld, s.d.). A área de uma imagem com uma lente de maior distância focal vai corresponder apenas a uma porção de uma imagem mais pequena, isto é, um *zoom* de x2 vai capturar apenas um quarto da imagem x1 (Optical zoom - Learn - Snapsort, s.d.).

Vários são os programas que permitem simular as imagens consoante a utilização de diferentes câmaras e lentes, alguns deles são de empresas relacionadas com fotografia como a *Canon* (Canon, s.d.), *Nikon* (Nikon, s.d.) e outros foram criados por fotógrafos como o caso do *CameraSim* e o *DOF Simulator* (Lockhart, 2014).

Um dos programas testados e o mais complexo é o *D.O.F. Simulator* que foi criado por Michael Bemowski. Este programa permite manipular vários parâmetros, pelo que para isso possui nove menus para alterar e verificar inúmeros aspetos da fotografia (Bemowski, 2014).

O primeiro menu encontra-se representado na Figura 1 e é o menu “Configuration” que permite optar pela interface básica ou avançada do programa (esta última permite manipular mais características) e ainda escolher se é utilizado o sistema métrico ou o sistema inglês para representar as medidas necessárias.



Figura 1 Menu Configuração do DOF simulator (Bemowski, 2014)

Na Figura 2 é possível observar o menu “Appearance” que permite escolher o que aparece na cena (tanto o modelo como o próprio cenário) e a orientação da imagem (se na vertical ou na horizontal).



Figura 2 Menu Aparência do DOF simulator (Bemowski, 2014)

No menu “Camera”, que se encontra na Figura 3, é possível escolher diferentes tamanhos de sensores ou escolher entre os diferentes modelos de câmaras existentes. Nos modelos de câmara estão disponíveis diferentes marcas de câmaras e os modelos que elas possuem (também possui sensores genéricos).

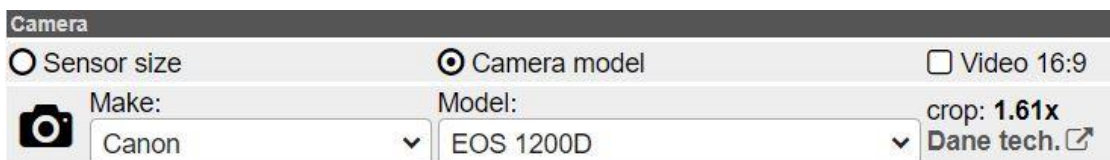


Figura 3 Menu Câmara do DOF simulator (Bemowski, 2014)

O quarto menu, representado na Figura 4, diz respeito às “Lens” a utilizar, mais especificamente optar pela marca e modelos destas (ou utilizar umas lentes simuladas – *Default*),

escolher a distância focal, a abertura do obturador e ainda converter a imagem final num tamanho diferente do atual.

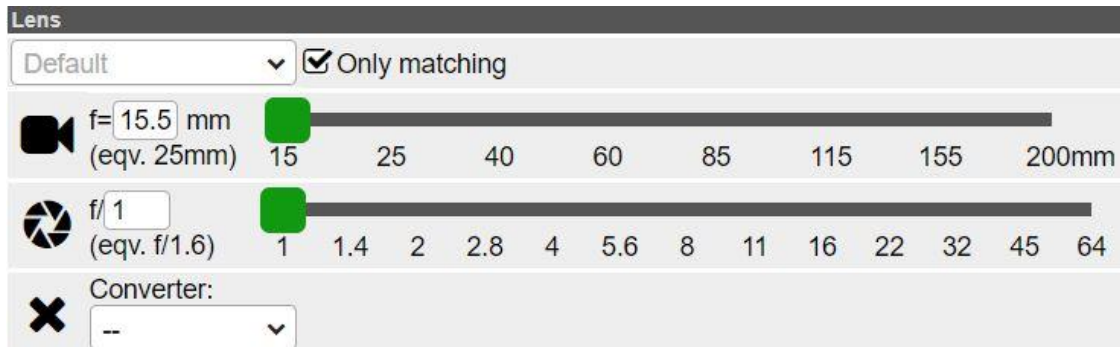


Figura 4 Menu Lentes do DOF simulator (Bemowski, 2014)

No menu “Distance”, da Figura 5 é possível manipular a distância do modelo e do cenário que vão formar a cena final. O cenário pode ser colocado a uma distância infinita, sendo que o modelo terá sempre que ter uma distância menor do que o cenário.

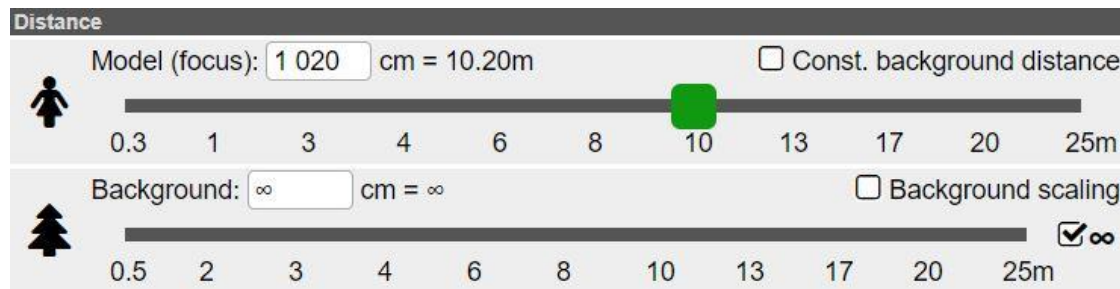


Figura 5 Menu Distância do DOF simulator (Bemowski, 2014)

O menu de “Framing”, que se encontra na Figura 6, permite manipular a distância do modelo, incluindo colocar a mesma com uma posição fixa (*Lock field of view*), sendo que neste caso ao alterar a distância focal, a distância a que o modelo encontra se da câmara também será automaticamente corrigida para manter o enquadramento escolhido pelo utilizador.



Figura 6 Menu Enquadramento do DOF simulator (Bemowski, 2014)

Na Figura 7 encontra-se o menu de “Saved settings” e permite guardar as configurações definidas, para que mais tarde possam ser acedidas rapidamente sem ser necessário reconfigurar todo o programa.



Camera	Focal Length	Aperture	Focus Distance	Background Distance	Bokeh	Remove
35mm (FX, Full-Frame)	85mm	f/1.4	--	3.00m	∞	×
APS-C	55mm	f/1.4	--	3.00m	∞	×
APS-C	85mm	f/1.4	--	4.50m	∞	×

Figura 7 Menu Guardar Configurações do DOF simulator (Bemowski, 2014)

No menu do “Depth of field”, representado pela Figura 8 ,é possível alterar graficamente os parâmetros de distância do modelo e do cenário. Ainda é possível manipular o círculo de confusão tendo em conta os parâmetros atuais.

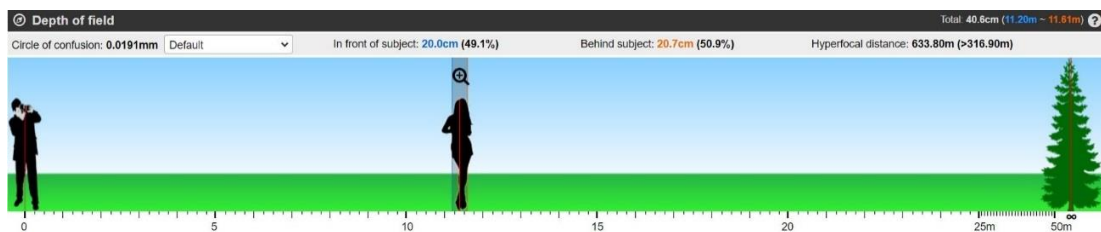


Figura 8 Menu Campo de Visão do DOF simulator (Bemowski, 2014)

Por fim, a Figura 9 representa o menu de “Simulation” que permite observar a imagem final com base nas configurações aplicadas. Ainda é possível utilizar técnicas que permitem desfocar a imagem ou partes dela recorrendo a técnicas de difração ou de *bokeh*.

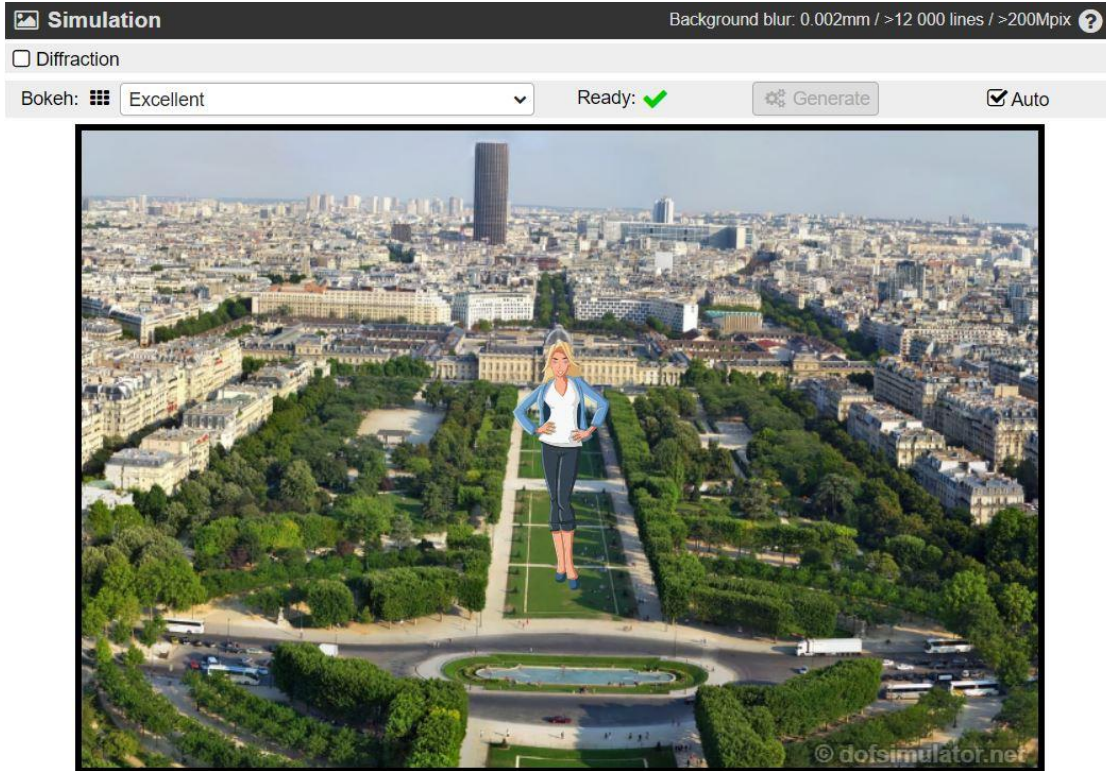


Figura 9 Menu Simulação do DOF simulator (Bemowski)

Os restantes programas testados não possuíam todos os parâmetros necessários para alterar a imagem de forma tão complexa como o *DOF simulator*. Algumas das características que apenas foram encontradas no *DOF simulator* foram o cálculo do campo de profundidade, a possibilidade de utilizar sensores e lentes genéricas (e não respetivas às marcas padrão), a possibilidade de alterar as distâncias do modelo e do cenário.

1.4 Objetivos

Este projeto tem como objetivo desenvolver uma aplicação que permite ao utilizador simular a imagem que será obtida no sistema de visão real para processamento. A aplicação desenvolvida apoia os utilizadores na correta seleção dos diferentes componentes (câmaras, lentes, entre outros) que vão constituir o sistema de visão a utilizar numa linha de produção.



O utilizador pode selecionar diferentes câmaras, lentes, posições e direções da câmara e outros parâmetros para obter a imagem simulada e verificar se a mesma corresponde aos critérios necessários para a linha de produção em causa.

O objetivo desta dissertação é, então, desenvolver uma aplicação que permita simular imagens obtidas pelo sistema de visão tendo como finalidade verificar se a mesma corresponde à configuração pretendida para a linha de produção e ainda estudar conceitos de ótica e física associados ao tema. O sistema desenvolvido deverá ser capaz de:

- Permitir ao utilizador acrescentar e retirar câmaras, lentes e outros componentes para os mesmos corresponderem a equipamentos atuais;
- Retirar o posicionamento e direção da câmara de um cenário elaborado no *software Autodesk Inventor*;
- Simular a resolução da câmara escolhida;
- Simular o *zoom* e distorção impostos pela lente utilizada;
- Simular os detalhes esperados do objeto a validar.

1.5 Organização do documento

Esta dissertação encontra-se dividida em 6 capítulos, sendo eles:

- Fundamentos teóricos (introdução da teoria associada à ótica e programação);
- Virtual ROI – a aplicação e funcionamento (explicação do estado e funcionamento);
- Metodologia e configurações experimentais (plataformas físicas instaladas e lentes, câmaras, abertura e outros que foram utilizados);
- Resultados e discussão (análise dos resultados obtidos);
- Conclusões e perspectivas futuras.



BOSCH

Universidade do Minho
Escola de Engenharia



2 Fundamentos teóricos

Esta dissertação pretende explorar alguns conceitos teóricos e práticos da ótica física e do funcionamento geral das câmaras e seus componentes. Para isso, neste capítulo serão revistas algumas noções que vão permitir entender e explicar alguns dos temas abordados.

Serão abordados os conceitos dos componentes que constituem uma câmara (o sensor, o diafragma, as lentes, os espaçadores, os filtros, entre outros); as noções, manipulação e consequências que cada um deles possui (distância focal, círculo de confusão, profundidade de campo, abertura, ângulo e campo de visão, entre outras); um *software* que permite analisar digitalmente a qualidade das imagens (*Cognex In-Sight Explorer*); a organização de *software* com o padrão arquitetónico *Model View Controller*; a organização de dados com a estrutura XML (eXtensible Markup Language) e o *software Autodesk Inventor*.

2.1 Sensores

Os sensores são componentes das câmaras que permitem captar as imagens através da medição da intensidade da luz em cada pixel. Por norma possuem medidas padronizadas (que variam consoante o fabricante, mas dentro de certos limites). As medidas do sensor de uma câmara permitem obter valores relevantes das fotografias, como por exemplo, a distância focal (definida na seção Distância focal). Os sensores podem pertencer a dois principais tipos (CCD, *Charge-Coupled Device*, ou CMOS, *Complimentary Metal Oxide Semiconductor*). O tipo de sensor utilizado não influencia os cálculos e as conclusões retiradas nesta dissertação.

A altura do sensor de uma câmara possui valores tabelados. A Figura 10 apresenta alguns dos sensores que é possível encontrar no mercado, a sua designação e as suas medidas (Golowczynski, 2017).

Typical sensor sizes



Format:	1"	2/3"	1/1,8"	1/2"	1/3"	1/4"
Diagonal:	16 mm	11 mm	9mm	8mm	6mm	4mm
						
	12,8 x 9,3mm 119mm ²	8,8 x 6,6mm 58mm ²	7,2 x 5,4mm 39mm ²	6,4 x 4,8mm 32mm ²	4,8 x 3,6mm 17mm ²	3,2 x 2,4mm 8mm ²

Figura 10 Tamanhos standard de alguns sensores existentes (Vision Doctor, s.d.)

O nome dos sensores, por exemplo, 1" refere-se a '1 inch' no sistema inglês. Convertendo para o sistema métrico é obtida uma diagonal de 25,4 mm. Mas estes 25,4 mm não correspondem aos 16 mm de diagonal de um típico sensor de "1 inch". Isto acontece porque o nome destes sensores remonta ao tempo em que os tubos de vácuo eram utilizados nas câmaras de vídeos e televisões. Nessa altura um sensor de '1 inch' significava que a diagonal exterior do tubo de vácuo era de 25,4 mm, sendo que apenas era possível aproveitar cerca de dois terços da imagem, que no final iria ter uma diagonal de cerca de 16 mm. Nos dias de hoje continua-se a utilizar a mesma terminologia, apesar desta não corresponder à diagonal útil do sensor.

É ainda necessário referir que um mesmo sensor, por exemplo, o sensor APS-C da Canon mede 22.2x14.8 mm, já o mesmo sensor (APS-C) noutros fabricantes, como por exemplo, Sony, Pentax, Fujifilm e Nikon podem variar entre 23.5x15.6 mm até 23.7x15.6 mm (Crisp, 2017).

2.2 Distância focal

Se um raio de luz que viaja no ar de repente trocar de meio (mudar para água, Figura 11, lado esquerdo), o raio é refratado, sofrendo um desvio na sua direção devido à mudança de meio.

O mesmo acontece numa lente, em que um raio de luz muda de meio pelo menos duas vezes: atravessa o ar entre o objeto e a câmara, muda de seguida para o vidro da lente sofrendo refração e finalmente volta a mudar para o ar quando sai da lente em direção ao sensor (sofrendo novamente refração). Isto acontece quando a lente é constituída apenas por um vidro (como é o caso do lado direito da Figura 11. O número de refrações aumenta com o aumento de lentes que constituem uma objetiva de uma câmara.

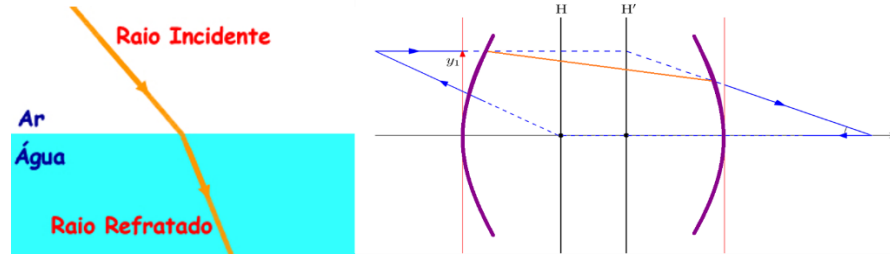


Figura 11 Refração da luz em água (esquerda – (Bisquolo, 2006)) e numa lente (direita)

Numa lente, existem dois planos que se formam, são eles o plano H e H' , que podem ser observados à direita da Figura 11 e dizem respeito a:

- H – Plano imaginário de interceção entre a luz que entra numa lente pelo lado do objeto a ser fotografado e a luz que sai para o sensor de uma câmara;
- H' – Plano imaginário de interceção entre a luz que entra numa lente pelo lado do sensor da câmara e a luz que sai em direção ao objeto a ser fotografado.

A partir do plano H mede-se a distância até ao objeto (chamado dO em futuras referências) e a partir do plano H' mede-se a distância até ao sensor/imagem (chamado di em futuras referências). Nos casos em que se considera uma lente delgada (lente única sem espessura (Tommaselli, 2009)) pode-se desprezar a distância entre H e H' , pelo que o plano que atravessa a lente (pelo seu meio) funciona como H e H' , sendo todas as medidas obtidas a partir desse plano. É sobre este plano único que os raios vão sofrer apenas uma refração (equivalente a todas as refrações existentes na lente).

A distância focal diz respeito à distância que vai desde o centro da lente delgada até ao ponto em que os raios de luz da imagem se intersejam, como é possível ver na Figura 12 Efeito das lentes divergentes (esquerda) e convergentes (direita) em raios de luz (Berkenfeld, Corrado, & Silverman, s.d.).

O seu valor pode não corresponder à distância entre a lente e o ponto onde a luz se cruza (distância dO), exceto nas lentes delgadas (os planos H e H' são desprezados e encontram-se dentro da lente). Nem todos os sistemas de lentes (objetiva) podem ser simplificados em lentes delgadas, o que faz com que seja necessário utilizar fórmulas mais complexas que não serão abordadas neste documento.

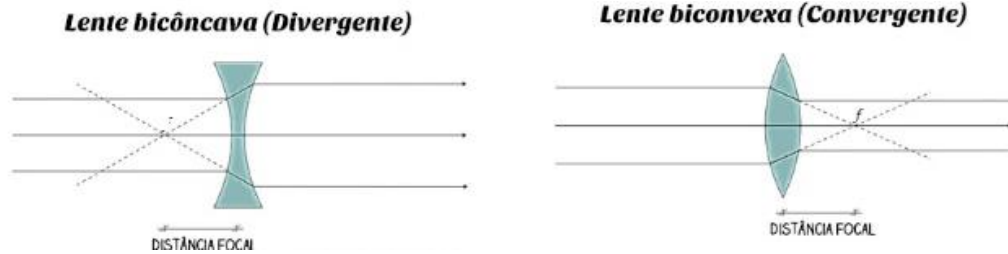


Figura 12 Efeito das lentes divergentes (esquerda) e convergentes (direita) em raios de luz (Câmara Neon, 2013)

Existem casos em que é vantajoso mover os planos H ou H' . Um exemplo em que tal apresenta-se como vantagem é o caso de objetivas com grandes distâncias focais.

Supondo uma objetiva que possua 800 mm de distância focal, utilizada para fotografar vida selvagem a grande distância, seriam necessários 800 mm de comprimento para permitir que a imagem fosse corretamente focada no sensor. Isso seria inconveniente, uma vez que a lente teria que ter cerca de 80 centímetros para que os raios pudessem convergir corretamente. Para resolver esse problema, uma das soluções passa por manipular o plano H' de modo a que este fique entre a lente e o objeto a fotografar. Supondo que o plano H' na lente de 800mm foi movido 450mm em direção ao objeto, então o sensor apenas precisa de ficar a cerca de 350mm da lente, isto quer dizer que a lente apenas precisa de ter 35 centímetros, em vez dos 80 centímetros enunciados anteriormente. Esta redução no tamanho da lente permite ao fotografo transportar mais facilmente a lente.

2.3 Círculo de Confusão

De forma a explicar o conceito de círculo de confusão, considere-se o caso em que raios de luz são emitidos por três lâmpadas, nas seguintes condições:

- Lâmpada vermelha – encontra-se a uma distância maior que d_0 , pelo que é o objeto mais afastado da lente;
- Lâmpada verde – encontra-se a uma distância igual a d_0 , pelo que em condições normais, este será o único objeto que irá estar realmente focado (no capítulo 2.4 serão exploradas e aprofundadas estas noções);

- Lâmpada azul – encontra-se a uma distância menor que $d0$, pelo que é o objeto mais próximo da lente.

Supondo que as três lâmpadas estão a ser fotografadas por uma câmara que possui uma lente fixa, então uma das fotos tiradas poderia corresponder à parte superior da Figura 13.

Na parte inferior da Figura 13, é possível observar que apenas os raios de luz da lâmpada verde convergem no sensor (formando um círculo minúsculo), enquanto que os raios da lâmpada azul e da lâmpada vermelha formam círculos maiores no sensor. Cada um desses três círculos corresponde a um círculo de confusão, formado por objetos a diferentes distâncias.

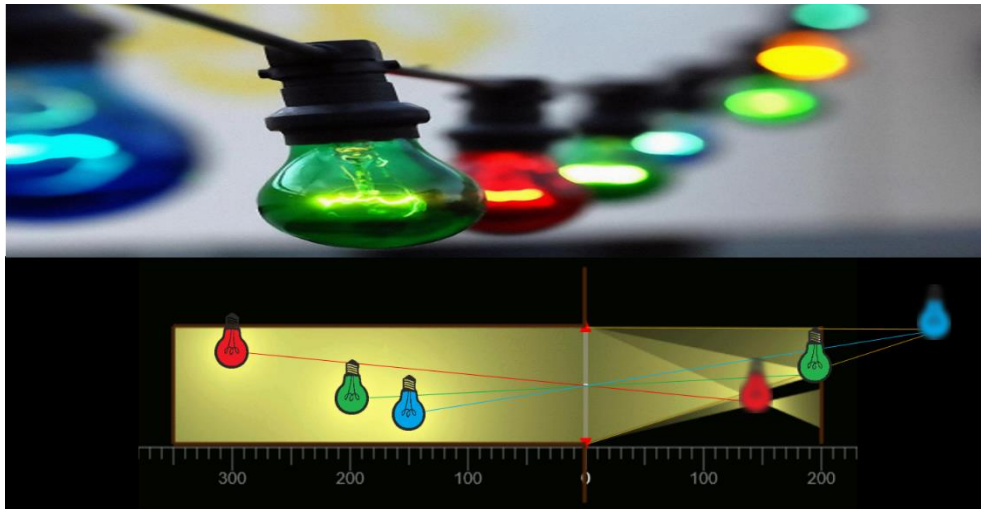


Figura 13 Funcionamento da luz numa câmara (baixo – (Wallbase, s.d.)) e imagem correspondente na realidade (cima – gerado com recurso a (Ray Optics Simulation, 2018))

Cada círculo de confusão ocupa uma área de pixéis (um ou mais pixéis) no sensor da câmara, quanto maior for o círculo, mais desfocada vai parecer a imagem. Na fotografia da Figura 13, por exemplo, a lâmpada vermelha encontra-se mais nítida/focada do que a lâmpada amarela, isto porque a lâmpada amarela se encontra mais longe da lente e como tal o seu círculo de confusão é maior (está para lá da distância $d0$).

Para os seres humanos um objeto nítido/focado pode não estar a uma distância $d0$, mas sim entre duas distâncias (que no seu meio possuam $d0$) que produzam círculos de confusão relativamente pequenos para que os pontos na fotografia pareçam focados o suficiente ao olho humano.



Para calcular o círculo de confusão de um objeto, é utilizada a equação (1) ou a equação (2):

$$Dn = \frac{d0 * f^2}{f^2 + N * c * (d0 - f)} \quad (1)$$

$$Df = \frac{d0 * f^2}{f^2 - N * c * (d0 - f)} \quad (2)$$

Onde:

- Dn – Ponto mais próximo do objeto (em relação à lente) que se apresenta focado para o olho nu e numa fotografia sem ampliação;
- Df – Ponto mais distante do objeto (em relação à lente) que se apresenta focado para o olho nu e numa fotografia sem ampliação;
- $d0$ – Distância desde o plano H até ao objeto a ser fotografado (que se encontra no plano mais focado), quando o plano H é desprezado considera-se a distância desde a lente da câmara até ao objeto a ser fotografado (que se encontra no plano mais focado);
- f – Distância focal da lente, que corresponde à distância que uma lente delgada necessita para focar corretamente uma imagem num sensor, é imposto pela lente utilizada (pode admitir uma distância focal ou pode permitir várias na mesma, indicando qual o valor que está a ser usado no corpo da lente);
- N – Abertura do diafragma da câmara, quanto maior o seu valor, mais fechado se encontra o diafragma da câmara;
- c – Círculo de confusão que corresponde ao tamanho do círculo que se forma no sensor, círculos mais pequenos correspondem a imagens mais focadas.

Como a percepção das distâncias Dn e Df variam de pessoa para pessoa numa mesma imagem, o valor do círculo de confusão máximo aceitável para cada pessoa também irá variar. Como não existe nenhum círculo de confusão ideal para cada pessoa, terá que ser calculado um



que se adapte ao projeto e permita os sistemas de visão analisarem a imagem com a maior taxa de sucesso possível na identificação de componentes.

Os valores de D_n e D_f (D_n corresponde em inglês a *DepthNear* e D_f a *DepthFar*) são importantes no *Virtual ROI*, uma vez que com eles é possível dizer ao utilizador entre que distâncias devem estar os objetos a analisar para que a qualidade seja aceitável.

2.4 Profundidade de Campo

Quando vários objetos se encontram a diferentes distâncias numa paisagem, teoricamente apenas um deles poderá ser focado, mas na prática é possível tirar uma fotografia que contemple mais que um desses objeto ou mesmo todos de forma a aparecerem nítidos e focados. Quando isso acontece quer dizer que os objetos nítidos/focados se encontram dentro dos limites da profundidade de campo.

A profundidade de campo encontra-se diretamente relacionada com os círculos de confusão de cada objeto, sendo que se o círculo for suficientemente pequeno, então a imagem vai parecer nítida/focada ao olho humano. No que diz respeito às distâncias a que a imagem se encontra focada, estas começam no ponto mais próximo que se encontra focado até ao ponto mais afastado que também se encontra focado, como é possível ver na Figura 14. O campo delimitado por estas distâncias é a profundidade de campo (no seu interior fica a distância d_0 , correspondente ao *Best focus point* na Figura 14), em inglês diz-se *depth of field*.

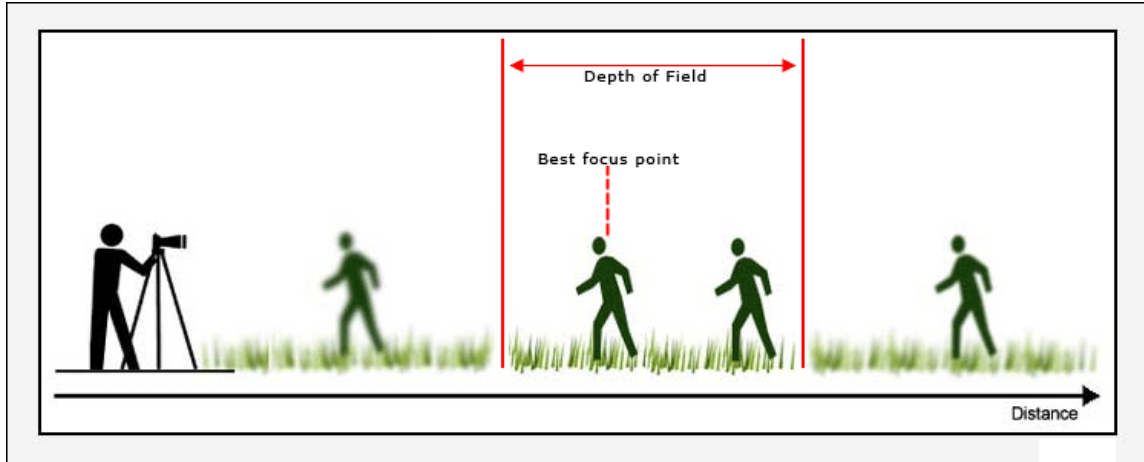


Figura 14 Campo de profundidade e distância $d0$ (em inglês Best focus point) (Introduction to Depth of Field in Modern Photography, s.d.)

À distância entre a câmara e o primeiro ponto focado dá-se o nome de Dn (nearest depth of field – profundidade de campo mais próxima) e a que vai até ao ponto focado mais distante dá-se o nome de Df (farrest depth of field – profundidade de campo mais afastada).

É ainda pertinente referir que para distâncias comuns, recorre-se muitas vezes a uma regra simples para calcular o valor de $d0$ com base nos valores de Dn e Df . Segundo a regra, sabendo os valores de Dn e Df , então o valor de $d0$ encontra-se a uma distância de $1/3$ de Dn e a uma distância de $2/3$ de Df do campo de profundidade total, ficando sempre no meio destes dois valores (esta regra produz valores com um erro de cerca de 8% para distâncias aceitáveis à lente em utilização, sendo que não deve ser aplicada a valores fora destas distâncias devido ao aumento exponencial de erro) (Hull, 2015).

Analisando a Tabela 1, é possível observar que usando uma lente de 80 mm, com uma abertura (explicado na seção 2.5) fixa em 8, os valores entre 25 e 35 pés (unidade de medida de comprimento), que são os que se encontram a distâncias normais para esta lente, correspondem a um $d0$ (também em pés) de $1/3$ para $2/3$ do campo de profundidade.



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Tabela 1 Comparação das distâncias limite do campo de profundidade com a distância d_0 (todos os valores foram obtidos utilizando uma lente de 80 mm e as unidades encontram-se em pés) (Hull, 2015)

D_0	D_n	D_f	% entre D_0 e D_n	% entre D_0 e D_f
5	4,7	5,3	51	49
10	9,0	11,3	43	57
15	12,8	18,0	42	58
20	16,3	25,8	39	61
25	19,5	34,9	36	64
30	22,4	45,4	33	67
35	25,1	58,0	30	70
40	27,5	73,3	27	73
45	29,8	92,1	24	76
50	31,9	115,9	22	78
55	33,8	146,9	19	81
60	35,7	189,2	16	84
65	37,4	250,0	13	87
70	39,0	345,0	10	90
75	40,4	514,6	7	93
80	41,9	902,9	4	96
85	43,2	2702,7	2	98
90	44,4	N/A	N/A	N/A

Mas para outras distâncias tal proporções não se verificam. Nos testes práticos espera-se ainda analisar esta questão e verificar se existe alguma proporção ou se é algo meramente aleatório.

2.5 Diafragma e abertura

A abertura de uma lente diz respeito à abertura do diafragma (entrada por onde a intensidade de luz que atravessa a lente é controlada). A abertura do diafragma influencia diretamente a luz e a profundidade de campo da imagem.

Na Figura 15 à esquerda encontra-se uma lente com uma grande abertura e do lado direito uma lente com abertura menor.



Figura 15 Lente com uma grande abertura (esquerda) e outra com menor abertura (direita) (Santacreu, s.d.)

De notar que em termos de representação quanto maior a abertura, menor o valor pelo qual é representado, isto pois as lentes são numeradas com base na Tabela 2, em que o número f/x corresponde à abertura. À medida que o valor de x aumenta, a abertura da câmara diminui (Tabela 2).

Tabela 2 Representação standard das aberturas de lente (Arbabi, 2011)

f/1	f/1.1	f/1.3	f/1.4	f/1.6	f/1.8	f/2	f/2.2	f/2.5	f/2.8
f/3.2	f/3.5	f/4	f/4.5	f/5	f/5.6	f/6.3	f/7.1	f/8	f/9
f/10	f/11	f/13	f/14	f/16	f/18	f/20	f/22	f/25	f/28
f/32	f/36	f/39	f/45	f/50	f/55	f/64	f/90	f/125	f/180

As aberturas estão relacionadas entre elas sob a forma de *stops*, sendo que ao aumentar um *stop*, a luz que chega ao sensor é metade da luz que chegava no *stop* anterior. Na Tabela 2 os valores que correspondem a *stops* encontram-se a negrito (Nave, s.d.).

Se for considerada uma abertura de $f/4$ que possui metade do diâmetro de uma abertura $f/2$, é então correto dizer que a mesma apenas deixa passar um quarto da luz em relação à última.

À medida que a abertura diminui, o campo de profundidade aumenta, o que quer dizer que a imagem fica mais focada como é o caso da Figura 16 em que à esquerda é possível observar que apenas a bola de bilhar preta se encontra nítida devido a uma maior abertura do diafragma, mas ao aumentar a mesma de $f/2.8$ para $f/16$ é possível ver uma clara diferença na nitidez, uma vez que a abertura diminui.

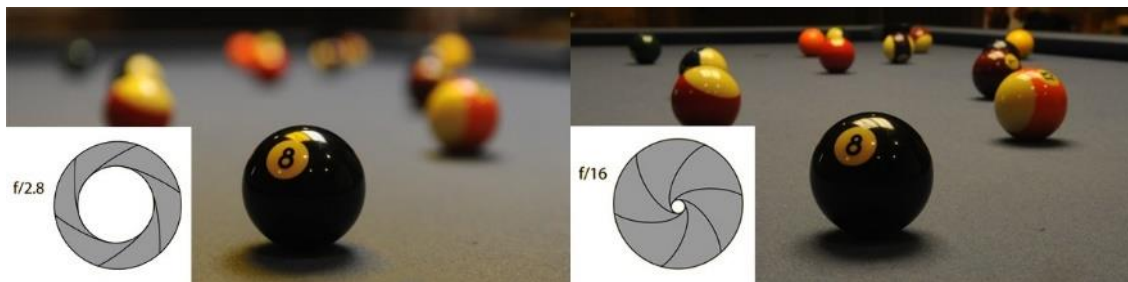


Figura 16 Comparação do campo de profundidade numa fotografia tirada com grande abertura (esquerda) e noutra com menor abertura (direita) (Nave, s.d.)

Como foi referido anteriormente (no subcapítulo 2.4), a profundidade de campo é influenciada diretamente pelo círculo de confusão e este é diretamente influenciado pela abertura. Se for considerado um modelo de duas dimensões de uma câmara, com uma única lente e a tentar fotografar vários objetos, obtém-se a Figura 16, em que a única mudança é a abertura da câmara.

De notar que o círculo de confusão é formado pelo cone de luz que se dirige para o sensor. É possível observar três casos distintos:

- Caso a: a abertura permite a entrada máxima de luz, o que faz com que as imagens formadas fiquem desfocadas mais rapidamente à medida que os objetos estão mais distanciados da distância $d0$. De notar ainda que os objetos possuem as cores saturadas devidos ao excesso de luz;
- Caso b: a abertura permite uma entrada intermédia de luz, o que faz com que os objetos pareçam mais nítidos (o campo de profundidade é maior) e que a sua cor seja mais parecida com a real;

- Caso c: a abertura permite a entrada mínima de luz, o que faz com que os objetos pareçam todos eles nítidos (o campo de profundidade é ainda maior do que nos casos a e b), mas em contrapartida os mesmos ficam mais escuros devido à falta de luz.

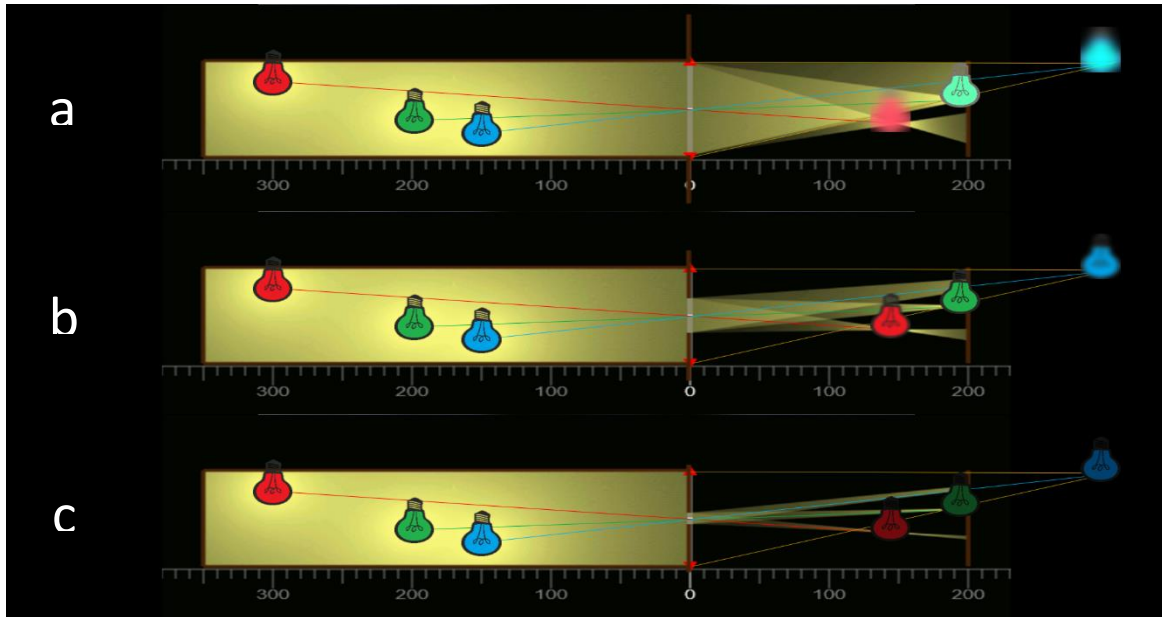


Figura 17 Efeito da abertura no campo de profundidade e na luz a que o sensor é exposto (gerado com recurso a (Ray Optics Simulation, 2018))

À medida que a abertura vai ficando mais pequena, é possível notar um aumento da profundidade de campo (os círculos de confusão que definem cada lâmpada vão ficando proporcionalmente mais pequenos o que torna a imagem mais nítida) e um escurecer das imagens formadas no sensor (isto porque o número de raios de luz que define cada ponto é menor).

A sensibilidade do sensor é representada pelo ISO (norma que relaciona luminância da cena com a claridade da imagem final) e corresponde à amplificação feita pela câmara de maneira a amplificar o sinal recebido, pelo que um valor de ISO maior aumenta a luz numa foto. A partir de certos valores de ISO, o ruído começa a manifestar-se uma vez que este também é amplificado, podendo comprometer uma imagem, dependendo da sua finalidade (Carlos-vialfa, 2017).

Como ao diminuir a abertura da lente a luz que passa também diminui, pode ser necessário compensar essa redução de luz doutras formas. Aumentar o valor do ISO é uma dessas formas,

mas nunca esquecer que o ruído digital da imagem também aumenta levando ao aparecimento de defeitos da imagem, o que não é desejável.

Há ainda que considerar que quanto maior a abertura do diafragma, maior a distância que o obturador tem que percorrer, o que para uma mesma velocidade iria demorar mais tempo. O tempo de exposição seria maior, o que não é ideal para fotografar objetos em movimento.

Conclui-se que ao aumentar o número de *f-stops* da abertura, o diâmetro da mesma diminui o que faz com que chegue menos luz ao sensor, tornando a imagem mais escura e com a diminuição de diâmetro obtêm-se ainda um aumento do campo de profundidade da imagem, o que permite ter um aspeto mais focado e plano.

2.6 Ângulo de visão e campo de visão

O ângulo de visão de uma câmara diz respeito ao ângulo que é possível capturar com a câmara. Quanto maior o ângulo, menos será a distância focal da lente a utilizar, uma vez que cada uma possui o seu próprio ângulo de visão (Digital Camera Magazine, 2016).

É possível, com um mesmo ângulo de visão capturar mais informação de uma cena, isto se for aumentada a distância entre a câmara e o objeto. Na Figura 18 observa-se que quando a câmara (em d_0) tenta fotografar um objeto à distância de d_1 , apenas consegue capturar parte do mesmo. Ao aumentar a distância para d_2 já é possível fotografar todo o objeto, apesar do ângulo de visão ser o mesmo.

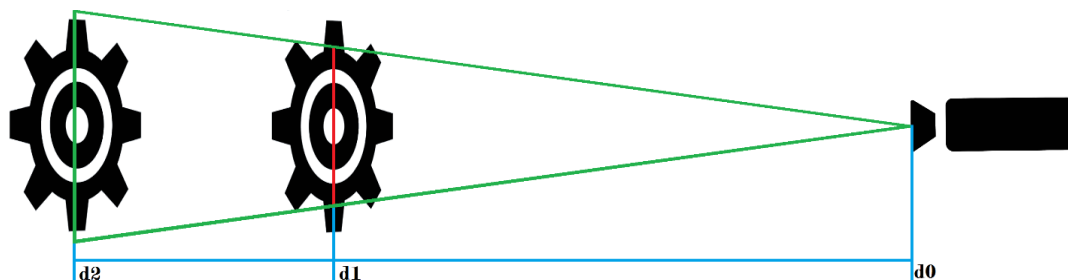


Figura 18 Ângulo de visão fixo e informação capturada tendo em conta a distância

De considerar que:



- $d1$ – Distância entre a lente e a câmara que não permite capturar por completo um objeto;
- $d2$ – Distância entre a lente e a câmara que permite capturar por completo um objeto.

Dependendo da altura que o objeto que queremos fotografar possui, é necessário adaptar a distância focal da lente a usar, de modo a que o campo de visão da câmara capture o máximo de informação útil possível.

O campo de visão, em inglês “*field of view*”, diz respeito à distância que a câmara consegue ver no plano que está a fotografar. Apesar de o ângulo de visão ser o mesmo quando usados a mesma lente e o mesmo sensor, o campo de visão depende ainda da distância a que a câmara está do objeto a fotografar, como é o caso da Figura 18. Ao aumentar a distância de $d1$ para $d2$, a distância no plano vertical que é possível capturar é maior, o que permite capturar a engrenagem por completo a uma distância de $d2$ (Carr, 2017).

2.7 Lentes - Suportes e as distâncias DFS e DFI

Uma câmara pode possuir uma lente fixa e que não é possível alterar ou então ter um conjunto de lentes que podem ser colocadas em frente ao sensor de modo a obter a melhor qualidade possível na fotografia. Existem vários tipos de lentes, como por exemplo (Photography Mad, s.d.):

- *Standard* – normalmente imitam o ângulo de visão do olho humano e com uma distância focal de 50 mm, pode-se obter uma boa performance em condições de pouca luz;
- *Macro* – dedicadas para fotografia a curtas distâncias, obtendo fotografias nítidas e com um bom contraste;
- *Telefoto* – possuem uma grande distância focal o que permite ampliar um objeto que se encontre a grande distância, por norma são maiores que os outros tipos de lentes;
- *Grande ângulo* – possuem uma baixa distância focal, o que faz com que o seu ângulo de visão seja maior que os das outras lentes (podem gravar até 180 graus), são



normalmente utilizados em desportos, pois a distorção que produzem dá um aspeto de movimento;

- Especiais – são lentes que como o próprio nome indica, têm características únicas e especiais que permitem fotografar objetos de maneira específica, podendo por exemplo, capturar luz fora do espectro visível, lentes que permitem um melhor controlo da distância focal, entre outros.

Para que as lentes possam encaixar diretamente numa câmara é necessário que o encaixe da câmara seja o mesmo ou então que seja utilizado um adaptador que permita o encaixe. O local onde as lentes encaixam tem o nome de flange e existem duas distâncias que é necessário ter em consideração quando se coloca uma lente numa câmara, estas são a distância da flange até ao sensor da câmara (utilizada a sigla DFS) e a distância da flange até à imagem (utilizada a sigla DFI) (Zerrenner, s.d.).

2.7.1 DFI

DFI é a distância que vai desde o suporte da lente (flange) até ao ponto onde a imagem focada se forma, este ponto deve corresponder ao ponto onde o sensor se encontra (lado esquerdo da Figura 19).

2.7.2 DFS

DFS é a distância entre o suporte onde a lente irá ficar (flange) até ao sensor (lado direito da Figura 19).

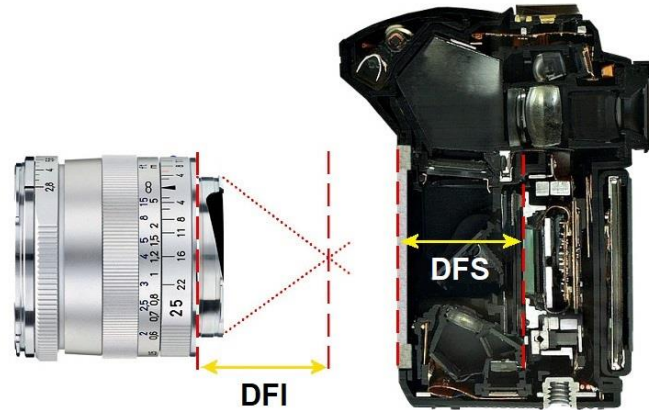


Figura 19 DFI (esquerda) e DFS (direita) representadas numa lente e câmara fotografica respetivamente (What is the Flange Focal Distance and How to Find More Lenses for Your Camera, s.d.)

2.7.3 Relação entre DFI e DFS

Estas duas distâncias definem que lentes uma câmara pode ou não utilizar; para isso existem três casos (Sudhakaran, s.d.):

- DFI maior que DFS – neste caso é necessário recorrer a um adaptador que apenas aumente a DFS (conhecido como espaçador de lente) de modo a coincidir com a DFI. Isto é, que permita que a lente seja instalada mais longe do sensor de modo a que a imagem fotografada seja focada no sensor. Caso não seja utilizado um sensor o que acontece é que a imagem será focada atrás do sensor, ficando a mesma desfocada (no sensor);
- DFI igual à DFS – neste caso é só encaixar a lente no suporte da câmara (caso os suportes sejam compatíveis), uma vez que a imagem será focada no próprio sensor;
- DFI menor que a DFS – neste caso não é possível utilizar adaptadores que aumentem a distância, pois seria necessário reduzir à DFS, o que implicaria colocar a lente dentro da própria câmara e tal normalmente não é exequível. Uma solução comum é recorrer-se a lentes que manipulam as qualidades óticas da lente inicial de modo a aumentar a DFI. Ao fazer isso, a lente original perde algumas qualidades (o que pode influenciar muito a fotografia desejada).

2.8 Espaçadores

Ao focar uma fotografia é preciso ter em conta o campo de profundidade necessário para o uso que será dado à fotografia. No caso em que é necessário o mínimo de campo de profundidade para dar o maior destaque possível ao plano que se encontra focado, pode ser necessário mover a câmara (para mais próximo ou mais longe do objeto a focar), para que o objeto apareça corretamente focado no sensor (como foi abordado no subcapítulo 2.2).

Um espaçador é um acessório que aumenta a DFI, permitindo que os raios de luz atravessem uma maior distância, focando corretamente pontos no sensor que seriam focados para lá do sensor.

Na Figura 20 é possível observar que se a câmara não utilizasse um espaçador, então a luz (a vermelho) seria focada para lá do sensor, na linha tracejada, pois o objeto encontra-se mais perto que o plano que se encontra focado. Um espaçador que conseqüentemente aumenta a DFI, vai permitir focar (luz verde) corretamente a imagem no sensor.

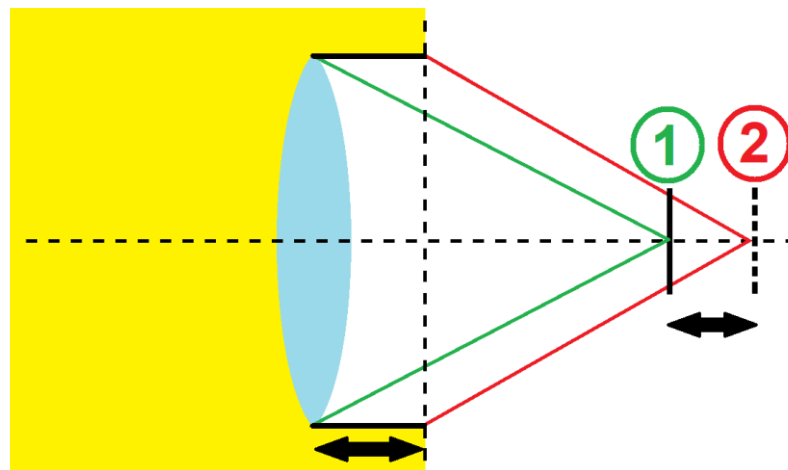


Figura 20 Funcionamento básico de um espaçador

Para fazer o contrário (focar um objeto que se encontre para lá do plano que se encontra focado) seria necessário aproximar a lente do sensor, mas como normalmente é impossível colocar lentes mais próximas do sensor, o que é feito é utilizar outra lente que altera a imagem para que esta fique focada para lá do plano focado (estas lentes alteram as propriedades óticas



da imagem, o que leva à perda de qualidades, por exemplo, a errada percepção de tamanhos consoante a distância).

Ambos os casos anteriores supõem que é necessário utilizar a mesma lente na câmara. O ideal é sempre que possível utilizar apenas a lente mais apropriada para a distância a focar em questão.

2.9 Filtros

Os filtros são componentes feitos de gelatina, plástico, vidro ou cristal, geralmente circulares (para encaixar diretamente na lente), mas existem também noutros formatos (quadrados). São amplamente utilizados nas câmaras para as mais diversas situações, como por exemplo (Pinola, 2015):

- Proteger a lente;
- Impedir a luz ultravioleta;
- Polarizar a luz;
- Evitar o excesso de exposição do sensor à luz, quando é necessária uma grande abertura e um tempo de exposição elevado;
- Equilibrar a exposição a situações em que existe elevado contraste;
- Adicionar efeitos especiais e cores às imagens antes de capturar;
- Para corrigir, subtrair, bloquear ou fazer sobressair certas cores;
- Eliminar a necessidade de alterar as fotos em programas de edição posteriormente;
- Alterar a temperatura das cores da fotografia;
- Tirar fotografias macro (distância entre lente e objeto muito pequena);
- Para melhorar a qualidade em fotografias a preto e branco.

Diferentes cores possuem diferentes comprimentos de onda, que correspondem aos da Tabela 3. Quando atravessa um material, como por exemplo, o vidro, o ângulo de refração da luz irá depender do comprimento de onda da cor e dos ângulos de entrada e de saída que o material possui, refratando então a luz branca em diferentes cores.

Este fenómeno é facilmente visível num prisma que refrata a luz branca em sete cores monocromáticas, como é possível ver na Figura 21 (esquerda). De notar que quanto menor o comprimento de onda, maior é a refração que este sofre. O mesmo acontece nas objetivas das câmaras (Figura 21 - direita) que, dependendo da qualidade, podem atenuar este efeito. Quando isto acontece numa fotografia, chama-se de aberração cromática.

Tabela 3 Comprimento de onda e frequência das cores do espectro visível (Kilhian, 2010)

Cor	Comprimento de onda	Frequência
Vermelho	625-740 nm	480-405 THz
Laranja	590-625 nm	510-480 THz
Amarelo	565-590 nm	530-510 THz
Verde	500-565 nm	600-530 THz
Ciano	485-500 nm	620-600 THz
Azul	440-485 nm	680-620 THz
Violeta	380-440 nm	790-680 THz

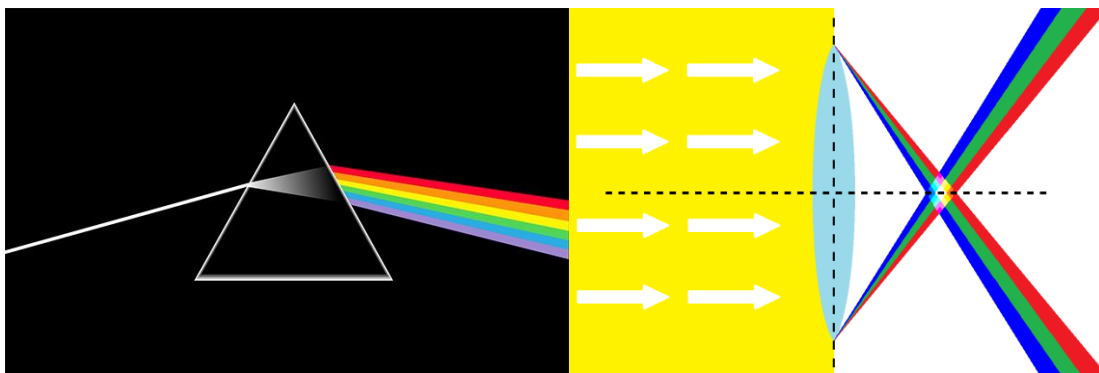


Figura 21 Luz branca a ser refratada por um prisma (esquerda – (Focus Escola de Fotografia, 17)) e por uma lente simples (direita)

Tendo em mente os círculos de confusão criados por uma aberração cromática, chega-se à conclusão que consoante o comprimento de onda da cor refratada, serão obtidas diferentes distâncias a que o plano se encontra focado. No caso da Figura 21 (direita), considerando as cores azul, verde e vermelho – cores refratadas da luz que entra para a lente – é possível observar que

se existisse um sensor, o mesmo apenas conseguia focar uma das cores de cada vez, pois dependendo da cor que focasse, os círculos de confusão das outras duas seriam maiores.

A Figura 22 compara dois pares de imagens, demonstrando a diferença entre imagens sem aberração cromática e aquelas que a possuem. Nas figuras superiores nota-se todas as cores a serem desfocadas no sensor, mas na realidade o que normalmente acontece é o violeta ser a cor mais desfocada, como é possível ver nas duas fotografias em baixo da Figura 22.



Figura 22 Dois pares de fotografias dos mesmos objetos, as da direita apresentam aberrações cromáticas ((Motomas, 2016) e (Zack, s.d.))

2.10 Relação entre as variáveis

Considerando a Figura 23, é possível observar dois triângulos que se formam com base nas alturas e distâncias tanto do objeto à lente como da lente ao sensor. Com base nos triângulos e recorrendo à simetria dos mesmos, é possível obter a equação (3):

$$\frac{Sensor_{Height}}{Object_{Height}} = \frac{d_i}{d_o} \quad (3)$$

Onde:

- $Sensor_{Height}$ – Valor único que corresponde ou à altura ou à largura do sensor da câmara;
- $Object_{Height}$ – Altura ou largura do objeto a fotografar, corresponde ao campo de visão (FOV);
- d_i – Distância desde o plano H' até ao sensor da câmara, quando o plano H' é desprezado considera-se a distância desde a lente da câmara até ao sensor da câmara.

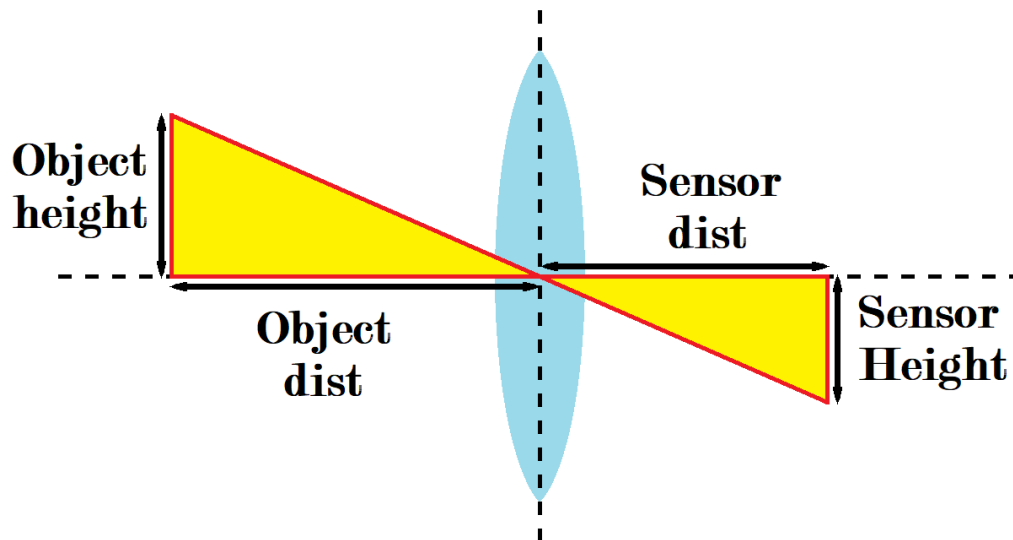


Figura 23 Funcionamento base de uma lente delgada para projeção da imagem de um objeto no sensor

Segundo (Schnick, 2017), é possível afirmar que todas as fórmulas são simplificadas para as da lente delgada, desde que o objeto esteja a uma distância maior que a distância focal.

Tendo em conta a afirmação anterior, é possível considerar a equação (4), que é uma simplificação das equações óticas normalmente utilizadas e que envolve a distância focal, a distância entre a lente e o objeto e a distância entre o sensor e a lente e que é conhecida como *the lens equation* (a equação das lentes).



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{d0} + \frac{1}{di} \quad (4)$$

Com base nas equações anteriores (equação (3) e (4)), consegue-se chegar à altura do objeto utilizando a altura do sensor, a distância da lente ao objeto e a distância focal, equação (5).

$$Object_{Height} = Sensor_{Height} \left(\frac{d0}{f} - 1 \right) \quad (5)$$

É ainda de referir que dependo se é necessário calcular a altura ou a largura do campo de visão, deve-se utilizar respetivamente a altura e a largura do sensor utilizado pela câmara.

2.11 Software utilizado para obter e analisar imagens

Para obter as imagens e quantificar a sua qualidade foi utilizado o *software In-Sight Explorer* da *Cognex Corporation*. Este *software* permite ligar às câmaras da marca através de uma ligação *Ethernet*, obtendo imagens em tempo real.

Uma das funcionalidades é o *Focus Metric* – em português, métrica de foco –, que permite quantificar a resolução de cada imagem através do grau a que é possível obter os detalhes mais pequenos com a resolução da cena, atribuindo uma pontuação a cada caso. (retirado do menu *help* do *In-Sight Explorer*, fazendo *search* de *focus metric* e escolhendo o *rank 2* com o título *Image Menu*).

Na Figura 24 é possível observar a interface gráfica do *software* com a imagem obtida em tempo real no seu centro e em baixo o valor de “*Focus Metric*” que correspondia a 15,64.

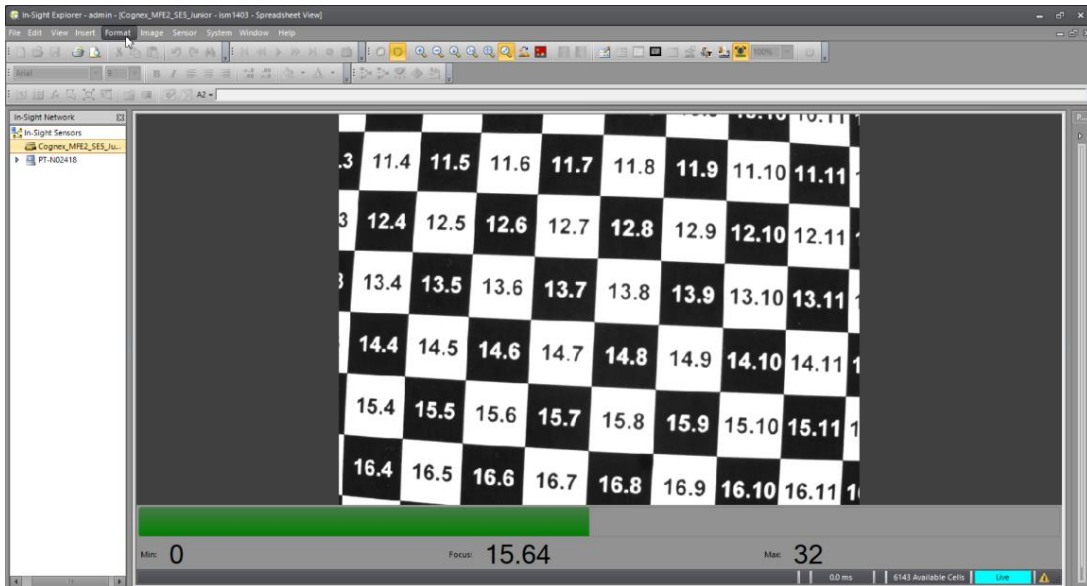


Figura 24 Interface gráfica do software In-Sight Explorer 4.9.1 da Cognex Corporation

Com esta funcionalidade é possível obter imagens mais objetivas uma vez que quantifica o valor a que cada uma se encontra focada. Com este valor é possível medir a distância a que a câmara está do objeto que se encontra a fotografar sem ter que recorrer ao olho humano para analisar cada uma das imagens.

2.12A arquitetura MVC

A arquitetura *Model View Controller* (MVC) permite organizar o código de forma a separar os principais componentes de uma aplicação, para que estes trabalhem de forma independente (Walter, 2008). Os principais componentes são:

- **Modelo:** representa toda a lógica e dados do sistema, permitindo a comunicação com a base de dados e a manipulação das lógicas que se afastam do normal funcionamento da linguagem;
- **Vista:** diz respeito à apresentação do sistema, fornecendo ao utilizador a interface para que este utilize a aplicação, não existe lógica neste componente, pelo que aqui apenas devem ser chamados métodos do controlador que vão fornecer os dados necessários ou que vão desencadear ações por parte do controlador;



- Controlador: este componente faz a coordenação de toda a aplicação, sendo responsável pela comunicação (pedidos e ações) entre as vistas e os modelos, o controlador trata de manipular a informação dos modelos para que os dados possam ser utilizados nas vistas.

Com esta separação dos componentes é possível reduzir a complexidade do projeto, permitindo fazer melhorias num dos componentes sem ser necessário alterar os outros (Bhatia, 2013).

A 12 de Maio de 1979, Trygve Reenskaug escreveu uma nota denominada de *“THING-MODEL-VIEW-EDITOR -an Example from a planning system”* (Reenskaug, 2007) que visava explicar cada uma das quatro noções aplicadas. A 10 de Dezembro de 1979 escreveu uma segunda nota denominada de *“MODELS – VIEWS – CONTROLLERS”* que tinha como objetivo reestruturar o modelo para que este ficasse mais claro.

A arquitetura MVC será explicada mais pormenorizadamente neste capítulo com recurso a essas notas e utilizando como exemplo um sistema informático de um balcão num banco.

2.12.1 Modelos

Segundo Trygve (Reenskaug, 2007), o modelo representa o conhecimento (*“Models represent knowledge”*), isto é, toda a informação e lógica associada ao sistema. Imaginando um sistema bancário, pode considerar-se que o modelo tem acesso a todas as bases de dados (clientes, empregados, produtos de crédito, informações de investimento) e que pode manipular os mesmos de forma sistemática e precisa.

Sistemática, pois, as informações semelhantes são sempre tratadas recorrendo aos mesmos métodos e são armazenadas de forma estruturada. Uma vez que cada modelo deve tratar apenas dos dados relacionados com ele, a informação é tratada de uma forma lógica.

Um modelo deve então corresponder a uma ligação um-para-um que permita separar de forma clara os problemas do sistema. No caso do exemplo bancário os problemas podem ser agrupados em problemas do cliente (morada, contatos, nome, contas, créditos e outros dados), problemas dos empregados (nome, contato, salário, permissões, cadastro, entre outros) e



restantes problemas. Com esta primeira divisão da lógica do negócio é possível reduzir imediatamente a complexidade do problema, sendo possível trabalhar em cada modelo independentemente, uma vez que os dados de cada modelo podem ter a sua própria estrutura (não deve variar dentro do próprio modelo), mas no geral, é reconhecido que no modelo dos clientes existirá um campo com o contato do cliente (que será armazenado de igual forma para todos os clientes).

2.12.2 Vistas

Para Trygve (Reenskaug, 2007), a vista é a representação (visual) do modelo (*“A view is a (visual) representation of its model”*), funcionando como um filtro do que é apresentado ao utilizador, que deve pegar nos dados do modelo e apresentar aqueles que são relevantes para a vista atual.

No caso do sistema bancário a vista pode ser o ecrã de um computador que apresenta a informação relativa ao saldo de um cliente do banco por exemplo. Neste caso, é relevante mostrar certas informações do modelo cliente como o nome, o saldo disponível, o crédito, os gastos e outros, mas ao mesmo tempo não faz sentido apresentar outras como a morada, o contato telefónico, entre outros. A vista deve então pedir ao modelo aquilo que quer que seja apresentado ao utilizador com recurso a pedidos (o utilizador carregar num botão ou tecla) e também pode atualizar o modelo se enviar as mensagens corretas (atualizar a morada ou o contato de um dos clientes).

2.12.3 Controlador

Para Trygve (Reenskaug, 2007), o controlador é a ligação entre o utilizador e o sistema (*“A controller is the link between a user and the system”*). O controlador deve manipular as vistas de forma a apresenta-las de maneira a que o utilizador possa decidir o que fazer e obter os resultados que deseja, exibindo comandos, menus e outras formas que permitam ao utilizador controlar o sistema e introduzir dados no mesmo.

Uma vez recebido o comando ou dados do utilizador, o controlador deve converter essa informação para que seja reconhecida nos locais onde vão atuar, seja para um modelo ou uma



vista. No caso do sistema bancário o controlador será quem manipula os dados recebidos, introduzidos e os comandos pedidos pelo utilizador, para que a informação flua continuamente e que seja compreendida e interpretada por todas as partes envolvidas. Por exemplo, quando o utilizador carrega num botão para apresentar os movimentos bancários, o controlador deve interpretar os dados do modelo responsável por esses dados, de forma a que estes sejam enviados para a vista numa estrutura que esta compreenda, podendo assim esta última apresentar os dados ao utilizador.

2.12.4 Editores

Ainda segundo Trygve existem ainda os chamados editores que nos dias de hoje raramente são mencionados como componentes da arquitetura MVC, uma vez que são considerados uma extensão do controlador.

Um editor permite alterar a informação que é apresentada na vista, sendo necessário o controlador estar diretamente ligado à vista de modo a que a mesma seja alterada. Esta ligação apenas deve ser apresentada para a própria vista no controlador e nem todas as vistas devem ter esta opção.

No exemplo do sistema bancário pode considerar-se um editor a parte que permite alterar, por exemplo, as informações do cliente.

2.13 Ficheiros XML

Recorrendo a ficheiros XML (*Extensible Markup Language*) é possível alterar certos parâmetros do programa, sem ser necessário recompilar o código já criado (Microsoft, s.d.).

O XML permite guardar a informação com recurso a etiquetas, que permitem o fácil acesso e interpretação da mesma. Com isto é possível guardar e exportar/importar a informação de um modo padrão, sendo a informação auto-descritiva (w3schools.com, s.d.).

Um ficheiro XML é reconhecido pela sua extensão “.xml” e pode ser editado usando, por exemplo, um bloco de notas. A primeira linha do ficheiro possui a versão do XML que é utilizada, como por exemplo, “<?xml version="1.0" ?>”.



Entre cada conjunto de “<” e “>” encontram as etiquetas, sendo que para um ficheiro XML funcionar precisa de cada etiqueta aberta (abrir usando, por exemplo, <Armario>) ter uma etiqueta que a feche, que apenas diferem no carater “/” (para o exemplo anterior seria </Armario>). As etiquetas abertas dentro de outras etiquetas são consideradas filhas das etiquetas que as envolvem.

Considerando o exemplo da organização de um armário que possui gavetas e dentro de cada gaveta se encontram peças de roupa com respetivos tamanhos, cores e número de unidades.

Neste exemplo podemos obter um código XML como o seguinte:

```
<?xml version="1.0" ?>
<Armario>
  <Gaveta>
    <Peca>
      <Nome>Calcas</Nome>
      <NumeroDeUnidades>3</NumeroDeUnidades>
      <Tamanho>40</Tamanho>
      <Cor>Escura</Cor>
    </Peca>
  </Gaveta>
  <Gaveta>
    <Peca>
      <Nome>T-Shirt</Nome>
      <NumeroDeUnidades>5</NumeroDeUnidades>
      <Tamanho>M</Tamanho>
      <Cor>Multi-Cor</Cor>
    </Peca>
    <Peca>
      <Nome>Camisola</Nome>
      <NumeroDeUnidades>3</NumeroDeUnidades>
      <Tamanho>M</Tamanho>
      <Cor>Branco</Cor>
    </Peca>
  </Gaveta>
  <Gaveta>
    <Peca>
      <Nome>Sapatilhas</Nome>
      <NumeroDeUnidades>2</NumeroDeUnidades>
```



```
<Tamanho>42</Tamanho>  
<Cor>Escura</Cor>  
</Peca>  
</Gaveta>  
</Armario>
```

No exemplo anterior tem-se a organização de um armário em XML. O armário é o pai das gavetas, sendo estas três consideradas suas filhas e por sua vez cada gaveta possui um ou mais filhos chamados de peça. Cada peça possui um conjunto de características que as tornam únicas, sendo essas características neste caso o nome da peça, o número de unidades, o tamanho e a sua cor.

Este exemplo encontra-se bem formatado, pelo que se for colocado num ficheiro “.xml” e guardado, será possível abrir o documento e rever a informação em qualquer plataforma que consiga abrir XML.

Como referido anteriormente, esta linguagem permite a organização da informação de uma forma padrão e auto-descritiva, pois cada filho é facilmente associado ao seu pai e cada etiqueta pode simplesmente descrever qual a informação que contém. No exemplo do armário facilmente se associa as gavetas como filhas do armário e as peças de roupa como filhas das gavetas, isto quer dizer que um armário possui gavetas, sendo que cada gaveta por sua vez possui peças de roupa. Se o código do exemplo anterior for aberto com um programa (programa este capaz de ler ficheiros “.xml”), por exemplo, o *Word*, o utilizador veria o que está representado na Figura 25.



BOSCH

Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Calças

3

40

Escura

T-Shirt

5

M

Multi-Cor

Camisola

3

M

Branco

Sapatilhas

2

42

Escura

Figura 25 Visualização do código XML utilizando o explorador Mozilla Firefox

2.14 Autodesk Inventor

Segundo a *Autodesk* (empresa que desenvolveu o *Inventor*), o *software Autodesk Inventor* permite fazer modelos precisos a três dimensões de protótipos que permitem validar a forma, o tamanho e as funções do *design* à medida que é trabalhado, minimizando assim a necessidade de testar o mesmo com protótipos físicos (*Autodesk*).

Este *software* permite simular desde o mais simples componente (por exemplo um prego), passando pela junção de componentes que dão origem a peças, podendo mesmo chegar a máquinas complexas e de grandes dimensões. Isto tudo com recurso às suas ferramentas e com a sua interface gráfica.

Com a ajuda do *Autodesk Inventor Studio* é ainda possível eliminar a necessidade de produzir protótipos realistas uma vez que permite renderizar imagens e até mesmo vídeos/animações do modelo, oferecendo a opção de alterar o material que constitui o componente, a sua cor, o seu aspeto, o seu acabamento, a luz que incide sobre eles, entre muitos



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

outros. Com isto consegue-se tornar o modelo do protótipo o mais real possível, o que reduz a quantidade de erros, o tempo de produção e o custo de construir um protótipo real de raiz.

Neste projeto foi utilizado o *Autodesk Inventor Professional 2017*.



3 *Virtual ROI* – a aplicação e funcionamento

O *Virtual ROI* é o *software* desenvolvido neste trabalho que permite aos utilizadores simularem imagens. As imagens 2D são obtidas a partir de modelos 3D de linhas no *software Autodesk Inventor* e simulam as fotografias que seriam obtidas por um conjunto de câmara, lente e espaçador, instalados numa linha de produção.

O *Virtual ROI* acede ao *Autodesk Inventor* através da sua API, criada pela *Autodesk*, mais especificamente acede ao *Inventor Studio* (ambiente de animação que permite renderizar imagens/vídeos). Inicialmente o *Virtual ROI* pede uma lista com todos os pontos do tipo *Camera* que existem no modelo 3D e apresenta-os ao utilizador sob a forma de uma lista, para que possa ser escolhida a posição desejada.

Depois de escolhida a posição, o utilizador seleciona o modelo da câmara (lista de modelos é carregada de um ficheiro XML que pode ser atualizado conforme se faça alterações aos inventários das câmaras), seleciona a distância focal da lente a utilizar (também carregada de um ficheiro XML que pode ser atualizado) e por último escolhe o espaçador a utilizar se achar que é necessário um (também carregado de um ficheiro XML que pode ser atualizado).

Uma vez definidos os parâmetros, é utilizado como $Sensor_{Height}$ o valor de largura e altura do sensor para calcular respetivamente a largura e altura do campo de visão (equação (5) do subcapítulo 2.10). Os valores do campo de visão são passados para o *Autodesk Inventor* através da sua API, atualizando os valores do parâmetro *extent* e o *zoom* fica definido no *Inventor Studio* para a vista.

A vista gerada é exportada para a janela principal do *Virtual ROI*, ficando visível ao utilizador. Nesta janela o utilizador pode ver o caminho do ficheiro que está a trabalhar e as coordenadas 2D a que o rato se encontra sobre a vista. O utilizador possui ainda algumas opções de trabalho, como: fazer medições no plano 2D que se encontra à distância dO da lente; guardar numa pasta pré-definida a vista e seus parâmetros; enviar por e-mail a vista e os parâmetros como anexo num modelo escrito, pré-definido, mas que pode ser alterado.

Na Figura 26 encontra-se o diagrama de blocos com o fluxo de informação do *Virtual ROI*, onde a verde se encontra o ciclo de abertura de novos ficheiros, que é corrido quando se inicia o programa ou quando é selecionada a opção de abrir um novo modelo no programa.

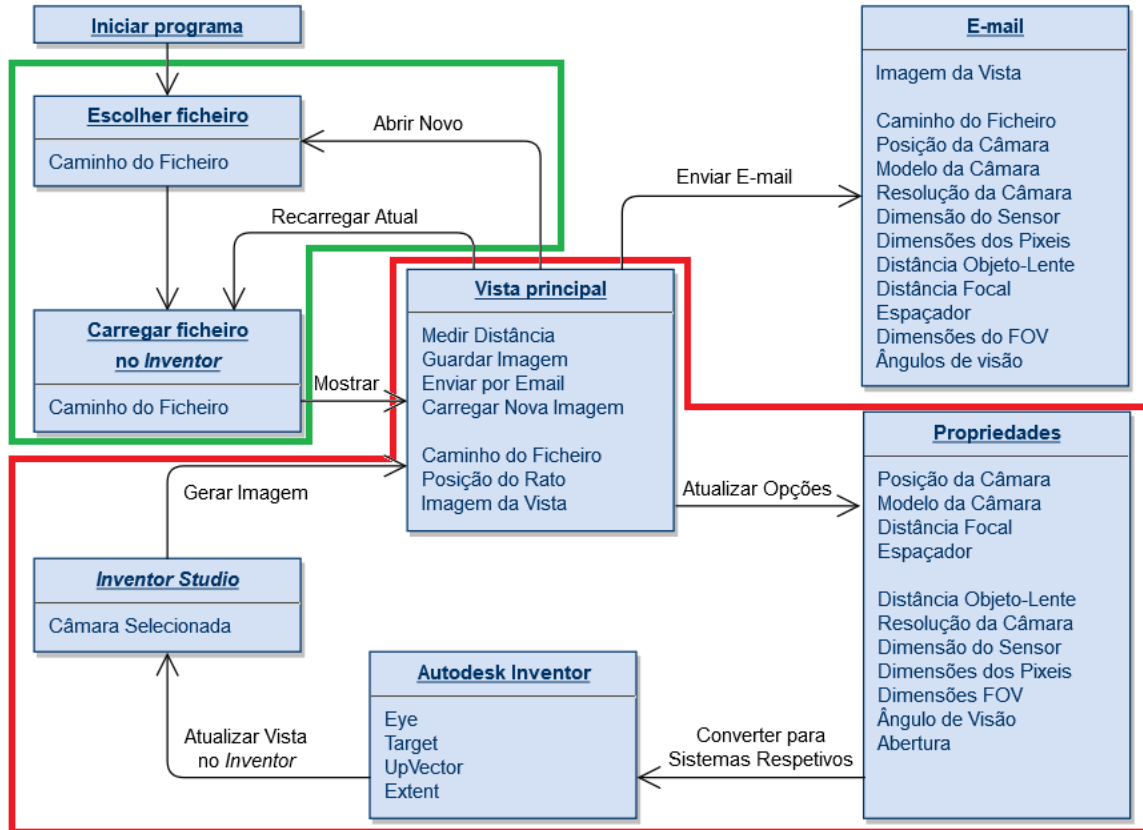


Figura 26 Diagrama de blocos do fluxo de informação do *Virtual ROI*

Para iniciar o programa o utilizador escolhe um novo ficheiro para abrir ou um que tenha sido aberto recentemente, desde que possua o modelo que deseja.

Quando o programa iniciar completamente, o menu com as opções é apresentado ao utilizador. Este menu é onde são selecionadas a posição da câmara, o modelo da câmara, a distância focal a utilizar e o espaçador. No momento em que o utilizador definir a distância focal ou o espaçador a utilizar, o *Virtual ROI* pede ao *Inventor* uma atualização da vista com os valores do campo de visão calculados com base nas opções escolhidas. Este ciclo principal permite navegar entre as diferentes posições de câmaras e testar para cada uma das diferentes combinações de câmara/lente/espaçador. Na Figura 26 encontra-se a vermelho o ciclo principal.



Todo o programa *Virtual ROI* foi criado com base no modelo MVC (mencionado no subcapítulo 2.12), utilizando a linguagem C# no ambiente de desenvolvimento integrado *Microsoft Visual Studio Enterprise 2015*. Para facilitar a atualização dos dados relativos aos modelos de câmaras utilizados, distâncias focais para as lentes e espaçadores existentes, estes foram estruturados e organizados em ficheiros XML que são acedidos pelo *Virtual ROI* para obter as listas a apresentar ao utilizador.

3.1 Câmaras *Cognex*

As câmaras consideradas no *Virtual ROI* são as que normalmente são utilizadas nos sistemas de visão da *Bosch*, sendo que o seu fornecedor é a *Cognex*, uma empresa que possui produtos de sistema de visão, *software*, sensores e leitores de códigos de barras industriais que são utilizados na automação de fábricas de manufatura.

Uma vez que os modelos das câmaras utilizadas vão sendo alterados ao longo do tempo (seja pelas suas características, substituição por produtos modernos, para colocar câmaras que não pertençam à *Cognex*, ou outras razões), existe a necessidade de permitir o fácil acesso aos modelos das câmaras e as suas especificações, para isso é utilizado um ficheiro XML com o nome de "*CamaraModels.xml*" que guarda as especificações de cada modelo de forma organizada e que permite a fácil adição e remoção de um ou mais modelos de câmaras que exista atualmente no ficheiro.

No ficheiro cada modelo possui as seguintes características e especificações:

- *Name*: nome do modelo;
- *SensorDiagonalInMM*: dimensão da diagonal do sensor, expresso em milímetros;
- *PixelWidthInMicroM*: largura de um pixel, expresso em micrómetros;
- *PixelHeightInMicroM*: altura de um pixel, expresso em micrómetros;
- *PixelResolutionWidth*: número máximo de pixéis existentes na largura do sensor, refere-se à resolução máxima, expresso em número de pixéis;
- *PixelResolutionHeight*: número máximo de pixéis existentes na altura do sensor, refere-se à resolução máxima, expresso em número de pixéis;



Atualmente o *Virtual ROI* possui trinta e nove modelos de câmaras que são utilizados na fábrica *Bosch* Braga. Este número poderá aumentar ou diminuir, consoante as mudanças ao catálogo de modelos utilizados pela empresa.

Durante os testes práticos será utilizada a câmara *Cognex In-Sight 1403* (as restantes câmaras que podiam ser usadas encontram-se no Anexo B – Lista de câmaras disponíveis no *Virtual ROI* –, sendo a 1403 a que estava disponível para se utilizar em testes) a preto e branco que possui um sensor com uma distância diagonal de 8,8 mm, com cada pixel a medir 4,4 x 4,4 μm e uma resolução máxima de 1600 x 1200 pixéis. Outras informações da câmara referem que está possui um sensor 1/1.8-inch CCD, 256 níveis de cinzento, grava a 14 imagens por segundo e possui suporte para *CS-mount* e *C-mount* (com adaptador).

3.2 Posição das câmaras

A posição de uma câmara pode ser definida no *Inventor* escolhendo a posição da câmara, o local para onde aponta e o ângulo de visão da lente.

Para criar uma câmara num documento aberto no *Inventor* é necessário ir ao menu “*Environments*” e entrar no *Inventor Studio* que vai abrir um novo menu chamado *Render* que por sua vez permite criar imagens 2D, animações e mesmo vídeos do documento atual.

No menu *Render* escolhendo a opção *Camera*, uma nova janela será aberta com várias opções para criar câmaras, como por exemplo, a localização da câmara e seu alvo (*Placement*), o tipo de projeção (*Projection*), o ângulo de rotação da câmara (*Roll Angle*), o *zoom* aplicado sob a forma de ângulo de visão, a profundidade do campo (*Depth of field*) e ainda é possível ligar a vista atual ao que a câmara vê ou mesmo o contrário (ligar a câmara à vista) com a opção *Link to View*.

Ao criar câmaras, as mesmas vão aparecer no explorador do *Inventor Studio* (Figura 27, esquerda) na pasta *Cameras*, onde por defeito vão ter nomes sequenciais (Camera1, Camera2, Camera3) que podem ser alterados para o que o utilizador desejar.

Uma vez tendo câmaras criadas no ficheiro, é possível abrir o mesmo no *Virtual ROI* e aceder às posições previamente definidas no *Autodesk Inventor* (Figura 27, direita).

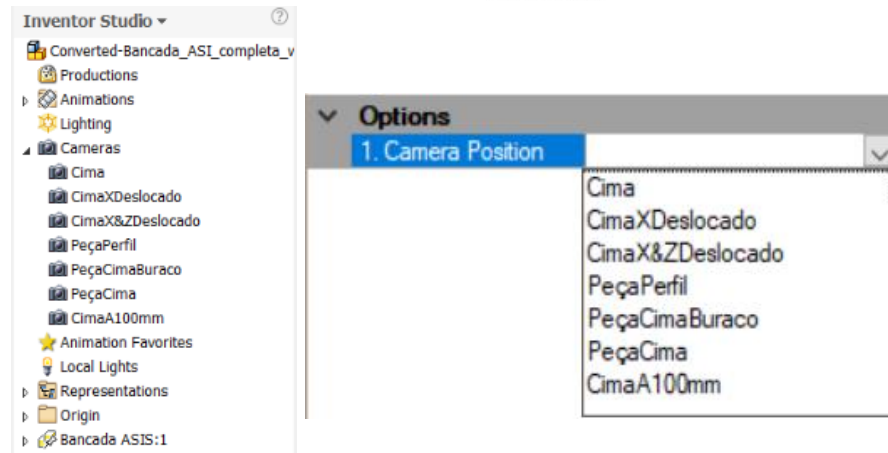


Figura 27 Comparação dos explorador das câmaras no Inventor Studio (esquerda) em relação à lista apresentada no Virtual ROI (direita)

3.3 Ligação entre o *Virtual ROI* e o *Autodesk Inventor*

O *Virtual ROI* permite abrir uma instância do *Inventor* sem que apareça a GUI do mesmo (Graphical User Interface – Interface gráfica do utilizador).

Com isto o utilizador não é capaz de alterar o ficheiro diretamente utilizado pelo *Virtual ROI*, mas pode alterá-lo no *Inventor* (alterar o modelo 3D, adicionar/remover câmaras e mesmo alterar as características das câmaras existentes) e recarregá-lo utilizando o botão “*Reload Document*” que fecha e recarrega o ficheiro em que o utilizador está a trabalhar.

Com esta característica não é necessário fechar o *Virtual ROI* para fazer alterações ao ficheiro, o que reduz o tempo que o programa demora a abrir um ficheiro em 25%, uma vez que em vez de demorar uma média de 30 segundos (tempo que demora a inicializar o *Virtual ROI* e a abrir o ficheiro) a abrir novamente o *Virtual ROI*, apenas necessita de cerca de 22 segundos (tempo que demora a fechar e voltar a abrir um ficheiro no *Virtual ROI*) para recarregar o ficheiro.

O mesmo se aplica para abrir novos ficheiros, utilizando o botão “*Open*” aparece um novo explorador que permite seleccionar qualquer ficheiro que o *Virtual ROI* consiga abrir e manipular.

3.4 Abrir ficheiros

Existem três momentos chave para abrir ficheiros no *Virtual ROI*, e são eles, iniciar o *Virtual ROI através de um ficheiro*, iniciar o programa sem nenhum ficheiro (duplo clique no programa) e posteriormente quando o programa já se encontra a correr.

Antes do programa iniciar, o utilizador possui a opção de iniciar o programa via botão direito do rato, como é possível observar na Figura 28

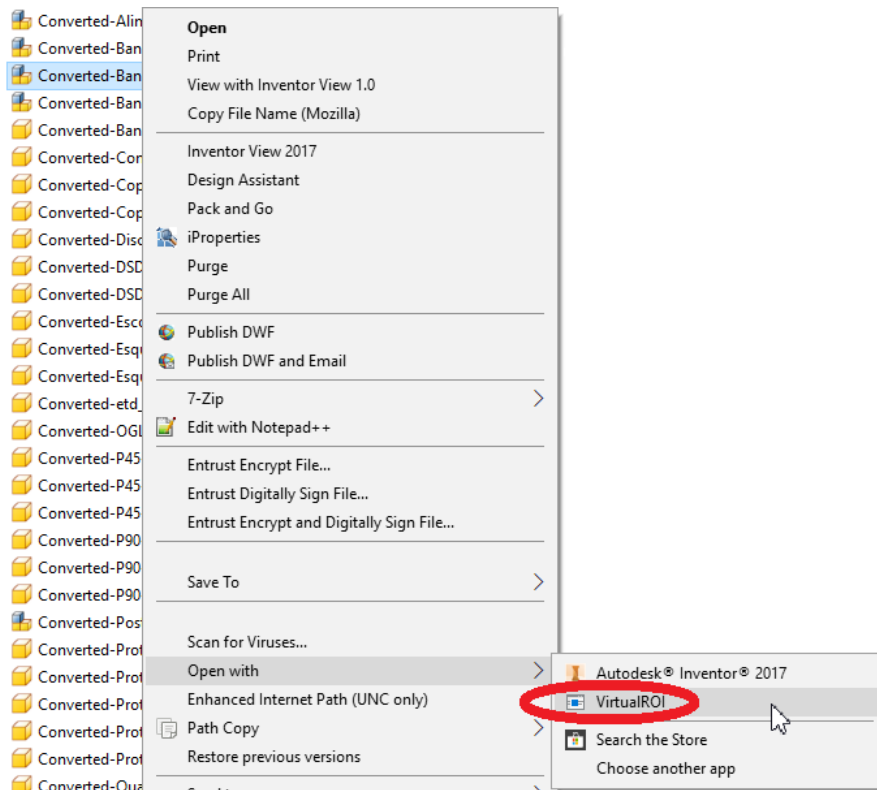


Figura 28 Abrir ficheiro ".iam" diretamente com o Virtual ROI

Caso o ficheiro não seja do tipo ".iam" (*Autodesk Inventor assembly file* – ficheiro de montagem do *Autodesk Inventor*), o mesmo não será aberto; o *Virtual ROI* será fechado para evitar o aparecimento de erros e por o utilizador é informado com uma mensagem igual à da Figura 29.

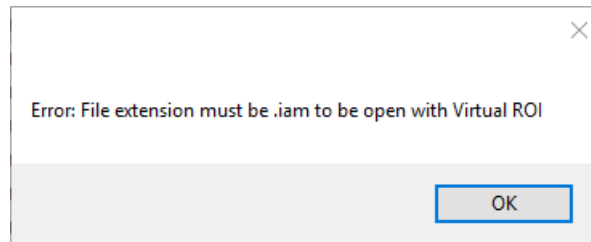


Figura 29 Mensagem de erro apresentada ao utilizador quando o Virtual ROI tenta abrir um ficheiro que não é do tipo ".iam"

Quando o programa inicia, uma janela aparece para dar a opção de seleccionar um ficheiro que foi aberto recentemente ou abrir um novo ficheiro (caminho definido através de um explorador de ficheiros que permite ao utilizador navegar até ao ficheiro que deseja). Na Figura 30 encontra-se o menu referido.



Figura 30 Menu inicial para utilizador escolher que ficheiro abrir

Quando um ficheiro é aberto, o local onde se encontra guardado é registado no Registry do Windows. O Registry armazena permanentemente (até que sejam eliminados pelo programa ou limpos diretamente) os 10 últimos ficheiros que foram abertos. Ao iniciar, o *Virtual ROI* carrega para a interface gráfica a lista com os ficheiros mais recentes, apresentando-os ao utilizador, como é possível observar na Figura 30 o ficheiro abaixo do título "Recent Files", com o nome de "Converted-Bancada_ASI_completa_with_camera.iam".

Quando o *Virtual ROI* já se encontra a funcionar em pleno, é possível abrir um novo ficheiro com no menu "File", como é possível ver na Figura 31. Ao ser seleccionada esta opção, será apresentado ao utilizador um explorador de ficheiro para que o utilizador possa navegar pelas pastas até ao ficheiro que deseja abrir.

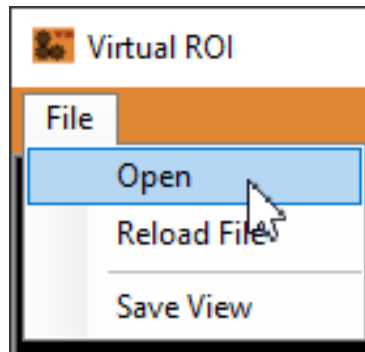


Figura 31 Abrir novo ficheiro através do menu "File"

Ao abrir o explorador de ficheiros, o *Virtual ROI* configura o filtro de forma a que o utilizador apenas consiga aceder a ficheiros “.iam”, isto é, ficheiros que correspondem a montagens (linhas de produção neste caso) e que o Autodesk Inventor consiga aceder.

3.5 Guardar a imagem obtida

O utilizador pode a qualquer momento guardar uma imagem da vista que se encontra representada no *Virtual ROI*.

Para isso o utilizador deve ir ao menu “File” e escolher a opção “Save View”, como é possível observar na Figura 32, do lado esquerdo (destacado com uma elipse vermelha). O programa guarda a imagem numa pasta chamada de “*Virtual ROI Files*” que se encontra dentro da pasta “*Documents*” do utilizado.

Para ser mais fácil de distinguir as imagens, o nome atribuído a cada uma delas é composto por (caso os campos estejam vazios, ignora-os):

- Nome do ficheiro que esta ser trabalhado;
- Nome da câmara utilizada;
- Modelo de câmara utilizado;
- Distância focal da lente utilizada.

Na Figura 32, à direita, encontra-se um exemplo de um ficheiro criado pelo *Virtual ROI*, com o nome dado em função da câmara escolhida (o modelo e a distância focal não foram definidos

neste teste e por isso apenas aparece “Camera=Cima”) e ainda é possível observar a pasta em que o ficheiro se encontra – “C:\Users\UTILIZADOR\Documents\Virtual ROI Files”.

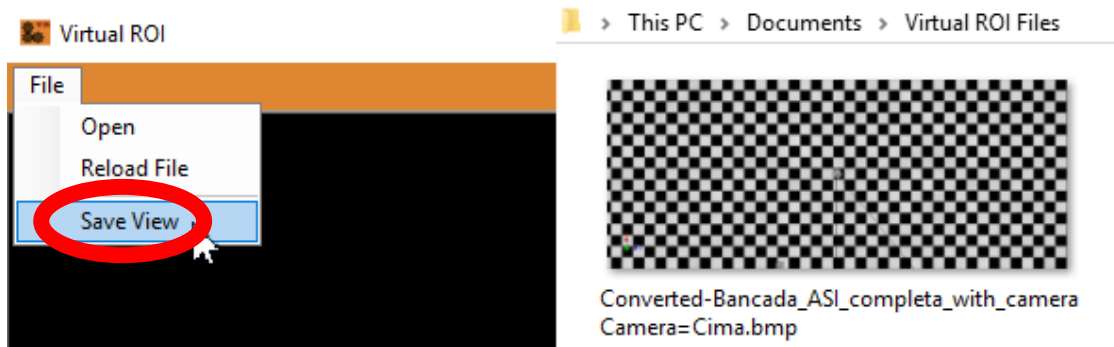


Figura 32 Menu apresentado para guardar uma vista (esquerda) e respetivo ficheiro criado com apenas a câmara selecionada (direita)

No caso em que exista uma imagem guardada já com o mesmo ficheiro e parâmetros, a nova imagem a guardar irá substituir a que já existia (uma vez que não deverá ser do interesse do utilizador guardar duas imagens que teoricamente são iguais).

3.6 Property Grid C#

Uma das ferramentas que o *Visual Studio* oferece para apresentar dados é o controlo *property grid* que permite mostrar os objetos públicos de uma classe.

Com este controlo é possível o utilizador manipular diretamente a vista apresentada, tendo como opções escolher entre diferentes:

- Posições de câmaras;
- Modelos de câmaras;
- Distâncias focais e espaçadores.

À medida que o utilizador combina diferentes opções entre as disponíveis, novas opções aparecem e o número de parâmetros calculados apresentados aumenta, permitindo ao utilizador acompanhar o que está a acontecer à imagem e quais as características da mesma.

A *property grid* permite configurar várias opções relativas a cada propriedade do objeto apresentado, como é o caso de:



- *Browsable(bool)* – permite escolher se a propriedade é apresentada na grelha ou se fica escondida;
- *ReadOnly(bool)* – permite escolher se a propriedade apenas pode ser apresentada ou se pode ser alterada pelo utilizador;
- *Category(string)* – permite agrupar as propriedades por categorias, desde que possuam o mesmo nome de categoria;
- *DisplayName(string)* – permite escolher o nome com que a propriedade é apresentada ao utilizador;
- *Description(string)* – permite descrever a propriedade ao utilizador;
- *TypeConverter(typeof(ConverterClass))* – permite apresentar a propriedade como um tipo e aceder a outro, isto é, pegar numa lista com vários itens e converter de forma a apresentar apenas o item escolhido.

Na Figura 33 são apresentadas algumas das opções referidas anteriormente, sendo que as duas que se encontram em falta dizem respeito aos casos em que se escondem propriedades do utilizador (*Browsable*) ou o caso de converter tipos para mostrar ao utilizador listas pré-selecionadas de opções (*TypeConverter*).

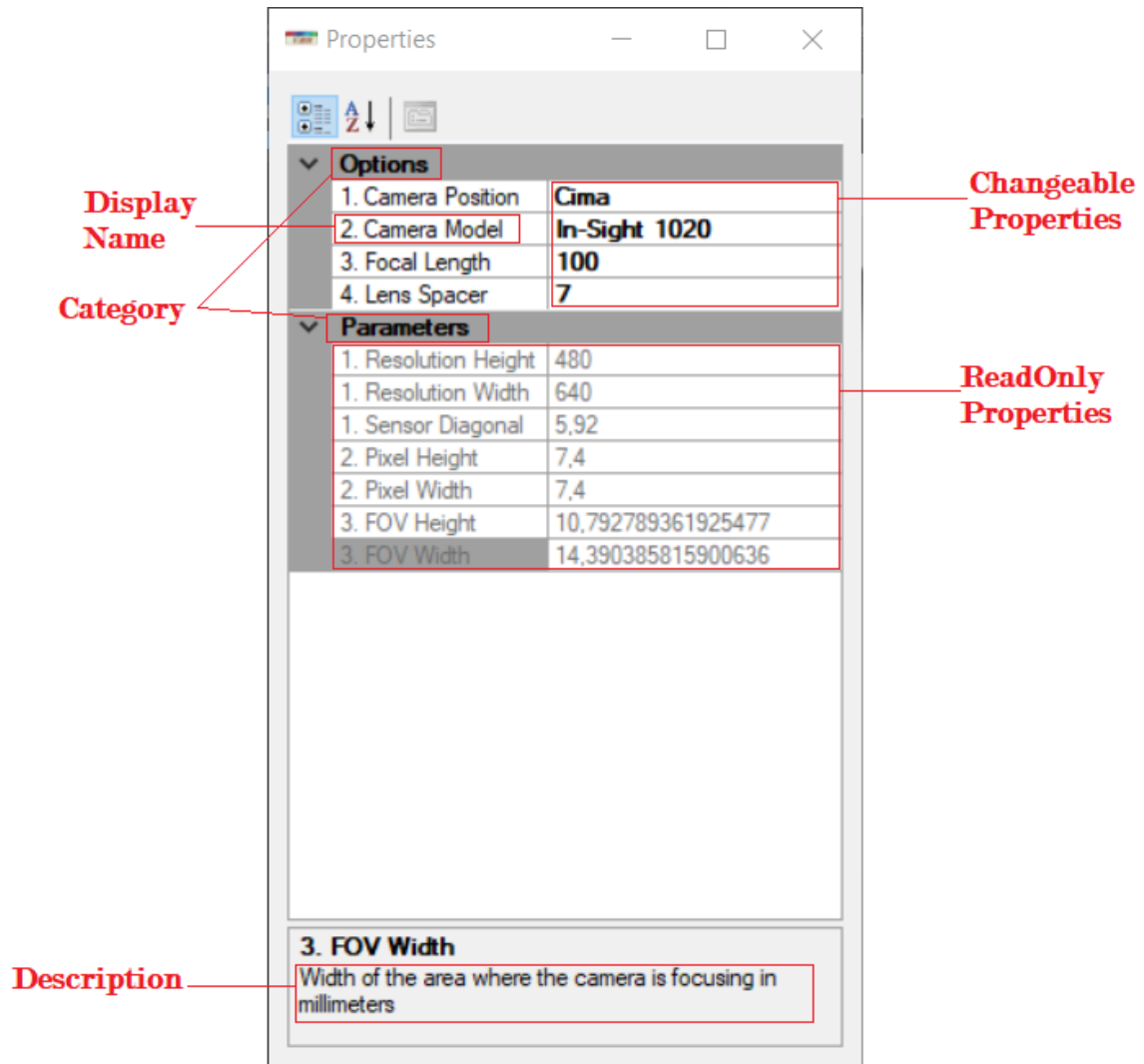


Figura 33 Propriedades utilizadas no Virtual ROI para controlar o menu de propriedades da aplicação e sua descrição

3.6.1 Opções

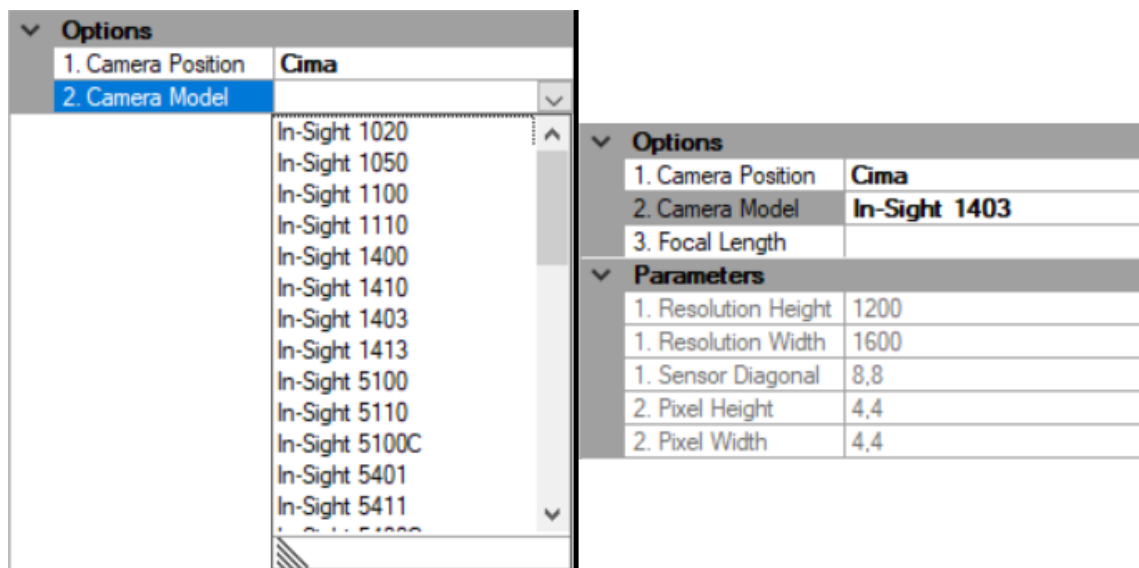
São as propriedades que fazem parte da *property grid* e que o utilizador pode alterar os valores de forma a controlar o *Virtual ROI* e chegar à simulação da imagem que pretende com os parâmetros/opções que pretende.

As opções permitem ao utilizador mudar a vista, passando por mudar a posição da câmara apresentada, o modelo da câmara que utiliza, a distância focal desejada e o espaçador se necessário, como é possível ver na Figura 34.

Options	
1. Camera Position	Cima
2. Camera Model	In-Sight 1020
3. Focal Length	4
4. Lens Spacer	6.5

Figura 34 Menu com as opções de controlo

Para cada opção é possível escolher um valor pré-definido (para que o utilizador não coloque valores de posições, modelos de câmaras ou lentes desconhecidos ao *Virtual ROI*) que ao ser alterado vai fazer aparecer o menu seguinte e os parâmetros que foram calculados para chegar aquela vista. Na Figura 35 é possível ver à esquerda as opções dos diferentes modelos das câmaras e à direita o novo menu e parâmetros que aparecem ao selecionar um modelo de câmara específico.



The image shows two parts of a software interface. On the left, a dropdown menu titled 'Options' is open, showing a list of camera models under '2. Camera Model'. The models listed are: In-Sight 1020, In-Sight 1050, In-Sight 1100, In-Sight 1110, In-Sight 1400, In-Sight 1410, In-Sight 1403, In-Sight 1413, In-Sight 5100, In-Sight 5110, In-Sight 5100C, In-Sight 5401, and In-Sight 5411. On the right, a table shows the updated 'Options' and 'Parameters' for the selected model, 'In-Sight 1403'.

Options	
1. Camera Position	Cima
2. Camera Model	In-Sight 1403
3. Focal Length	

Parameters	
1. Resolution Height	1200
1. Resolution Width	1600
1. Sensor Diagonal	8,8
2. Pixel Height	4,4
2. Pixel Width	4,4

Figura 35 Menu para escolha do modelo da câmara (esquerda) e respetivas opções e informações que ficam visíveis quando escolhido um modelo (direita)

3.6.2 Parâmetros

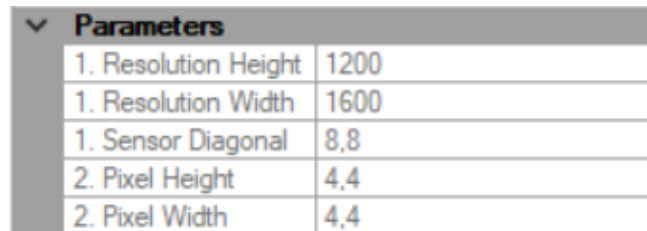
Os parâmetros são calculados à medida que o utilizador escolhe ou altera as opções e são apresentados como propriedades de leitura (o que quer dizer que o utilizador não as pode alterar).

Uma vista pode resultar de diferentes combinações de posições, modelos de câmaras, distâncias focais e outros. Então, existem duas principais formas de permitir ao utilizador manipular o *Virtual ROI*:

- Permitir que o utilizador escolha o campo de visão e o vetor de posição da câmara para se chegar à vista simulada e o *software* apresenta as diferentes combinações de câmara, lentes, entre outros, para o utilizador escolher a desejada;
- O utilizador define a câmara, a lente, a distância focal, entre outros e é apresentada a vista respetiva, não sendo possível, com as opções dadas dar origem a outra vista.

Utilizando a última, os parâmetros foram escolhidos de forma a que, com base nas opções escolhidas, apresentem uma única vista e não exista a possibilidade desse conjunto de opções dar origem a outra vista. Assim, o utilizador pode apenas considerar o material que tem no seu inventário e não se preocupa com outras vistas.

Na Figura 36 encontram-se alguns parâmetros e o aspeto que possuem ao serem apresentados ao utilizador como propriedades de leitura.



Parameters	
1. Resolution Height	1200
1. Resolution Width	1600
1. Sensor Diagonal	8,8
2. Pixel Height	4,4
2. Pixel Width	4,4

Figura 36 Propriedades de leitura que transmitem informação ao utilizador

3.7 Medição à distância $d0$

Uma outra característica oferecida pelo *software Virtual ROI* é a possibilidade de medir distâncias no plano onde a imagem se encontra focada (à distância $d0$).

Na Figura 37 é possível observar a medição feita a um componente de uma bancada e a distância a que a mesma se encontra das margens da imagem. Com estas medições é possível medir quanto um objeto mede na realidade se estiver completamente focado, qual a sua medida

no plano focado, calcular e definir áreas para posteriormente utilizar num *software* que recorra a essas imagens para fazer reconhecimento ou validações de componentes, entre outras.

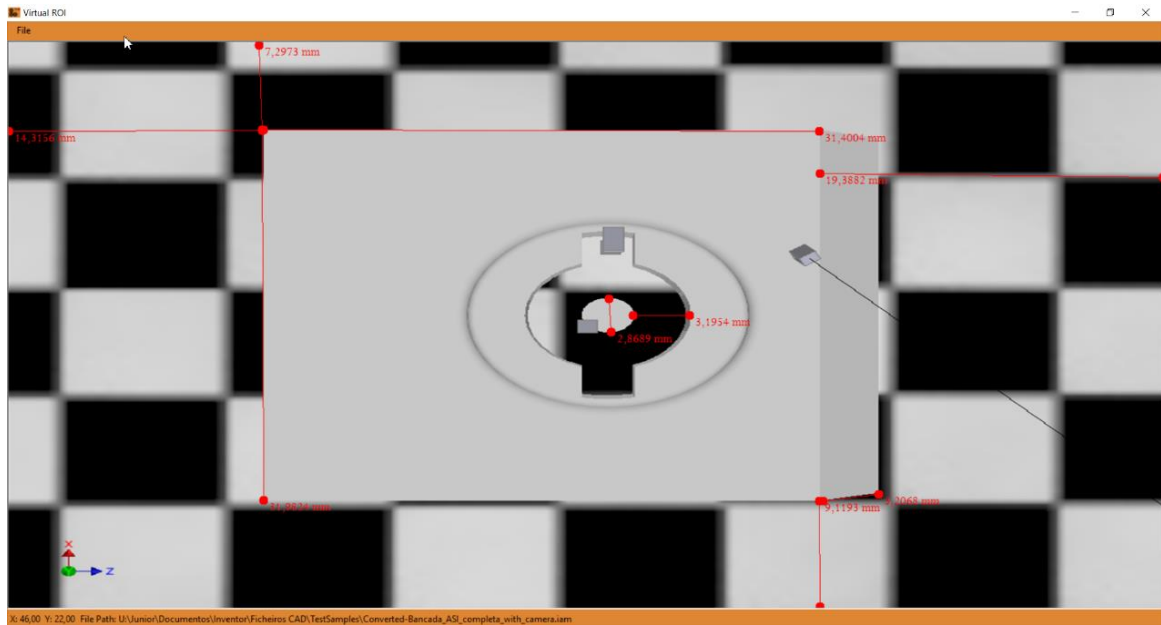


Figura 37 Medições efetuadas a um componente que podem ser utilizadas por sistemas de para validar os tamanhos das características

Quando as medições não são mais necessárias, o utilizador pode apagar as mesmas numa das opções que aparece quando é carregado no botão direito do rato.

3.8 Enviar dados por E-mail

Para simplificar o trabalho dos colaboradores foi ainda acrescentada uma funcionalidade que permite através do menu "File" do *Virtual ROI*, exportar a informação da vista apresentada (as opções que o utilizador definiu e os parâmetros que delas advêm) sobre a forma de um e-mail. Este e-mail inclui ainda como anexo uma imagem ".bmp" da vista apresentada.

Com esta opção os colaboradores podem facilmente partilhar as vistas das linhas de forma a discutir se as mesmas possuem a qualidade, região, resolução, entre outros, necessária para posteriormente ser analisada e validada por um *software* de visão por computador.

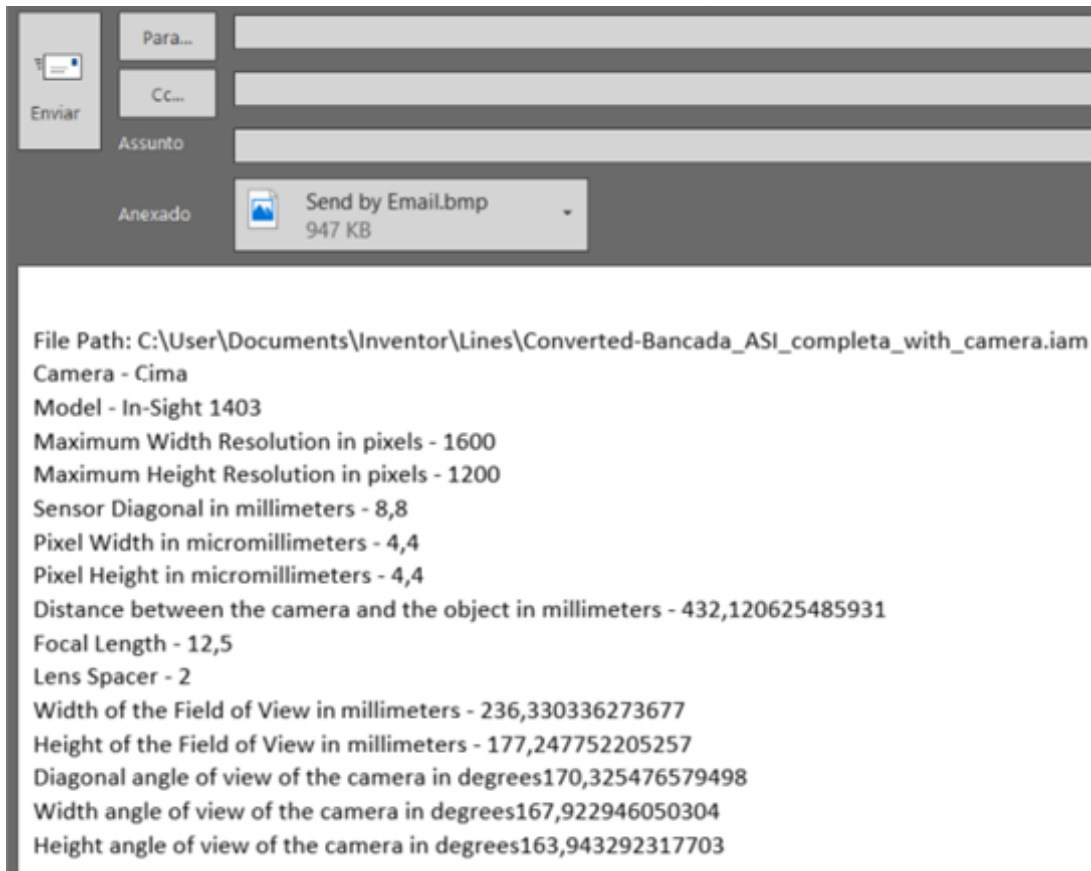


Figura 38 E-mail padrão criado pelo Virtual ROI com a vista em anexo e as informações no conteúdo

3.9 Movimentar as câmaras e possíveis soluções

As soluções apresentadas neste subcapítulo foram investigadas e idealizadas com base nos problemas de mover as câmaras no *Autodesk Inventor* e para permitir ao utilizador uma maior liberdade. Devido à baixa utilização e pouco impacto que viriam a ter no *Virtual ROI* as mesmas foram deixadas de parte e não foram implementadas na versão final do *software*. Apesar de não implementadas, o trabalho de investigação foi realizado e algumas delas chegaram mesmo a ser implementadas para testes.

3.9.1 Breve explicação dos componentes da API do *Autodesk Inventor*

Com o *Virtual ROI* o utilizador é capaz de manipular a vista que obtém a partir de uma posição pré-definida no *Autodesk Inventor* alterando vários parâmetros como o modelo da câmara, a sua distância focal, entre outros.

Mas a direção em que a câmara aponta poderá não agradar ao utilizador, pelo que para mudar a mesma poderia existir um menu que permitisse alterar essa direção.

A API do *Autodesk Inventor* possui dois pontos e um vetor que permitem manipular a vista do utilizador, sendo eles o ponto *Target*, o ponto *Eye* e o vetor unitário *UpVector*. Na Figura 39 encontram-se representados os pontos *Eye*, *Target* e ainda a rotação manipulada pelo *UpVector*.

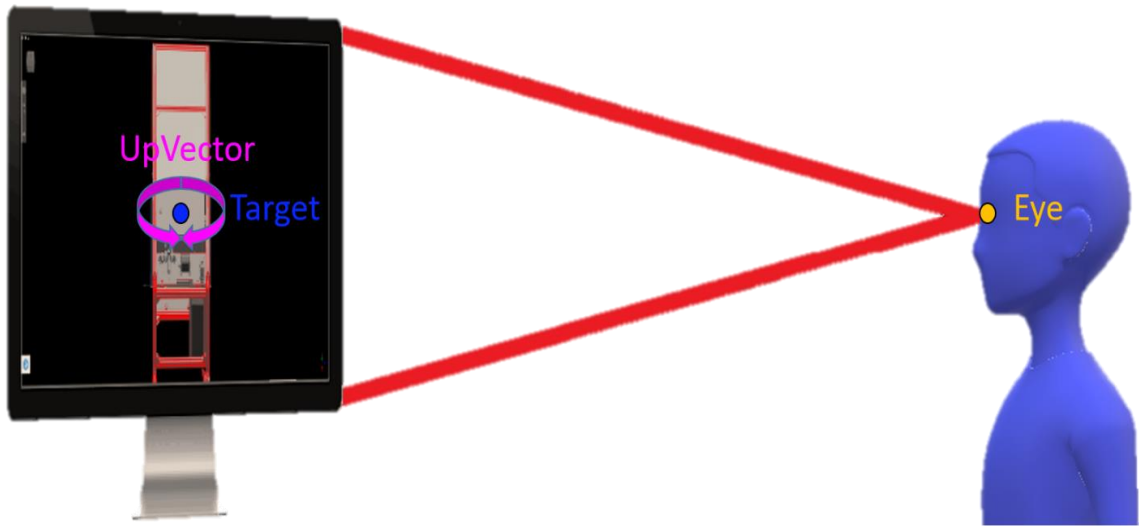


Figura 39 Pontos Eye e Target e ainda o vetor unitário UpVector representados numa situação em que o utilizador utiliza um computador

O ponto *Target* diz respeito ao ponto para onde a câmara esta a apontar, sendo este o ponto que se encontra no centro do ecrã. O ponto pode, por exemplo, estar sobre a superfície de uma bancada e nesse caso, a câmara apontará para esse mesmo ponto no espaço 3D.

O ponto *Eye* é o local onde a câmara se encontra, é de onde a vista é projetada. No caso do exemplo da bancada, se o ponto *Eye* ficar por baixo da mesma, então a vista mostrará a parte debaixo da superfície da bancada. Caso o ponto *Eye* fique por cima da bancada, então a vista mostrará a parte de cima da superfície da bancada.

O vetor formado pelo ponto *Eye* e o ponto *Target* é a direção em que a câmara aponta e a rotação dessa vista é controlada pelo *UpVector* que, dependendo do seu valor, permite, no caso da bancada, que a mesma se encontre direita (parte de baixo para o chão), inclinada ou mesmo “de pernas para o ar”.



Com a propriedade *extent* é possível definir qual a altura e largura capturadas no plano perpendicular ao vetor entre *Eye* e *Target*, com o ponto *Target* no centro deste. As medidas deste campo são passadas e recebidas em centímetros, pelo que, como o *Virtual ROI* utiliza todos os valores em milímetros, é necessária uma divisão ou multiplicação quando é necessário obter ou definir o *extent*, respetivamente. Assim, é possível manipular a vista do utilizador para que seja apresentada a imagem simulada com o mesmo campo de visão que teria uma real, isto é, alterar o *zoom* da imagem.

3.9.2 Rotação da imagem com duas coordenadas

Um dos problemas passa pela rotação da vista, uma vez que o utilizador pode querer rodar a vista em 180º (virar ao contrário) ou então fazer um acerto de apenas 3º para alinhar a vista com o ecrã.

Para isso é necessário manipular o vetor *UpVector*, mas tal não é possível sem primeiro entender de que maneira é que ele manipula a rotação. Para descobrir como é que o *UpVector* manipulava a rotação foram feitos vários testes recorrendo a parâmetros e condições que, partindo da mesma posição, podiam ser repetidos de forma a obter os mesmos resultados, permitindo um alto índice de repetibilidade para observar as alterações que ocorriam à rotação da vista.

Recorrendo a uma posição de câmara pré-definida no *Autodesk Inventor*, manteve-se os mesmos valores dos pontos *Target* e *Eye* e apenas se alteraram os valores do vetor *UpVector*.

Na Figura 40 o ponto *Target* encontra-se na superfície superior da bancada e o ponto *Eye* por cima dele, o que permite obter uma imagem de cima da bancada.

As conclusões obtidas foram que como o eixo *Y* aponta para cima (devido à forma como o modelo 3D da bancada foi feito), isto é, é paralelo ao vetor formado do ponto *Target* para o ponto *Eye*, ao alterar as coordenadas desse eixo não se observam alterações significativas.

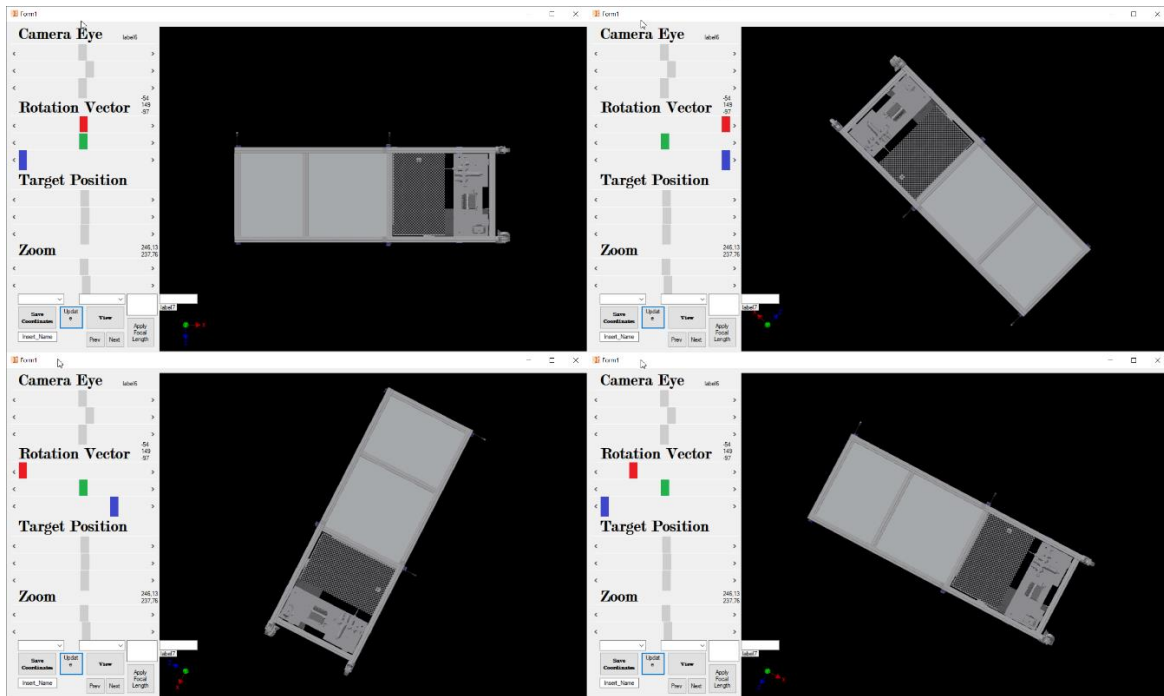


Figura 40 Testes de modificação do vetor *UpVector* para rodar a vista apresentada

Já quando se movem o eixo *X* ou o eixo *Z* é possível observar uma rotação significativa. Uma alteração a um dos eixos (*X* ou *Z*) de menos um (-1) para um positivo (+1) equivale a uma rotação de 90°.

Na Figura 40 é possível constatar esse mesmo facto, sendo que para melhor observar as mudanças de valores, os comandos *X*, *Y* e *Z* que sofreram alterações foram realçados com as cores vermelho, verde e azul, respetivamente para os valores de *X*, *Y* e *Z* do vetor unitário *UpVector*.

A primeira solução idealizada para rodar a vista passou por apenas mover dois eixos dos três existentes. Para que tal funcionasse seria necessário ignorar o eixo que menos rotação viria a produzir consoante a vista em causa.

Utilizando o caso anterior como exemplo, estando o eixo *Y* virado na direção da câmara como é possível ver a imagem esquerda da Figura 41, então o *Eye* deverá corresponder ao ponto amarelo e o *Target* ao ponto Azul da mesma figura, mas do lado direito. O tracejado a vermelho corresponde ao vetor que existe entre os dois pontos.

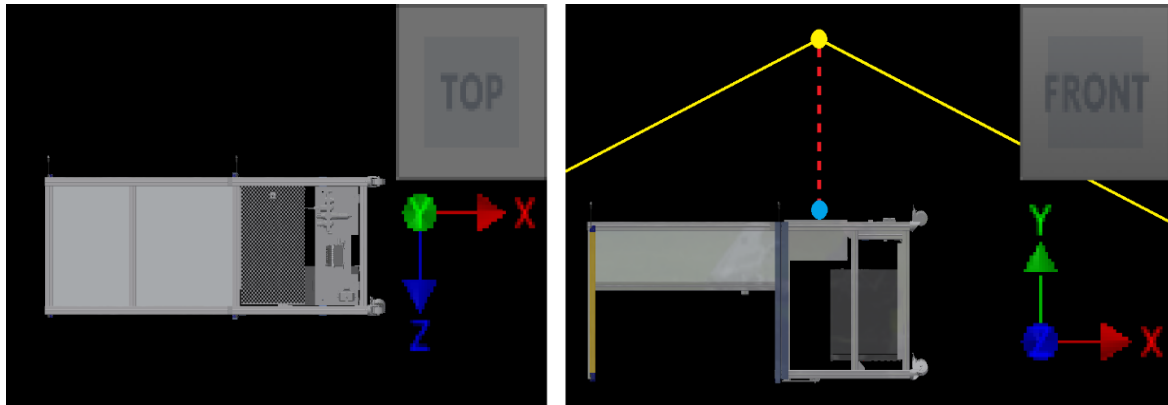


Figura 41 Representação da vista da câmara (esquerda) e a amarelo o local e campo de visão da câmara utilizada (direita)

Neste caso como foi visto anteriormente, é necessário alterar as coordenadas dos eixos X e Z para obter uma rotação.

Se for calculado o vetor entre os pontos Eye e $Target$, será obtido um vetor definido como na equação (6).

$$Vector_{EyeTarget} = (X_{Target} - X_{Eye}, \quad Y_{Target} - Y_{Eye}, \quad Z_{Target} - Z_{Eye}) \quad (6)$$

Onde:

- $Vector_{EyeTarget}$ – Vetor formado entre os pontos Eye e $Target$ e com a direção de Eye para $Target$;
- X_{Target} – Coordenada cartesiana X do ponto $Target$;
- X_{Eye} – Coordenada cartesiana X do ponto Eye ;
- Y_{Target} – Coordenada cartesiana Y do ponto $Target$;
- Y_{Eye} – Coordenada cartesiana Y do ponto Eye ;
- Z_{Target} – Coordenada cartesiana Z do ponto $Target$;
- Z_{Eye} – Coordenada cartesiana Z do ponto Eye .

Como o ponto Eye se encontra imediatamente acima do ponto $Target$, então tem-se que:



$$X_{Target} = X_{Eye} \quad (7)$$

Logo chega-se à equação

$$X_{Target} - X_{Eye} = 0 \quad (8)$$

E ainda é possível partir da equação (9).

$$Z_{Target} = Z_{Eye} \quad (9)$$

E chegar à equação (10).

$$Z_{Target} - Z_{Eye} = 0 \quad (10)$$

Pelo que se tendo em consideração as equações anteriores e aplicando-as à equação (6), é possível obter a equação (11).

$$Vector_{EyeTarget} = (0, \quad Y_{Target} - Y_{Eye}, \quad 0) \quad (11)$$

O eixo que obtiver maior deslocação é aquele que menos afeta a rotação, sendo neste caso o eixo Y . Calculando para cada caso específico o $Vector_{EyeTarget}$ encontram-se os dois eixos que devem ser movidos para se alcançar a máxima rotação para cada determinada vista, utilizando este método.

Uma rotação de 90° (alterando o valor de um eixo que permite a rotação de menos um para um positivo) apenas era possível para as vistas em que o deslocamento de duas das coordenadas do $Vector_{EyeTarget}$ fosse zero. Caso contrário, para rodar a vista exatamente em 90° , seria preciso fazer uso dos três eixos.

Na Figura 42 é possível observar a sobreposição de duas bancadas (as duas apenas divergem no valor do X do $UpVector$, a de trás corresponde ao valor menos um (-1) e a outra ao valor de um positivo (+1)) vistas com base na equação (12).



$$Vector_{EyeTarget} = (X', Y', Z'); X' \neq 0; Y' \neq 0; Z' \neq 0. \quad (12)$$

Onde:

- X' – Coordenada cartesiana X do vetor $Vector_{EyeTarget}$;
- Y' – Coordenada cartesiana Y do vetor $Vector_{EyeTarget}$;
- Z' – Coordenada cartesiana Z do vetor $Vector_{EyeTarget}$;

E de seguida procede-se à alteração da equação (13) para a equação (14).

$$UpVector = (-1, Y, Z) \quad (13)$$

$$UpVector = (1, Y, Z) \quad (14)$$

Onde:

- $UpVector$ é o vetor unitário que guarda a rotação da vista apresentada ao utilizador.

Como referido anteriormente, a alteração igual em módulo ao valor de X não corresponde a uma alteração certa de 90° (Figura 42).

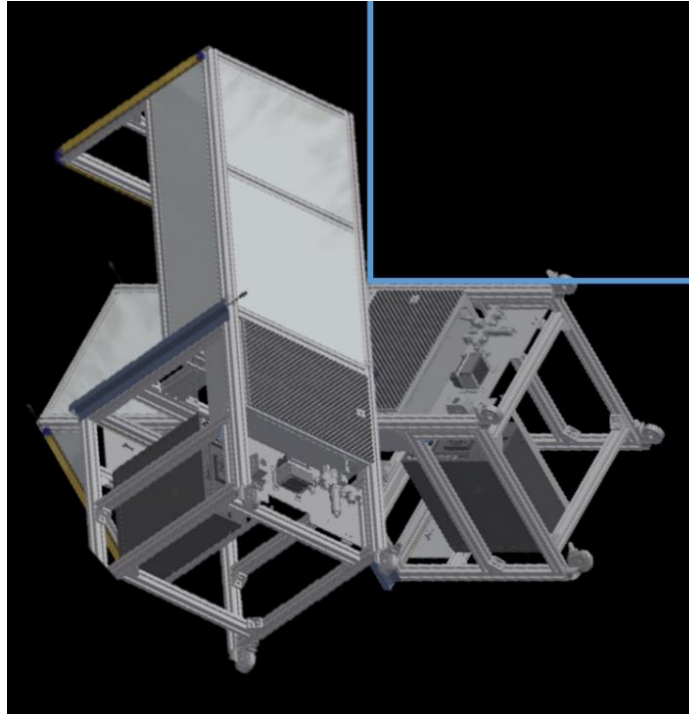


Figura 42 Rotação de uma bancada alterando o valor da coordenada X do vetor unitário $UpVector$ de -1 para +1

Nas condições anteriores, se duas das coordenadas forem nulas (coordenadas X' , Y' e Z' do $Vector_{EyeTarget}$), uma rotação de noventa graus é facilmente alcançada.

Mas em casos onde os valores X' , Y' e Z' são diferentes de zero (Figura 42) já foi possível observar que tal não se verifica, pelo que seria necessário um caso específico que escolhesse duas das coordenadas, por exemplo, o eixo X e Y , e à medida que o utilizador fosse alterando esses valores, o *software* teria que corrigir o valor do eixo Z para que no final a rotação corresponde-se ao desejado.

Um outro caso é aquele em que dois dos eixos se encontram à mesma distância e um outro mais afastado, como por exemplo, a Figura 43, em que a coordenada Z' é equivalente a zero e a coordenada X' é igual à coordenada Y' . Neste caso tem-se:

$$Vector_{EyeTarget} = (X', Y', 0) \quad (15)$$

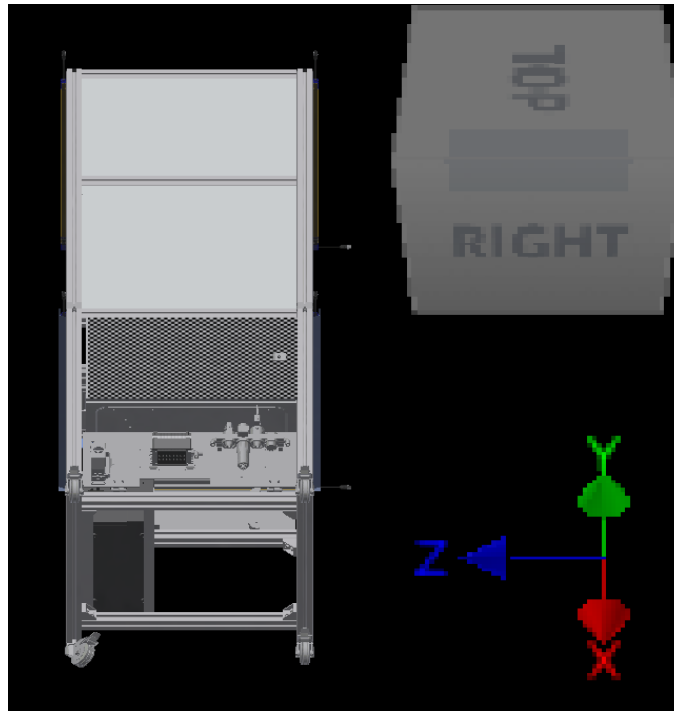


Figura 43 Vista com dois eixos equidistantes e um outro mais afastado

Pelo que seria necessário escolher uma das outras duas coordenadas (X ou Y) do $UpVector$ para alterar e o *software* mais uma vez teria que se compensar os movimentos do utilizador para os ângulos corresponderem aos desejados.

3.9.3 Rotação da imagem com solução esférica

Como a solução anterior apenas funciona quando duas das coordenadas do $Vector_{EyeTarget}$ são equivalentes a zero, então o ideal seria realizar sempre a rotação nessas condições, mas para isso é necessário calcular um referencial e um plano auxiliar que permitem essa rotação.

A solução apresentada de seguida permite alterar o vetor unitário $UpVector$, que possui três coordenadas, de forma a convertê-lo para um vetor com apenas duas coordenadas (tendo como referência o ponto Eye).

Sobre este vetor de duas coordenadas é facilmente aplicado qualquer ângulo que o utilizador deseje e posteriormente reconvertido novamente para um vetor de três coordenadas que vêm substituir o $UpVector$.

Para rodar a vista é preciso primeiro criar um referencial auxiliar que corresponde à rotação do referencial definido no ponto *Eye*, estando o eixo Z a apontar na mesma direção que o vetor definido do ponto *Target* para o ponto *Eye*. Na Figura 44 (1) encontra-se definido o novo referencial e os pontos necessários para o definir.

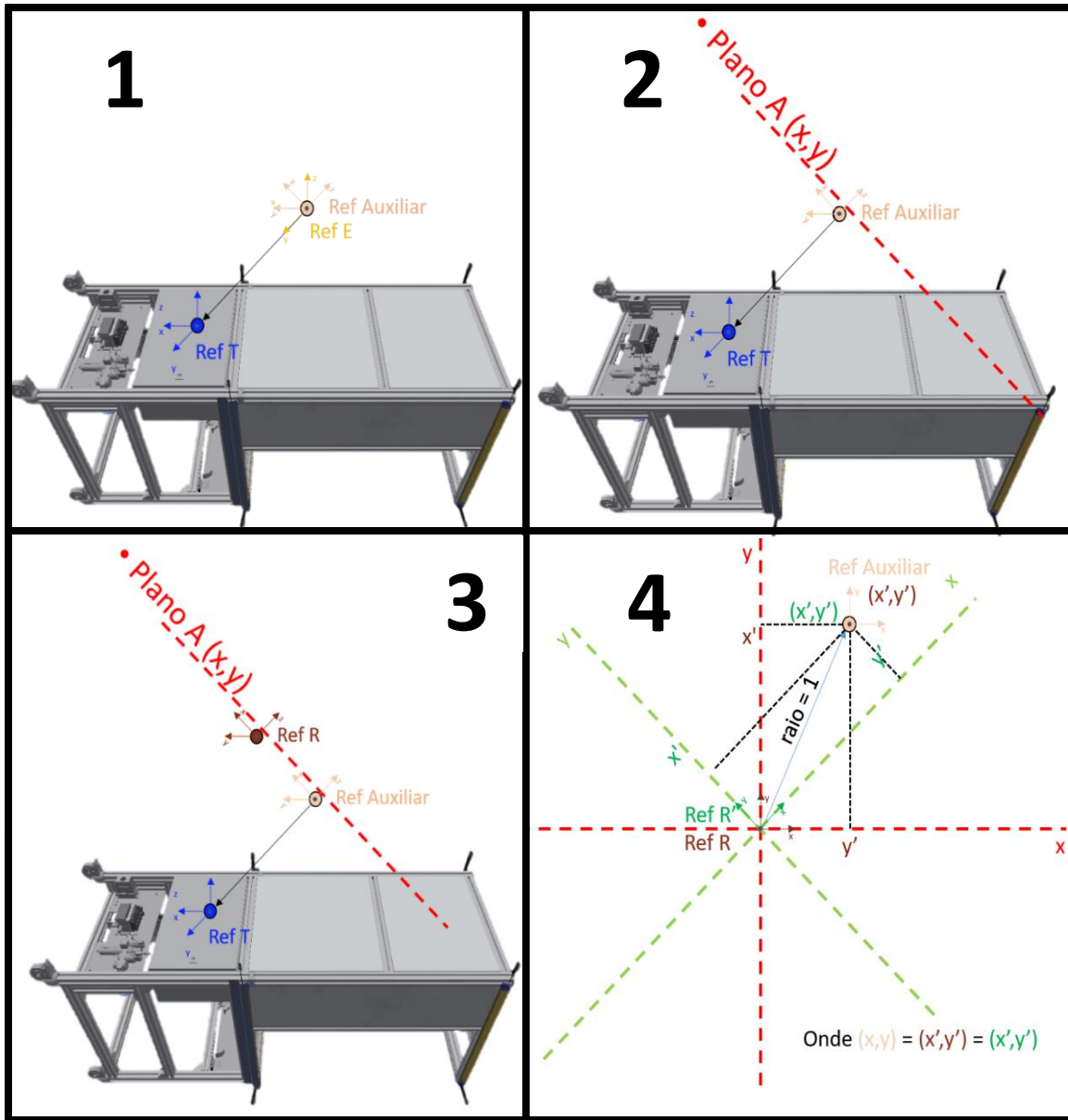


Figura 44 Diferentes fases para calcular os novos valor do vetor *UpVector*, consoante o ângulo que o utilizador deseja girar



De seguida é necessário obter o plano definido pelos eixos X e Y do referencial auxiliar calculado anteriormente, cujo nome será de plano A . O plano é perpendicular ao vetor formado pelos pontos Eye e $Target$, no ponto Eye . Na Figura 44 (2) encontra-se definido o plano A .

Aplicando o vetor unitário $UpVector$ ao ponto Eye (usando como referência o referencial $T - Target$), será obtido um novo ponto que se encontra no plano A definido anteriormente. Este novo ponto define o centro do referencial R que têm os seus eixos a apontar na mesma direção que os do plano A . Na Figura 44 (3) encontra-se definido o referencial R e os seus eixos em relação aos valores anteriores.

A partir daqui é necessário aplicar o ângulo que se deseja rodar ao referencial R de forma a obter o referencial R' . Com esta rotação, as coordenadas do ponto Eye no referencial R (correspondia ao vetor $UpVector$ com base no referencial $Target$) irão mudar de x e y (no referencial R) para x' e y' que corresponde ao referencial R' como perceptível na Figura 44 (4).

O vetor com o valor x', y' é então convertido para um vetor unitário correspondente ao referencial $Target$ que irá corresponder ao novo valor do vetor $UpVector$.

De notar que o que acontece é que o ponto Eye roda sobre uma circunferência com centro no referencial R e com raio um.

3.9.4 Girar câmara sem mover *target*

Outro problema que existe é a vista da câmara não corresponder às expectativas do utilizador, isto pois, a câmara pode não estar no melhor local. Vários motivos podem contribuir para o local da câmara não ser o ideal, como por exemplo:

- Ter outros objetos que bloqueiam total ou parcialmente a vista do *Target*;
- Não ser possível observar uma característica específica do *Target*;
- Não ser possível colocar uma câmara nesse mesmo ponto;
- Entre outros.

Para resolver esta questão, várias soluções foram exploradas, desde de uma simples mudança de coordenadas do ponto *Eye* até complexos cálculos que permitem o ponto *Eye* girar à volta do *Target*.

Aqui serão apresentadas essas soluções e os respetivos problemas que cada uma apresentava.

3.9.5 O desejado

A principal ideia passa por movimentar livremente o ponto *Eye*, que corresponde à posição onde ficaria a câmara e a mesma ficar sempre a apontar para o ponto *Target*, sem que o mesmo fosse perdido de vista.

A Figura 45 representa a ideia anterior, onde o ponto *Eye* (amarelo) é movimentando segundo a seta verde para a sua nova posição. À medida que a posição da câmara se desloca, o *software* deve alterar a direção para a qual a câmara aponta, mantendo assim o ponto *Target* na mesma posição e centrado na vista do utilizador.

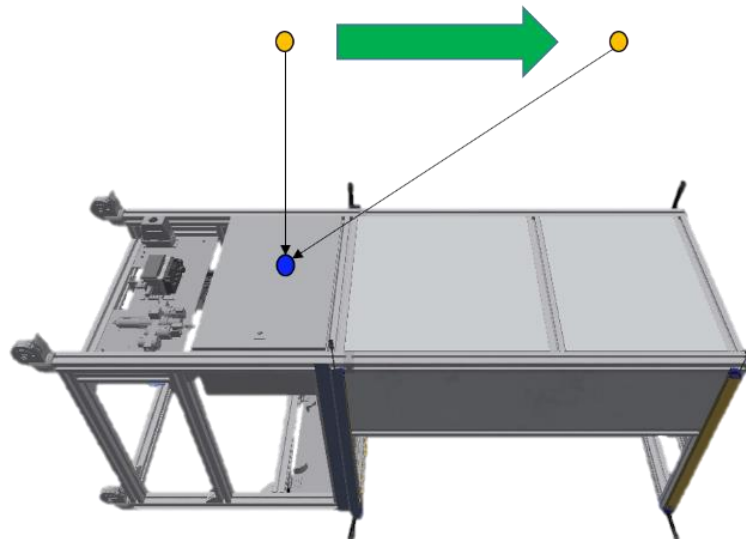


Figura 45 Mover o ponto *Eye* de forma a colocar a câmara noutra posição, mas sempre a apontar para o ponto *Target*

3.9.6 Solução de mover apenas o *Eye*

A primeira solução considerada foi simplesmente mover o ponto *Eye*, considerando que o *Autodesk Inventor* manteria a posição do ponto *Target*. Tal permitiria o movimento desejado

aliado à simplicidade de apenas mover um dos pontos. Mas o *Autodesk Inventor* não funciona da forma apresentada, antes pelo contrário.

Na Figura 46 é exemplificado aquilo que acontece ao mover apenas o ponto *Eye*. Um vetor (seta verde) aplicado ao ponto *Eye* move o mesmo na direção desejada, mas ao mesmo tempo, esse mesmo vetor é aplicado também ao ponto *Target* (seta vermelha), fazendo com que ambos os pontos se desloquem simultaneamente.

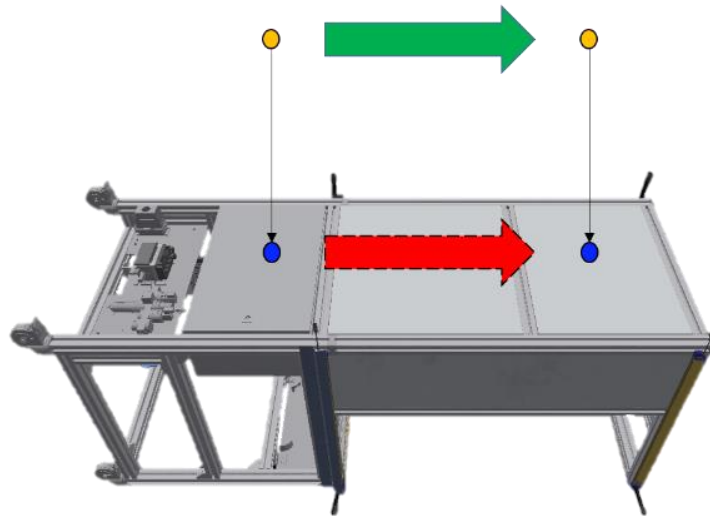


Figura 46 Exemplo de mover apenas o ponto *Eye* que leva ao deslocamento do ponto *Target*

Para ultrapassar este inconveniente foi considerada uma nova solução que move simultaneamente ambos os pontos.

3.9.7 Solução de mover o *Eye* e reverter o *Target* à posição desejada

Esta solução passa por guardar a posição do ponto *Target*, mover o ponto *Eye* e em simultâneo reverter o ponto *Target* à sua posição inicial.

Esta solução comporta-se melhor que a primeira uma vez que move o ponto *Eye* para a posição desejada, mantém a vista centrada no ponto *Target* e mantém o *zoom* da imagem, mas não reverte o ponto *Target* para a sua posição inicial.

O que acontece é que o ponto *Target* é movido para uma nova posição que permite manter o *zoom* e a posição do ponto *Eye*. Isto garante que a distância entre os pontos se mantém igual,

mas consequentemente move o ponto *Target* para uma posição entre a sua posição inicial e o ponto *Eye*.

Na Figura 47 encontra-se representada esta solução, onde, mais uma vez, a seta verde corresponde ao vetor aplicado, a circunferência verde representa a reposição do ponto *Target* na sua posição inicial e a seta vermelha corresponde ao movimento indesejado do ponto *Target*.

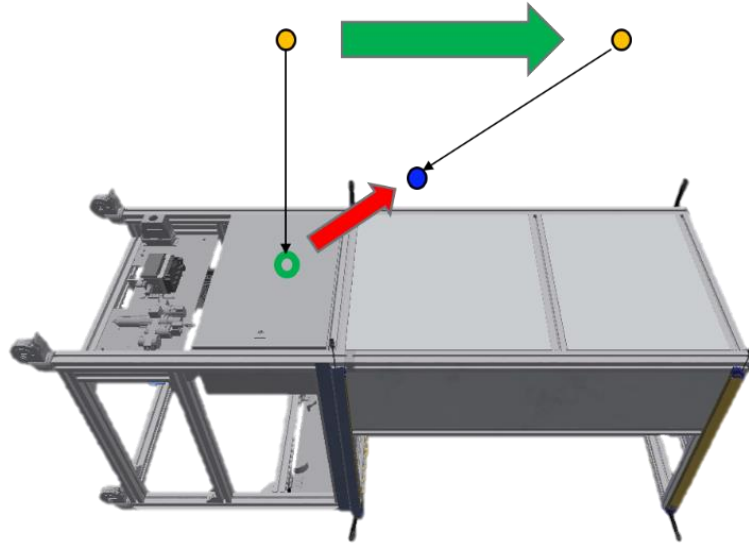


Figura 47 Exemplo de mover o ponto *Eye* e posteriormente voltar a colocar os valores iniciais no ponto *Target*

3.9.8 Solução da circunferência

Uma última abordagem idealizada passa por considerar o ponto *Target* o centro de uma esfera e o ponto *Eye* um ponto móvel à superfície da mesma. Neste caso o ponto *Eye* poderá ser movido pela superfície da esfera de modo a alterar as suas coordenadas e a posição do ponto *Target* e a distância entre eles mantêm-se as mesmas, como é possível na Figura 48.

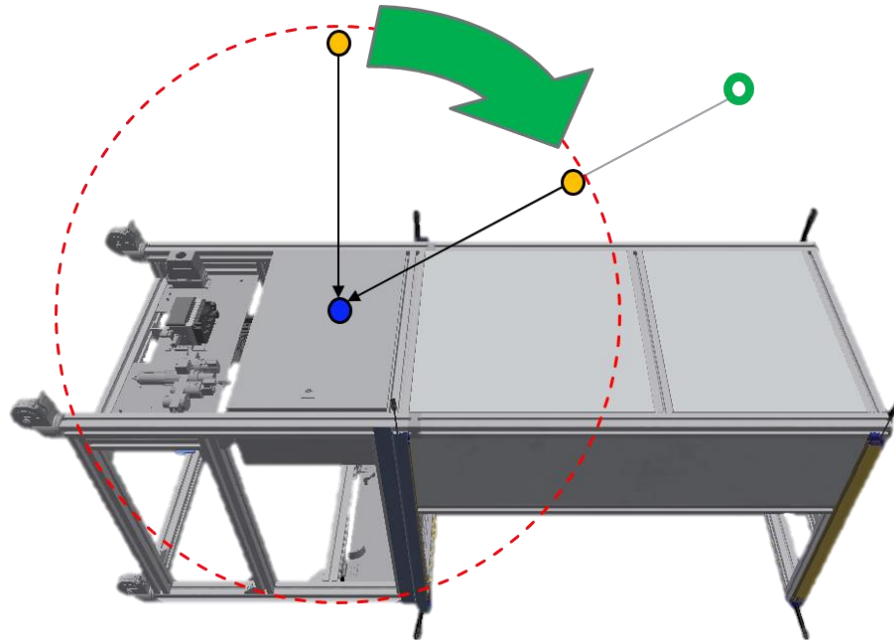


Figura 48 Exemplo de mover o ponto Eye ao longo da superfície de uma esfera com centro no ponto Target

Introduz-se agora as equações (16), (17) e (18), que são fórmulas para obter coordenadas x , y ou z numa superfície esférica onde o centro é o ponto $(0, 0, 0)$, o raio (ρ) é a distância entre os pontos *Target* e *Eye*:

$$x = \rho * \sin \varphi * \cos \theta \quad (16)$$

$$y = \rho * \sin \varphi * \sin \theta \quad (17)$$

$$z = \rho * \cos \varphi \quad (18)$$

Onde (na Figura 49 encontra-se a sua disposição numa esfera):

- x, y e z – São as coordenadas cartesianas do ponto à superfície da esfera (ponto Eye se for considerado o ponto Target como centro);
- ρ – ($r\hat{o}$) é o raio da esfera;
- φ – (fi) é o ângulo formado no eixo Z;
- θ – (teta) é o ângulo formado no eixo X.

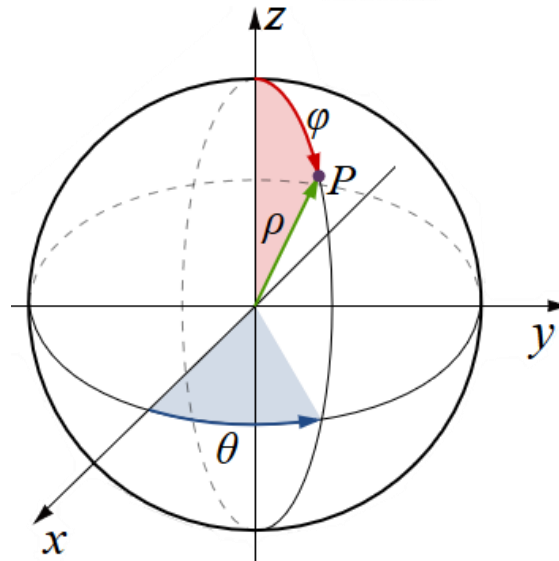


Figura 49 Sistema esférico (ρ, ϕ, θ) em relação ao sistema cartesiano (x, y, z) (Spherical Coordinates (Latitude, Longitude) - Sistema de coordenadas, 2008)

Se as equações anteriores forem reorganizadas e for calculada a distância entre os pontos *Target* e *Eye*, então é possível obter o valor das variáveis no seu momento inicial, a partir das coordenadas cartesianas x , y e z . Obtém-se então as equações (19), (20) e (21).

$$\rho = \sqrt{(Target.x - Eye.x)^2 + (Target.y - Eye.y)^2 + (Target.z - Eye.z)^2} \quad (19)$$

$$\phi = \cos^{-1}\left(\frac{Target.z - Eye.z}{\rho}\right) \quad (20)$$

$$\theta = \sin^{-1}\left(\frac{Target.y - Eye.y}{\rho * \sin \phi}\right) = \cos^{-1}\left(\frac{Target.x - Eye.x}{\rho * \sin \phi}\right) \quad (21)$$

Com estes valores é então possível o utilizador manipular os ângulos ϕ e θ de forma a mover o ponto *Eye* à volta do ponto *Target*.

Para obter as coordenadas da nova posição escolhida para o ponto *Eye* é necessário somar ao ponto *Target* inicial as novas coordenadas x , y e z . Para isso utilizam-se as equações (22), (23) e (24).



Universidade do Minho
Escola de Engenharia



BOSCH

$$x = Target.x - (\rho * \sin \varphi * \cos \theta) \quad (22)$$

$$y = Target.y - (\rho * \sin \varphi * \sin \theta) \quad (23)$$

$$z = Target.z - (\rho * \cos \varphi) \quad (24)$$

Mas mesmo este método possui alguns problemas como por exemplo:

- Não é possível alterar a distância entre os pontos *Target* e *Eye* se for necessário;
- Requer cálculos complexos que não permitem ao utilizador utilizar o rato para girar andar à volta da esfera, uma vez que o computador é inundado com cálculos para fazer o movimento parecer fluido;
- Entre outros.



BOSCH

Universidade do Minho
Escola de Engenharia



4 Metodologias e configurações experimentais

Nesta dissertação foram feitos vários protótipos de plataformas para instalar a câmara, lente, objetos a serem fotografados, entre outros, de forma fixa nos eixos horizontais e verticais (entre eles), mas que fosse possível mover transversalmente.

Neste capítulo serão revistos alguns dos métodos utilizados para recolher dados, assim como as plataformas mencionadas. No final apresenta-se qual a plataforma escolhida para ser utilizada nos testes.

4.1 Obter distâncias do campo de profundidade e distância

dO

Relembrando a equação (5) enunciada anteriormente para calcular o campo de visão, e sabendo os valores do tamanho do sensor (*sensor height*), distância *dO* e com a distância focal (*f*), é possível calcular o *hO* (*object height*). Como já constatado, o *hO* corresponde à altura que o objeto possui, isto é, o campo de visão.

Para verificar a precisão e exatidão dos cálculos efetuado no *Virtual ROI*, foram utilizadas grelhas de controlo (uma a preto e branco e outra a cores) impressas, como as da Figura 50.

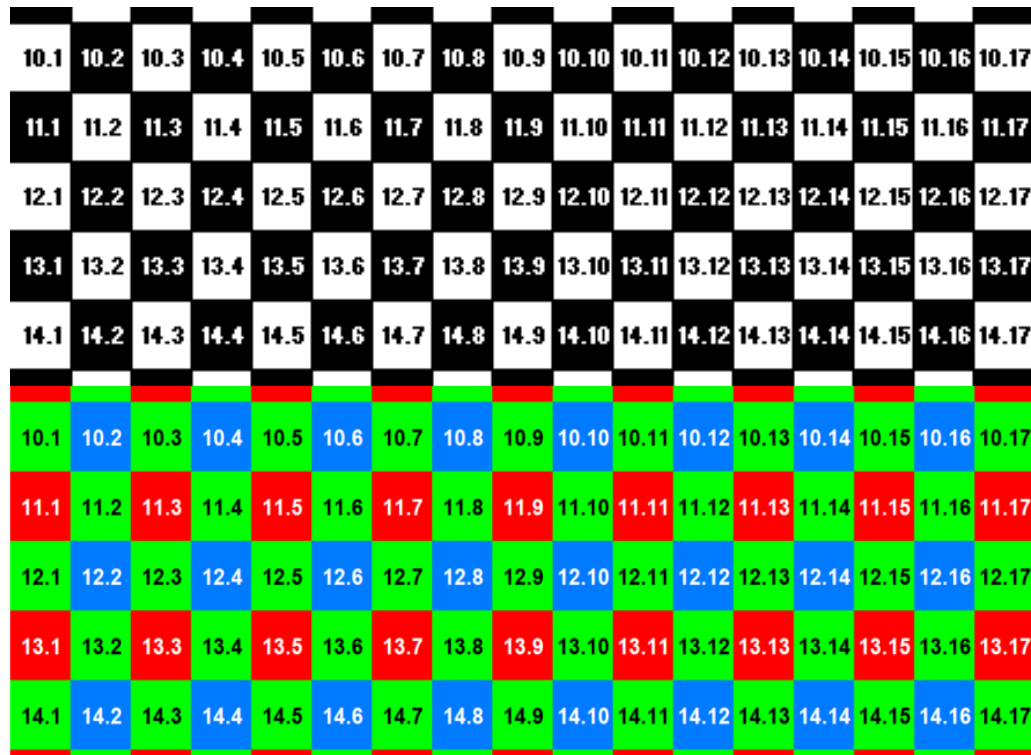


Figura 50 Parte das grelhas utilizadas na medição do campo de visão das câmaras

Cada quadrado da grelha deveria ter 10 milímetros de lado, formando uma grelha de 170 por 250 milímetros, mas uma vez impressa e medida, os valores obtidos foram de 165 por 250 milímetros devido à precisão da impressora. Este desvio foi considerado nos cálculos, sendo que os valores foram retificados e utilizados 9.706 por 10.000 milímetros em cada quadrado.

Para testar a Figura 50 e encontrar o campo de profundidade foi utilizado o *software* “*In-Sight Explorer 4.9.1*”. Recorrendo aos valores de “*Focus Metric*”, foram obtidas as distâncias a que o plano se encontrava focado ($d0$) e ainda o plano mais próximo e o mais afastado que aparentavam estar focados pelo olho humano (os valores de Dn e Df respetivamente).

4.2 Instalação horizontal separada

Como em qualquer teste científico, a fiabilidade e repetibilidade dos testes é um ponto-chave para obter valores e resultados semelhantes. Estes dois princípios permitem que se possam posteriormente alterar certos parâmetros de entrada e analisar quais os parâmetros de



saída que são afetados, obtendo-se alterações conclusivas, lógicas, rastreáveis e que possam ser repetidas.

Para obter a fiabilidade e repetibilidade nos testes, um sistema que envolvia uma plataforma para instalar e movimentar a câmara na horizontal foi construída. A plataforma apontava para uma parede que possuía a grelha de controlo, permitindo capturar fotografias da grelha e medir a distância a que a lente se encontrava da mesma. As distâncias focais, distâncias lente-grelha, tamanho de cada quadrado em pixéis da imagem e outros parâmetros permitiram gerar uma folha em *Excel* que calculava as percentagens de erro entre os resultados obtidos, os valores calculados teoricamente e gerar um gráfico com os valores de *Focus Metric* em função da distância (para visualmente comparar os resultados).

O problema deste método passava pela falta de repetibilidade uma vez que a plataforma se movia independentemente da parede, o que levava a uma incorreta medição das distâncias entre a câmara e a grelha de controlo quando se tentava repetir. Outro problema era a falta de precisão das fotografias, sendo que era complicado centrar a câmara exatamente no mesmo ponto da grelha duas vezes.

4.3 Instalação vertical

Para corrigir os problemas da configuração anterior, recorreu-se a uma nova instalação da plataforma, em que a câmara ficou presa a uma parte móvel que se deslocava numa barra de metal, no sentido vertical. Com isto foi possível mover a mesma de baixo para cima e vice-versa, permitindo manter as distâncias entre a câmara e a grelha de controlo sempre as mesmas.

Neste método os resultados foram mais fáceis de repetir, mas devido à parte móvel presa à barra de metal poder girar sobre esta (além de subir e descer verticalmente), os testes não eram repetíveis na parte central. A rotação sobre a barra de metal fazia com que a câmara ficasse descentrada das posições anteriores, não sendo possível comparar diretamente duas imagens com os mesmos parâmetros.

Inicialmente e à falta de uma melhor plataforma foi utilizado este método para obter as fotografias e testar os diferentes parâmetros a analisar. Na Figura 51 encontram se duas fotos da plataforma apresentada.

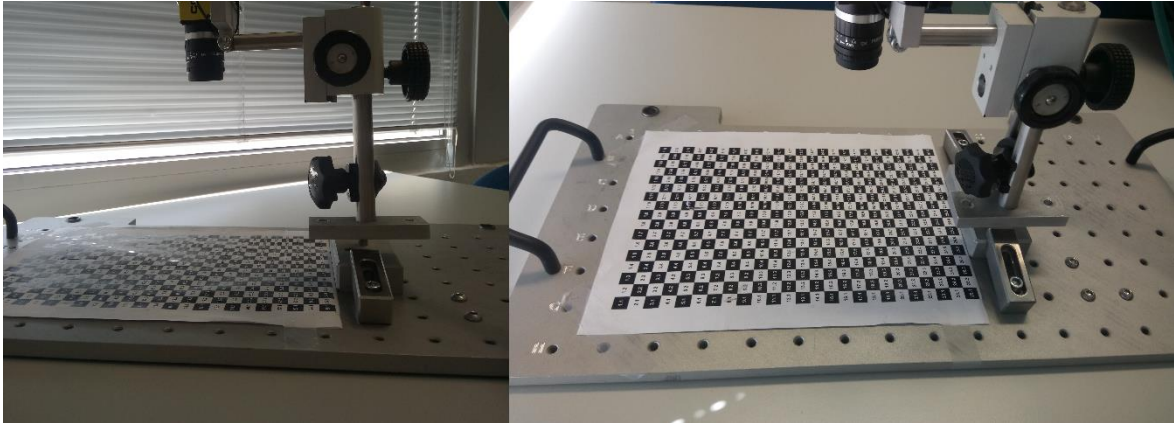


Figura 51 Instalação vertical utilizada para primeiros testes

4.4 Instalação vertical iluminada

Recorrendo a um *array* de luz (*PLC0615A-W00C da DCM Sistemas (DCM Sistemas)*) e a uma sala com uma intensidade de luz controlada, foi possível realizar testes com um melhor controlo para adquirir as distâncias desejadas.

Com o fator luz controlado e monitorizado, o valor de “*Focus Metric*” sofria poucas variações durante as medições, o que permitia um valor mais preciso e exato, resolvendo assim a questão de fiabilidade dos testes que antes eram feitos perto de uma janela que influenciava diretamente os valores por causa da luz solar.

Com as condições enunciadas e utilizando uma *Cognex In-Sight 1403* com uma lente de 12,5 mm, o objetivo era obter imagens com o valor máximo do “*Focus Metric*” e ainda outras com valores abaixo deste, mas simétricos em valor para posteriormente analisar, comparar e melhorar os resultados. Na Figura 52 encontra-se a instalação apresentada.

De notar que apesar de a luz ser controlada, não existia nenhum difusor de luz, o que fazia com que certas zonas das fotografias fossem muito mais claras que outras.

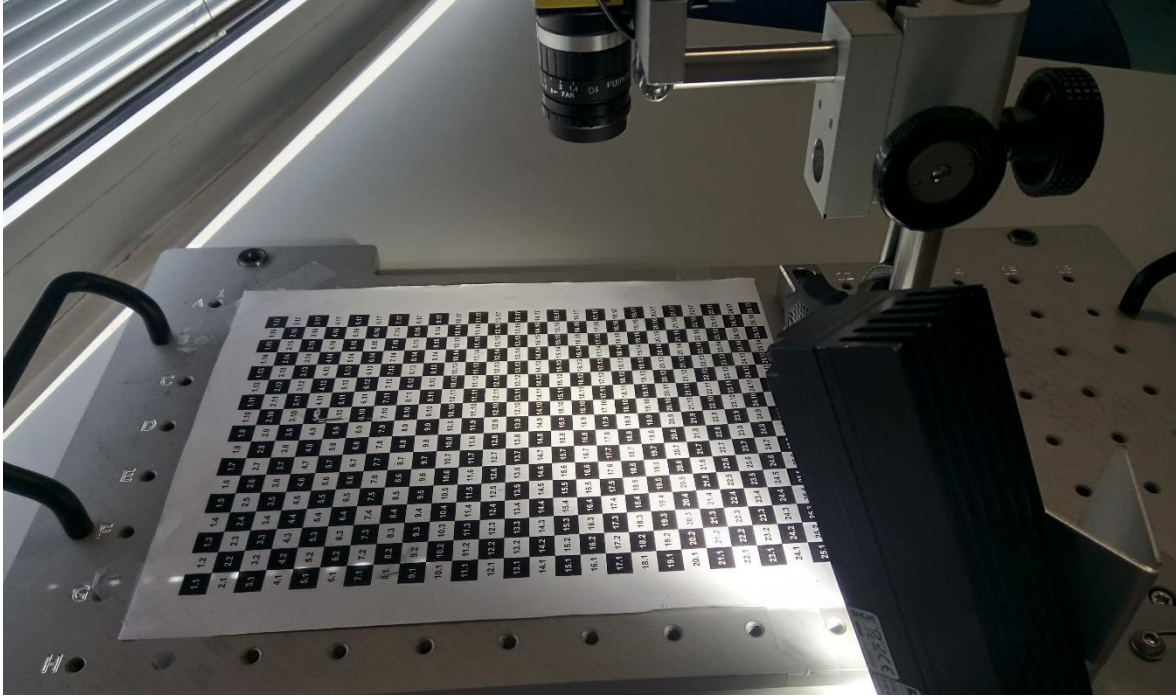


Figura 52 Instalação vertical iluminada (instalação vertical com a adição de luz)

4.5 Instalação horizontal fixa e iluminada

Apesar do controlo de luz e da plataforma vertical permitirem uma focagem mais estável das imagens, ainda existiam discrepâncias nas imagens obtidas devido à rotação da câmara sobre o eixo vertical da plataforma. Isto fazia com que à medida que se alterava a distância entre a grelha e a câmara, o enquadramento entre ambos podia mudar, isto é, sofrer uma rotação.

Para corrigir esse problema, a primeira abordagem foi aproveitada (desenho original da Instalação horizontal separada), mas a parede neste caso seria uma plataforma vertical que possuía a grelha de controlo e que se encontrava presa ao eixo que iria possuir a câmara.

A câmara por sua vez movia-se apenas no eixo horizontal (de trás para a frente e vice-versa). Com esta nova plataforma eliminou-se o problema do enquadramento (rotação entre a grelha de controlo e a câmara), o que permitiu que o centro da foto fosse sempre o mesmo, obtendo assim resultados mais estáveis e repetitivos de uns testes para os outros.

Nesta instalação foram utilizados difusores em ambos os *arrays* de luz, o que permitiu que a luz se espalhasse melhor pela grelha de controlo, iluminando-a toda por igual. Com os difusores resolveu-se o problema de haver zonas mais claras e mais escuras devido à luz.

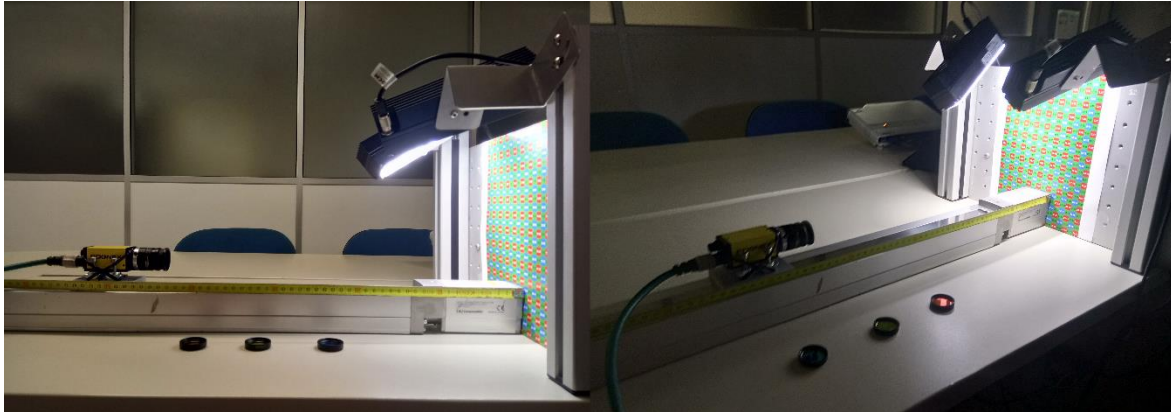


Figura 53 Instalação horizontal fixa e iluminada com controlo de luz e distância mais fiável

Esta última plataforma foi a utilizada em todos os testes práticos, uma vez que oferecia valores mais fiáveis e estáveis relativamente às anteriores.



5 Resultados e discussão

Ao longo de toda a dissertação foram realizados mais de 2000 testes, onde cerca de 500 foram em plataformas físicas e recorrendo a câmaras, lentes e filtros e os restantes foram simulados utilizando o *Autodesk Inventor* com modelos simulados de bancadas colocadas em linhas de produção.

Nos testes simulados o objetivo foi verificar como eram afetados os vetores, pontos e vistas à medida que se alteravam parâmetros de forma controlada. Estes testes permitiram saber como funcionava os mecanismos do *Autodesk Inventor*, o que contribuiu para a criação do *Virtual ROI*, em especial na parte da comunicação com o *Inventor* e obtenção das suas vistas em 2D.

Foram realizados cerca de 430 testes práticos recorrendo a uma *Cognex In-Sight 1403* (a preto e branco), com uma lente de 12,5 mm na sua maior parte, tendo ainda sido testadas lentes de 6, 25 e 50 mm (mas não foram posteriormente utilizadas devido às limitações de distâncias entre a grelha de controlo e a lente), três filtros de cor e duas grelhas de controlo (uma a duas cores – preto e branco – e outra colorida com as três cores primárias – azul, verde e vermelho). Destes testes foi possível retirar várias conclusões acerca da utilização de filtros, profundidade de campo, círculo de confusão, entre outros. Estes testes ajudaram ainda a relacionar e concluir alguns tópicos falados no capítulo 2, por exemplo, a regra que relaciona $1/3$ e $2/3$ da distância entre D_n e D_f para encontrar o valor de d_0 .

5.1 Círculo de Confusão

Recorrendo à instalação apresentada no subcapítulo 4.5, foram guardados os valores de *Focus Metric* à medida que se incrementava a distância entre a lente da câmara e a grelha de controlo (também esta guardada). Em cada uma das medidas a fotografia foi também guardada para ser analisada visualmente por um profissional da área de *software* de visão de computador.

O objetivo destes testes foi obter as fotografias e valores para cada distância, para posteriormente serem comparados e analisados por profissionais da área de visão por computador. Esta análise e comparação permitiu distinguir as fotografias em termos de

qualidade, de forma a encontrar aquelas que poderiam ser utilizadas para processamento por visão.

Após a análise dos parâmetros obtidos (distância entre a câmara e o objeto – Dn , Df e $d0$ - abertura da lente e distância focal da mesma) de várias fotografias dos testes práticos e recorrendo às equações (25) e (26) (equações que provêm das equações Figura 10(1) e (2) da parte teórica do subcapítulo 2.3, sofrendo uma reorganização), foi constatado que um valor de círculo de confusão entre 0,015 e 0,020 mm corresponde ao valor máximo que uma fotografia poderá ter (valor varia consoante o filtro que for utilizados como será visto na Tabela 8 do capítulo 5.5) para apresentar o mínimo de qualidade para ser analisada e processada por um *software* de visão por computador.

$$c = \frac{d0 * f^2 - Dn * f^2}{N * Dn * (d0 - f)} \quad (25)$$

$$c = \frac{d0 * f^2 - Df * f^2}{-N * Df * (d0 - f)} \quad (26)$$

Com este valor será possível calcular o campo de profundidade no *Virtual ROI*, dando ao utilizador as distâncias às quais a fotografia se encontra focada (Figura 54), para além da distância $d0$ à qual todos os pontos nesse plano se encontram focados. Com o campo de profundidade, o utilizador já poderá ter uma noção do que ficará focado na fotografia e se esse campo chega para as suas necessidades ou se precisa de aumentá-lo ou diminuí-lo.

5. Far Depth Field	227.0
5. Near Depth Field	185.5

Figura 54 Distâncias Dn e Df obtidas no *Virtual ROI*

A Figura 55 mostra duas partes de fotografias obtidas no mesmo teste, onde à esquerda a imagem possui um círculo de confusão de 0,016 mm e a da direita possui um círculo de confusão de 0,012 mm.

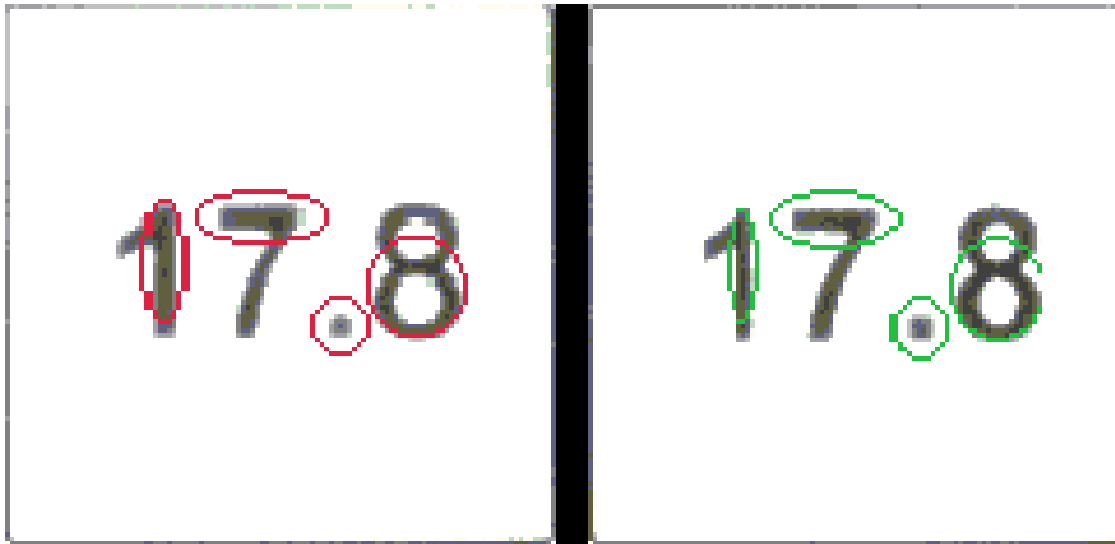


Figura 55 Comparação de duas partes de fotografias da mesma série de testes, com dois círculos de confusão diferentes

Aparentemente as imagens parecem iguais, mas se a atenção se virar para os círculos, é possível notar que nos círculos verdes existe uma melhor distinção de contraste e uma melhor definição das características do que nos círculos vermelhos.

Para o olho humano esta distinção é quase impercetível a olho nu, só quando a imagem é ampliada e comparada lado a lado como na Figura 55 é que é possível detetar as diferenças. No caso de um sistema de visão por computador, estas diferenças de contraste e definição das características podem influenciar o resultado final do algoritmo, podendo levar a uma interpretação errada da imagem no caso em que o círculo de confusão máximo possui um valor elevado (imagem com os círculos a vermelho).

5.2 Filtros

Durante os testes práticos foram testadas quatro situações (onde a abertura, focagem e outros parâmetros se mantiveram iguais, procedendo-se apenas à variação da distância para obter diferentes valores de *Focus Metric*) em que o objetivo era ver como variava o *Focus Metric* (qualidade da fotografia medida digitalmente) para os casos de não se utilizar nenhum filtro, de se utilizar um filtro vermelho (com 635 nm de comprimento de onda), de se utilizar um filtro verde (com 525 nm de comprimento de onda) e de se utilizar um filtro azul (com 470 nm de comprimento de onda).

Analisando os resultados obtidos, é possível constatar que a diferença dos comprimentos de onda faz com que as fotografias possuam diferentes distâncias em que atingem a sua focagem máxima. Observando a Figura 56 é possível observar a diferença de picos para cada uma das cores. Quanto maior é o comprimento de onda de uma cor, maior é a distância que esta precisa para ser corretamente focada no sensor.

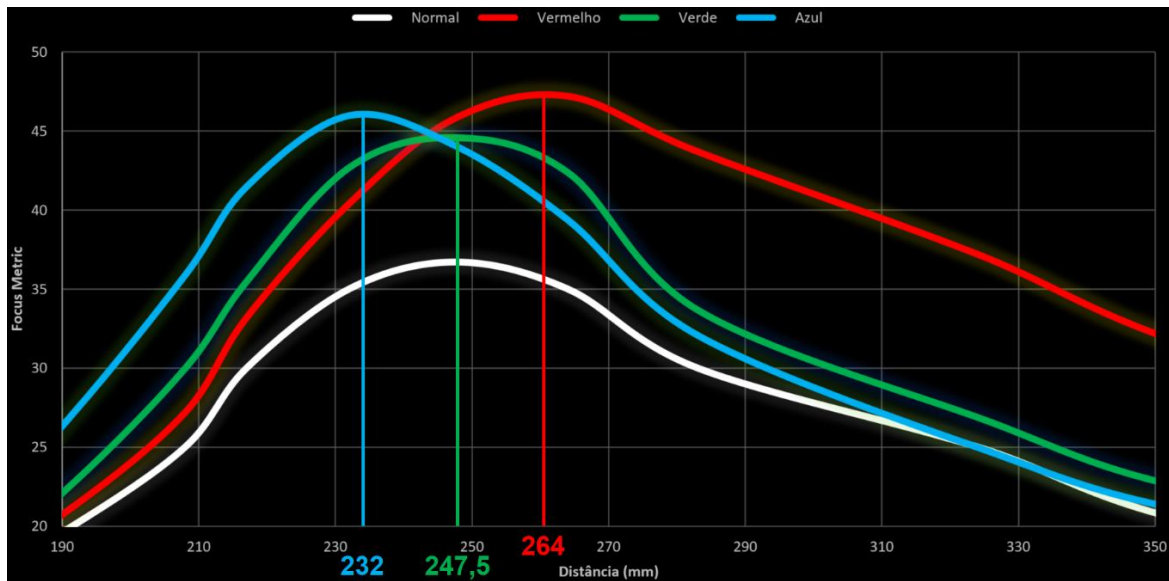


Figura 56 Variação do valor de Focus Metric em função da distância entre o objeto e a lente (para cada filtro utilizado)

O gráfico da Figura 56 foi obtido com base em vários testes (mesmos testes que resultaram na Tabela 6) em que foram utilizados os seguintes materiais específicos:

- Grelha de controlo a preto e branco;
- Duas fontes de luz com respetivos difusores óticos;
- Ambiente com luz controlada.

Se for considerada a Figura 21 (esquerda), e que a luz, ao atravessar o vidro é mais refratada quanto menor o seu comprimento de onda, então, o contrário também se verifica, isto é, que quanto maior o comprimento de onda, menos refração irá sofrer a luz, o que leva a um menor desvio da luz.

No caso em que o comprimento de onda é maior (luz vermelha), a luz vai sofrer menos desvio e por essa razão irá ser focada para lá do sensor. No caso em que o comprimento de onda é menor (luz violeta), como vai sofrer uma maior refração e consequente maior desvio, então irá



ser focada antes do sensor (ambos os casos consideram que o sensor se encontra a focar num comprimento de onda intermédio, isto é, focado na cor verde, que pode possuir um comprimento de onda de 550 nm, sendo este o valor onde a sensibilidade dos olhos humanos à cor é máxima (Silva, s.d.)).

Sendo a luz branca utilizada policromática uma combinação de todas as cores existentes em quantidade semelhante, o comprimento de onda é cerca de 560 nm, no meio do espectro visível, segundo a Tabela 3, o que corresponde ao verde. A afirmação anterior é apoiada pelos resultados obtidos no Figura 56, uma vez que a luz branca e a luz verde possuem a mesma curvatura e um pico semelhante, afastados apenas em qualidade (qualidade medida usando o *Focus Metric* do software *Cognex In-Sight*).

A utilização de filtros de cor melhora a qualidade da imagem em geral como se pode ver na Figura 57. Comparando a fotografia sem filtro com todas as outras é possível constatar que o contraste é menor, o que torna difícil distinguir as diferentes cores da grelha a analisar.

No caso em que se tenta detetar a cor vermelha ou azul, as mesmas quase não possuem diferenças no contraste na fotografia sem filtros, mas são facilmente detetadas utilizando os filtros correspondentes. Com o respetivo filtro a cor de interesse fica mais clara e as restantes mais escuras, notando-se claramente um contraste nitido e de fácil identificação.

Como enunciado anteriormente neste capítulo, o comprimento médio da luz branca policromática é semelhante ao comprimento de onda da radiação da cor verde, o que faz com que os resultados do Figura 56 (curvatura e pico da luz branca e verde semelhantes) se tornem evidentes quando se compara a fotografia em que não é utilizado filtro com a que recorre a um filtro verde. As principais semelhanças são a indistinção das cores, não havendo duas mais escuras ou duas mais claras- De fato, o que acontece é uma clara distinção das cores sob a forma de contraste (verde é o mais claro, azul o intermédio e o vermelho o mais escuro). Ao mesmo tempo nota-se o aumento de qualidade observado no Figura 56, sendo que com o filtro verde a imagem fica mais escura e o brilho que anteriormente desfocava parte da imagem desaparece.

Comparando a utilização da grelha de controlo a preto e branco com a grelha de controlo colorida chegou-se ainda à conclusão que quando não é utilizado filtro, a qualidade geral na

grelha de controlo colorida baixa drasticamente (em relação à utilização da grelha de controlo a preto e branco).

Na Figura 58 é possível comparar as duas fotografias em dois testes diferentes, com os mesmos parâmetros e sem recorrer a nenhum filtro em que a diferença é que a da esquerda possui uma grelha de controlo a preto e branco e a da direita uma grelha de controlo colorida.

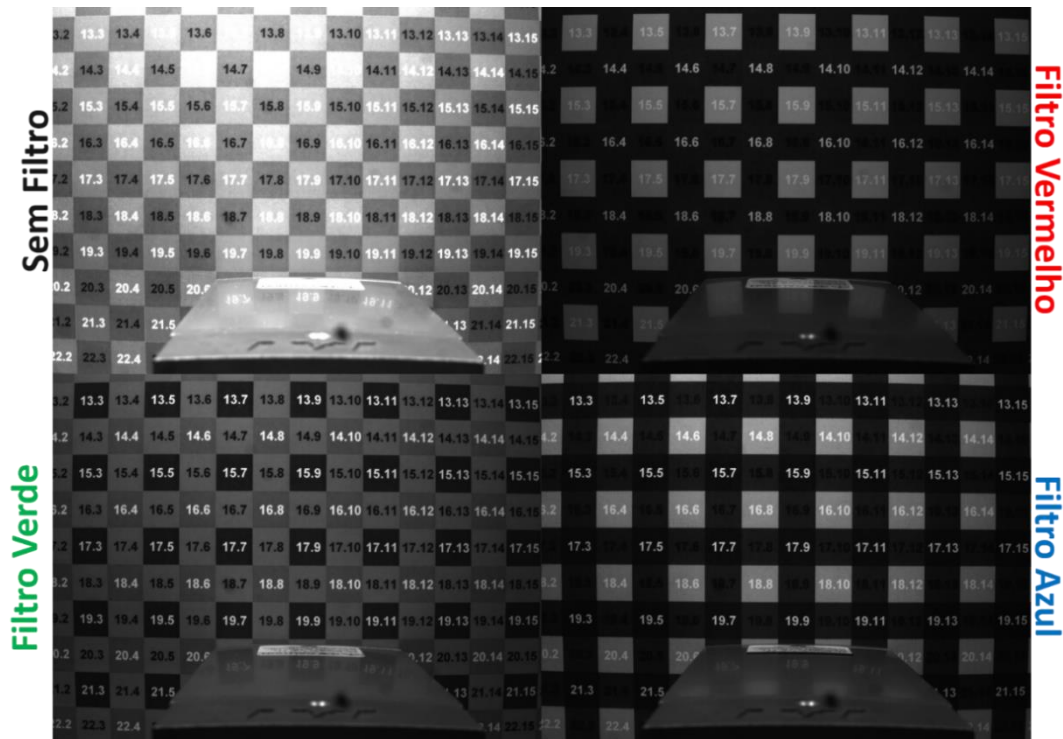


Figura 57 Quatro fotografias tiradas da mesma posição e com os mesmos parâmetros a uma grelha colorida em que apenas se altera o filtro de cor utilizado

Devido à utilização de diferentes cores na grelha colorida e uma câmara a preto e branco, existe uma maior variação de contraste (pelo menos três contrastes diferentes, um por cada cor primária) na Figura 58 (direita) do que quando se utiliza apenas duas cores (esquerda da mesma figura).

Na parte superior da Figura 58 encontra-se um gráfico que apresenta os resultados práticos obtidos em cada um dos testes. A linha azul corresponde aos valores de *Focus Metric* do teste com a grelha de controlo a preto e branco, já a linha vermelha representa os valores de *Focus Metric* do teste com a grelha de controlo colorida (ambos em função da distância entre o objeto a fotografar e a lente).

Os valores obtidos com a grelha a duas cores são superiores aos da grelha a cores devido à questão dos contrastes mencionada anteriormente.

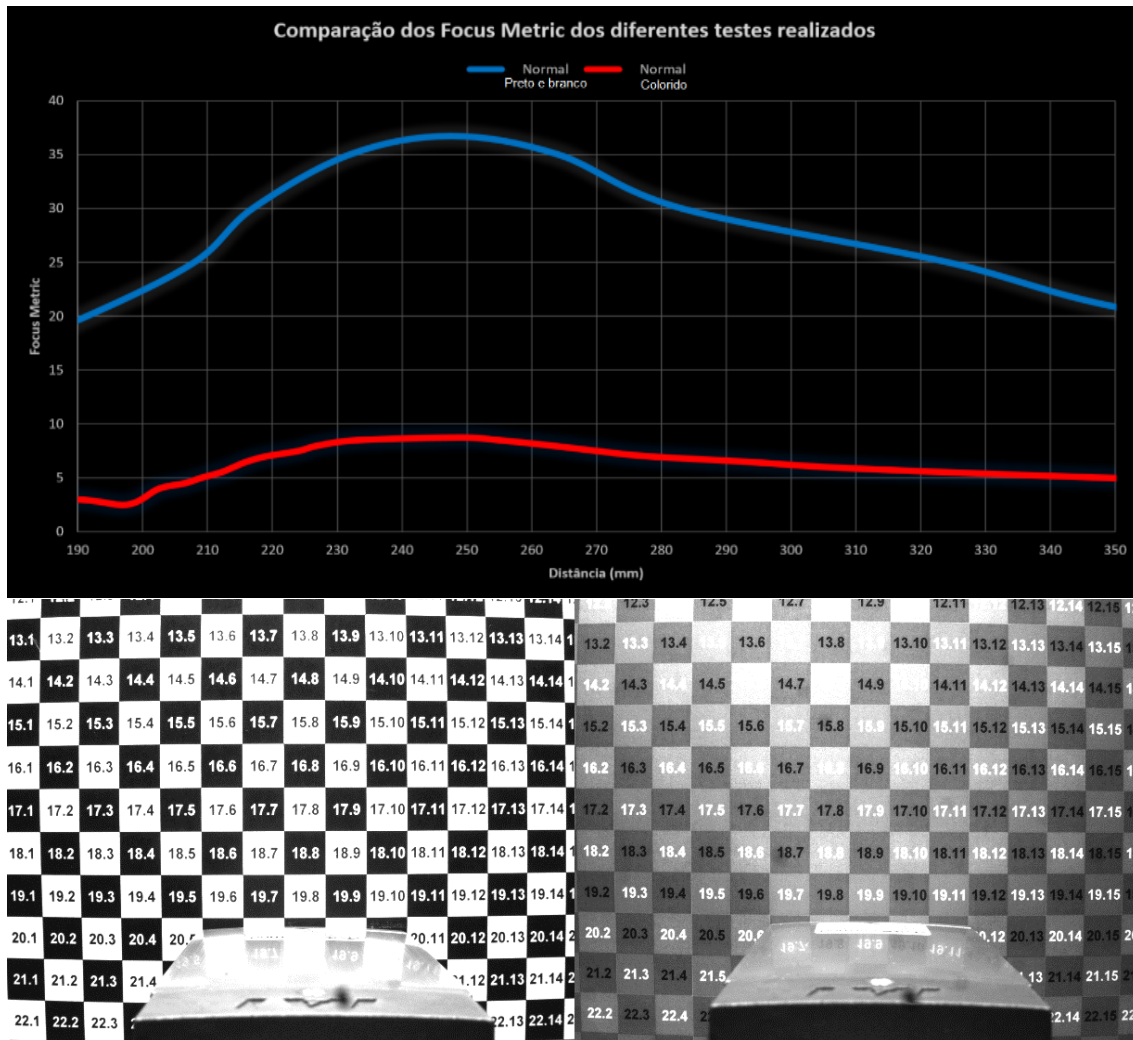


Figura 58 Fotografias com a única diferença na utilização de uma grelha de controle a preto e branco (esquerda) contra uma colorida (direita), em cima encontra-se a comparação gráfica dos dois testes

5.3 Profundidade de campo

Analisando a Figura 56 é ainda possível extrair a Tabela 4 que apresenta as distâncias dos picos de cada cor (d_0) e os valores de D_n e de D_f quando estes possuem um valor de *Focus Metric* de 25.

Tabela 4 Distâncias dos pontos d_0 , D_n e D_f para cada caso (D_n e D_f com 25 Focus Metric)

	NORMAL	VERMELHO	VERDE	AZUL
D_0	248,00	261,00	247,50	234,00
D_N	208,00	202,75	197,10	187,40
D_F	324,00	396,70	335,10	324,00

Com base na Tabela 4 é possível calcular a percentagem que ocupa o campo entre D_n e d_0 e o campo entre D_f e d_0 para posteriormente comparar com a literatura revista.

Calculando a diferença entre D_f e D_n é obtida a distância que o campo de profundidade ocupa. Com esse valor e recorrendo a uma regra de três simples é possível calcular a percentagem de cada campo para cada uma das cores. A Tabela 5 apresenta essas percentagens para cada um dos casos estudados, sendo que a terceira e quarta linha de dados correspondem às percentagens referentes aos valores da Tabela 4.

Tabela 5 Percentagens que ocupa cada campo entre D_n e d_0 e comparação com a ocupação dos campos entre d_0 e D_f

	NORMAL	VERMELHO	VERDE	AZUL
ENTRE D_N E D_0 E FOCUS METRIC DE 20	33,95%	15,92%	32,16%	30,08%
ENTRE D_0 E D_F E FOCUS METRIC DE 20	66,05%	84,08%	67,84%	69,92%
ENTRE D_N E D_0 E FOCUS METRIC DE 25	34,48%	30,03%	36,52%	34,11%
ENTRE D_0 E D_F E FOCUS METRIC DE 25	65,52%	69,97%	63,48%	65,89%
ENTRE D_N E D_0 E FOCUS METRIC DE 30	46,97%	31,95%	41,62%	38,33%
ENTRE D_0 E D_F E FOCUS METRIC DE 30	53,03%	68,05%	58,38%	61,67%
ENTRE D_N E D_0 E FOCUS METRIC DE 35	50,00%	35,34%	50,08%	40,83%
ENTRE D_0 E D_F E FOCUS METRIC DE 35	50,00%	64,66%	49,92%	59,17%

É de notar que o que foi referido no final do subcapítulo teórico de 2.4 (regra para calcular d_0 com base nos valores de D_n e D_f) é apoiado por estes resultados, uma vez que cerca de 1/3 do campo de profundidade pertence ao espaço entre a câmara e a distância d_0 e os outros 2/3 correspondem ao campo de profundidade que se encontra para lá do objeto focado. Mas apenas se verificam para alguns destes valores, caso sejam focados pontos a outras distâncias, que se afastem das distâncias de pico (limites de diferentes Focus Metric), as percentagens não irão corresponder a uma proporção de 1/3 para 2/3.



Com estes resultados considera-se que não é possível criar uma regra que permita simplesmente calcular o valor $d0$ com base nos valores de Dn e de Df . É possível ser usada em valores intermédios, mas com muita incerteza pelo que não é aconselhado.

5.4 Cálculos *Virtual ROI* e testes reais

Nos testes práticos a câmara (*Cognex 1403* - preto e branco) e respetiva abertura e focagem, a lente (12,5 mm), as grelhas (preto e branco ou a cores), a posição, intensidade e direção da luz e o alinhamento entre a câmara e as grelhas de controlo foram mantidos constantes de teste para teste para permitir a repetibilidade e fiabilidade dos testes.

A distância entre a câmara/lente e a grelha de controlo foi aumentada gradualmente e em função disso foi sendo guardada a fotografia da grelha no momento da medição, a distância entre elas e o valor de *Focus Metric*.

A distância entre a lente e a grelha e o valor de *Focus Metric* foram posteriormente guardados em folhas de *Excel* e foi medida a largura e a altura, em píxeis, que cada quadrado da grelha de controlo ocupava na fotografia guardada, para ser possível obter o campo de visão (largura e altura) da área que a câmara capturou. Estes dados foram comparados com os valores teóricos e a partir daqui foram obtidas as Tabela 6 e Tabela 7.

Na Tabela 6 e na Tabela 7 é possível observar a informação de cada fotografia tirada em dois dos testes. As colunas apresentam o valor de *Focus Metric* (qualidade da fotografia, medida através do *software Cognex In-Sight*), a distância entre o conjunto câmara/lente e a grelha de controlo e ainda o desvio sob a forma de percentagem do valor calculado teoricamente para o valor obtido nos teste práticos.



BOSCH

Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Tabela 6 Erro entre os valores do FOV teórico calculado e os obtidos nos testes práticos com a grelha de controlo a preto e branco

<i>Focus Metric</i>	Distância entre câmara e grelha (mm)	Erro entre largura FOV teórica e real (%)	% erro entre altura FOV teórica e real (%)
5	119	74,9	42,0
10	140	60,8	33,4
15	165	43,1	24,1
20	185,5	29,2	16,2
25	202	17,2	9,5
30	221	11,6	6,3
35	226	1,7	0,7
36,7	241,5	9,5	5,6
35	258	20,7	12,0
30	277	33,4	19,1
25	318	62,3	35,4
20	352	84,6	48,0
15	429	136,2	77,1
10,2	716,5	335,5	189,5



Tabela 7 Erro entre os valores do FOV teórico calculado e os obtidos nos testes práticos com a grelha de controlo colorida

Focus Metric	Distância entre câmara e grelha (mm)	Erro entre largura FOV teórica e real (%)	% erro entre altura FOV teórica e real (%)
1,9	110	89,2	50,1
2	121,5	79,0	44,3
2,5	167	48,2	26,9
3	189	32,9	18,2
3,5	197,5	26,7	14,8
4	202,5	22,9	12,6
4,5	206,5	20,6	11,3
5	209	18,2	10,0
5,5	212	17,0	9,3
6	214	15,2	8,3
6,5	216	12,7	6,9
7	219	10,8	5,8
7,5	224	7,4	3,9
8	227	5,4	2,7
8,5	233	1,1	0,3
8,75	249	10,6	6,3
8,5	255	14,9	8,7
8	263	20,2	11,7
7,5	270	25,0	14,4
7	278	30,9	17,7
6,5	293	41,6	23,8
6	305,5	49,8	28,4
5,5	325	64,0	36,4
5	349	81,7	46,3
4,5	377,5	102,2	57,9
4,1	482,5	176,7	100,0

Conforme é possível ver na Tabela 6 e na Tabela 7, em geral, o valor de menor erro entre o valor teórico e o valor prático diz respeito à imagem com a distância imediatamente abaixo da linha com o valor máximo de *Focus Metric*.

Na Figura 59 encontram-se duas das fotografias com maior qualidade da Tabela 6, sendo a da esquerda correspondente à linha que possui um *Focus Metric* de 35 e uma distância de 226 mm e a da direita correspondente à linha que possui um *Focus Metric* de 36,1 e uma distância de

241,5 mm. Nesta figura é possível comparar os conjuntos de pixéis que se encontram circundados e chegar à conclusão que a fotografia da esquerda possui uma maior qualidade/contraste do que a da direita. Os locais onde essas diferenças são mais facilmente observáveis são na linha que limita o topo do número sete (7) e a linha que limita o lado direito do número um (1). Essas duas linhas encontram-se melhor definidas e com uma diferença de contraste mais visível na fotografia da esquerda do que na fotografia da direita.

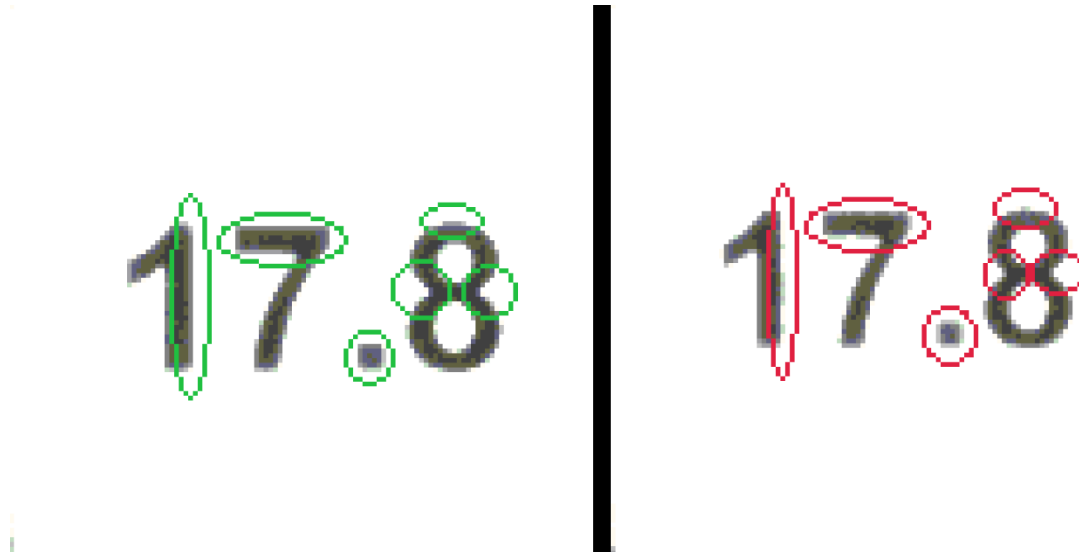


Figura 59 Comparação dos pixéis de duas fotografias que correspondem às linhas que possuem um Focus Metric de 35 e 36,7 e a uma distância de 226 e 241,5 respetivamente da Tabela 6

A Figura 59 vêm apoiar os resultados obtidos na Tabela 6, uma vez que permite visualmente mostrar que o cálculo teórico utilizado no *Virtual ROI* possui uma maior precisão para encontrar a fotografia com maior qualidade (e com os valores de FOV mais próximos da realidade) do que o valor de *Focus Metric* utilizado pelo *software Cognex In-Sight*. Esta verificação foi feita em todos os testes realizados e o resultado foi sempre o mesmo.

5.5 Qualidade com base na inspeção visual

As imagens obtidas e apresentadas na Tabela 6 (com um valor de *Focus Metric* acima de 15) foram classificada em termos de poder ser ou não utilizada em *softwares* que processem imagens, com base na opinião de profissionais que estão habituados a trabalhar com esses *softwares* e o resultado foi compilado na Tabela 8.

Cada imagem possui uma classificação de:

B: Imagem com boa qualidade e que pode ser utilizada em *software* de visão por computador (Figura 60, canto superior esquerdo);

A: Imagem aceitável que possui alguns defeitos a nível de qualidade e focagem, mas que mesmo assim pode ser utilizada em *software* de visão por computador (Figura 60, canto superior direito);

A – C: Imagem aceitável, mas com as margens desfocadas pelo que apenas se poderia utilizar o centro da imagem em *software* de visão por computador (Figura 60, canto inferior esquerdo);

N: Imagem com baixa qualidade ou demasiado desfocada para ser utilizada em *software* de visão por computador (Figura 60, canto inferior direito).

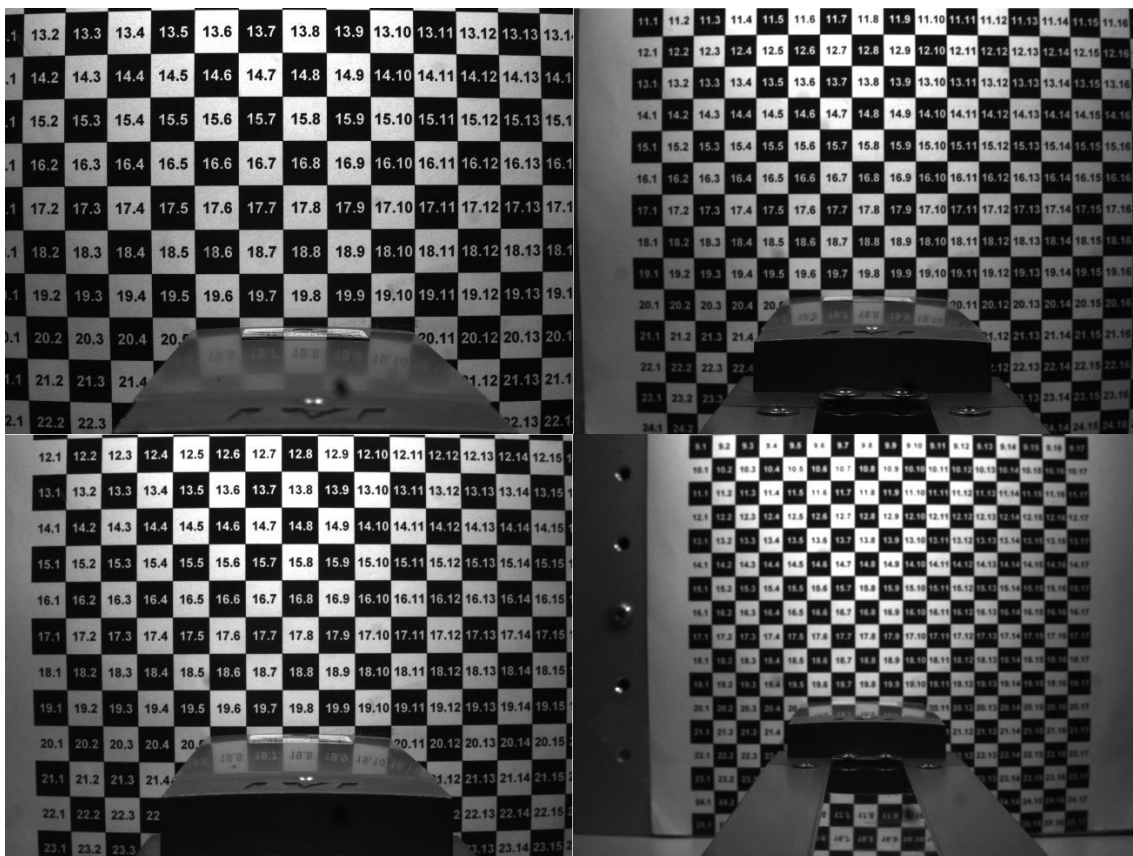


Figura 60 Comparação de imagens submetidas a análise profissional



Tabela 8 Qualidade das imagens com base na opinião de profissionais que trabalham com processamento de imagem

Focus Metric	Círculo de confusão		Normal		Azul		Verde		Vermelho	
	Dn	Df	Dn	Df	Dn	Df	Dn	Df	Dn	Df
36,7	0,00587	0,005871	B	B	B	B	B	B	B	B
35	0	0,011347	B	B	B	B	B	A - C	B	B
30	0,00207	0,016843	B	N	B	B	B	A - C	B	B
25	0,010869	0,026466	B	N	B	A	B	N	B	B
20	0,019973	0,032746	A	N	B	N	B	N	B	A - C
15	0,033820	0,043288	N	N	A - C	N	A	N	A	N

Os resultados dos testes obtidos na Tabela 8 foram feitos a utilizadores que ainda não tinham visto as imagens nem os resultados calculados teoricamente (como na Tabela 7). Mas se esses resultados forem comparados é possível constatar que a classificação feita pelos profissionais anda perto dos valores de *Focus Metric* que deram menos erro na Tabela 7 (valores intermédios dos profissionais encontram-se a amarelo na Tabela 8). O círculo de confusão de 0,010 a 0,015 mm também permite chegar aos mesmos valores e pode mesmo chegar a um valor de 0,020 mm quando se recorre a filtros.

Ao alterar a grelha de controlo de uma a preto e branco para uma colorida, os resultados relativamente ao círculo de confusão das imagens encontram-se na Tabela 9.

Tabela 9 Círculo de confusão das fotografias com base na sua qualidade *Focus Metric*

Focus Metric	Círculo de confusão	
	Dn	Df
8,75	0,00569	0,005692
8,5	0	0,007642
8	0,002341	0,010104
7,5	0,003559	0,012138
7	0,005662	0,014338
6,5	0,006971	0,018139
6	0,007864	0,021021

Quando apresentadas a um profissional para que ele escolhesse qual as melhores, a sua resposta foi “Tudo depende do que queremos analisar, mas no geral não é possível ver a olho nu grandes diferenças na qualidade e contraste na maior parte das fotografias”.



A Figura 57 mostra quatro das fotografias apresentadas (com a mesma distância entre a câmara e a lente), sendo que, em todas era possível aproveitar para casos específicos. No caso em que não era utilizado um filtro, devido à baixa diferença de contrastes, o aproveitamento das fotografias era menor.

No caso em que era utilizado um filtro azul, a deteção da cor branca em quadrados verdes ou vermelhos era nítida, assim como os quadrados azuis eram facilmente definidos. Mesmo a transição azul-branco era facilmente detetada, deixando a transição preto-vermelho/verde não tão nítida, devido à baixa distinção entre os contrastes a olho nu.

O mesmo acontece quando é utilizado um filtro vermelho para a deteção da cor branca em quadrados azuis, verdes e mesmo vermelhos ou para a definição dos quadrados vermelhos entre outras cores. A transição vermelho-branco também é facilmente detetada, deixando apenas a transição azul/verde-preto impercetível.

No caso em que nenhum filtro é utilizado, apenas o preto se distingue facilmente das restantes cores. O resto das cores, em especial o branco, tornam difícil a limitação dos quadrados, devido às poucas diferenças de níveis nos contrastes.

O filtro verde permite os melhores resultados quando se trabalha com as diversas cores, sendo que, cada cor vai possuir um contraste próprio. Na Figura 61 é possível ver como todas as cores, incluindo o preto e branco se distinguem facilmente e os quadrados e letras são facilmente definidos.

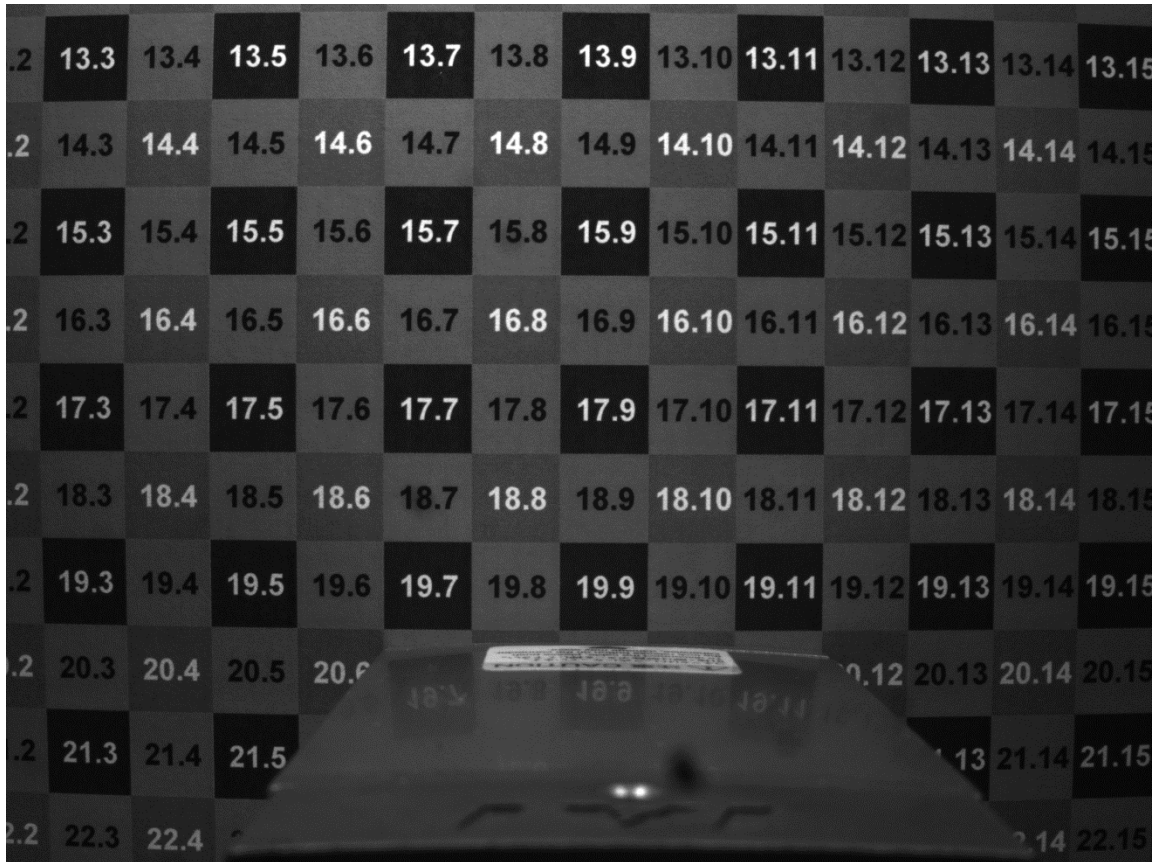


Figura 61 Diferenças de contraste utilizando um filtro verde na lente

5.6 Comparação de fotografia real com simulação do *Virtual ROI*

Foram realizados testes para comparar uma fotografia obtida de uma câmara real numa linha de produção com as imagens geradas pelo software *Virtual ROI*, ambas com os mesmos parâmetros.

Para isso foi utilizado o modelo 3D de uma bancada que estava a ser montada numa linha de produção (Figura 62, à direita) e a bancada real (Figura 62, à esquerda) para se obter as imagens e fotografias mencionadas.

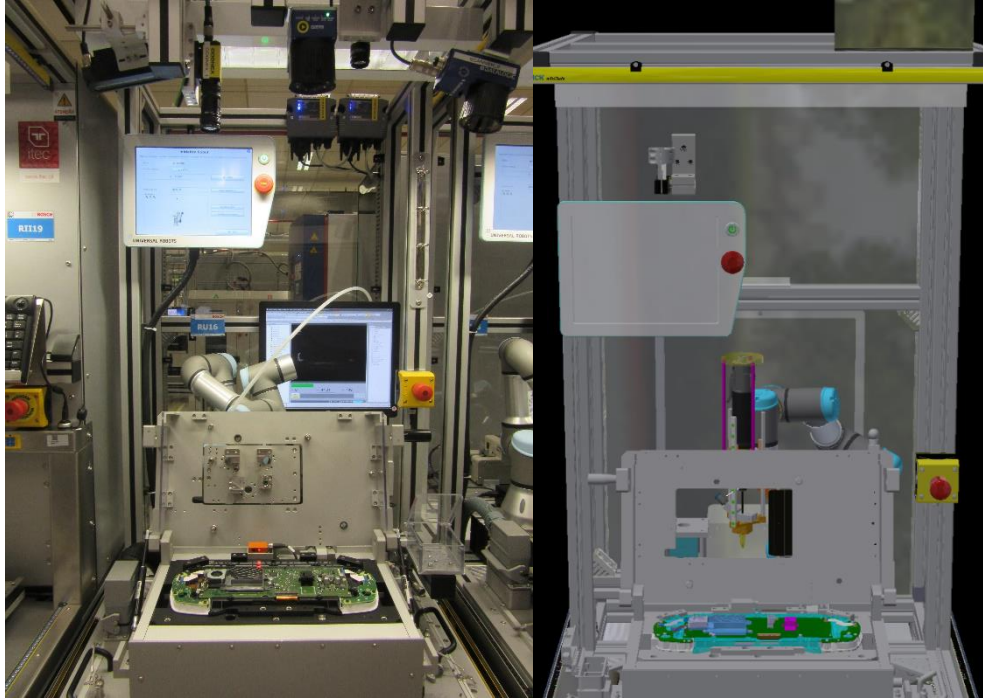


Figura 62 Comparação de fotografia da bancada real (esquerda) com imagem do modelo 3D no Autodesk Inventor (direita)

Na Figura 63, à esquerda, encontra-se a fotografia de uma Cognex In-Sight 5402C, com uma abertura de 2,8, com uma lente de 50 mm e uma distância d_0 de 800 mm. Nos testes realizados recorrendo às grelhas de controlo utilizadas, constatou-se um erro médio de 4,5%.

Na mesma figura, à direita, é possível observar a imagem gerada pelo *Virtual ROI*. Comparando ambas visualmente é possível verificar que não corresponde exatamente à mesma área, mas o erro encontra-se abaixo dos 4,5% previstos.

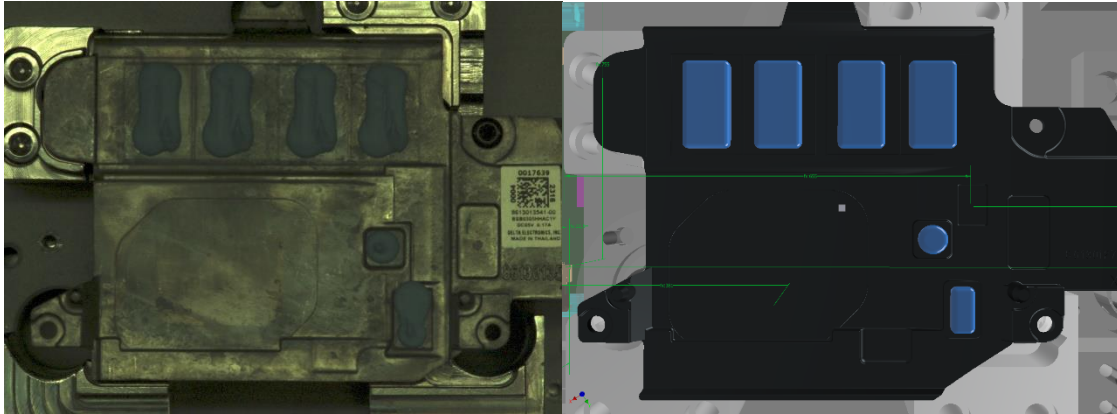


Figura 63 Comparação de fotografia do produto real (esquerda) com a imagem gerada pelo Virtual ROI (direita), utilizando os mesmos parâmetros

Uma das características do *Virtual ROI* é a medição à distância d_0 , como referido no subcapítulo 3.7. Para testar essa medição, foi medida a distância entre dois cantos do local onde deveria ser aplicada cola e obteve-se uma distância de 53,406 mm na medição feita no *Autodesk Inventor*, e uma distância de 53,861 mm no *Virtual ROI* (Figura 64, à esquerda e à direita, respetivamente para cada medição, destacada por uma linha vermelha em cada imagem).

O desfasamento dos valores deve-se ao plano focal que está a ser medido, isto é, uma vez que para o *Virtual ROI*, a imagem é um plano 2D, a distância é medida sobre esse plano e objetos que se encontram mais próximo que esse plano aparentam ser maiores, o que faz com que a sua medição seja ligeira maior, como é o que acontece na Figura 64. No caso em que os objetos se encontram para lá do plano focado, estes serão mais pequenos, pelo que o seu comprimento será menor que o real.

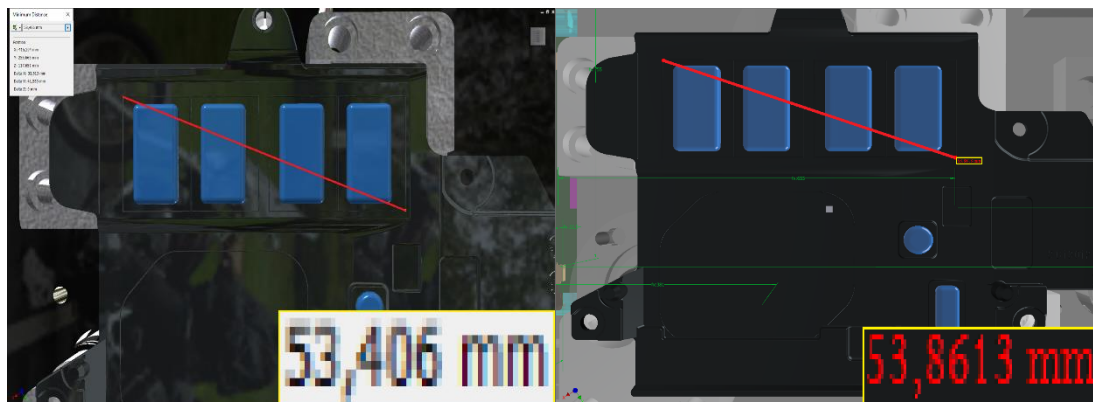


Figura 64 Comparação das medições feitas ao produto desenhado no *Inventor* (esquerda) e obtido no *Virtual ROI* (direita)



BOSCH

Universidade do Minho
Escola de Engenharia



6 Conclusões e perspetivas futuras

O objetivo desta dissertação foi desenvolver uma aplicação que permitisse simular imagens obtidas pelo sistema de visão, tendo como finalidade verificar se a mesma corresponde à configuração pretendida para a linha de produção. Paralelamente, foi objetivo estudar conceitos de ótica e física associados ao tema.

O sistema desenvolvido, tendo em conta os objetivos propostos, é capaz de:

- Permitir ao utilizador acrescentar e retirar câmaras, lentes e outros componentes, via ficheiros XML para os equipamentos correspondam aos atuais e disponíveis;
- Retirar o posicionamento e direção das câmaras existentes num cenário elaborado no *software Autodesk Inventor*, incluindo uma lista com os nomes das câmaras;
- Simular a resolução da câmara escolhida;
- Simular o *zoom* que o conjunto câmara/lente/espaçador provocam na imagem;
- Simular os detalhes esperados do objeto a validar (se estiverem corretamente definidos no cenário).

Além dos objetivos propostos, foi investigado o efeito da luz, filtros e escolha do círculo de confusão de forma a analisar:

- Efeitos na qualidade geral das imagens;
- Efeitos na identificação e distinção de cores através de contraste;
- Efeitos no campo de visão e de profundidade;
- Entre outros.

Foram realizadas pesquisas sobre os diferentes temas para adquirir informação e diferentes visões dos mesmos. Esta pesquisa teve como objetivo o estudo para obter imagens nítidas e claras, para, posteriormente serem utilizadas em sistemas de visão (recorrendo a diferentes métodos e técnicas).

Foi criado o *software Virtual ROI* para ser utilizado no grupo *Bosch* de modo a serem obtidas e analisadas as imagens provenientes das câmaras utilizadas nas linhas simuladas.



Foram ainda testados diversos conceitos e técnicas de melhoria de imagem (filtros, luz, entre outros) que não foram aplicados na versão atual do *Virtual ROI*, mas que no futuro podem vir a ser aplicados e melhorar a previsão e simulação das imagens.

Foi visto que os cálculos teóricos utilizados para formular o *Virtual ROI* coincidem com os valores obtidos nos testes reais, sendo que o valor de *Focus Metric* utilizado pelo *software Cognex In-Sight* se encontra desfasado de ambos. Este resultado foi obtido em todos os testes realizados o que indica que no futuro próximo se realizem mais testes com esta metodologia e comparar com outros *softwares* que permitam confirmar ou refutar estes resultados.

Relativamente à regra de calcular o valor de $d0$ com base nas distâncias Dn e Df (referido no final do subcapítulo 2.4), foi reconhecido que considerar que a distância $d0$ se encontra a $1/3$ de Dn e a $2/3$ de Df (sendo a diferença entre Df e Dn o valor a distribuir por $1/3$ e $2/3$) é na generalidade errado. Esta convenção apenas funciona para certos valores, não estando estes corretamente padronizados. Fora destes, a proporção $1/3$ para $2/3$ pode existir, não se verificando repetibilidade nos testes efetuados, como é possível ver na Tabela 5.

Aprendeu-se também que a utilização de filtros (subcapítulo 5.2) permite aumentar o contraste das fotografias, permitindo uma melhor distinção das cores da imagem. A utilização de apenas uma câmara a preto e branco (Cognex In-Sight 1403) perde qualidade quando se troca de um cenário em que as cores são predominantemente pretas e brancas para um em que as cores predominantes são o azul, verde e vermelho. Neste último caso, a utilização de filtros aumentou o contraste entre as cores, e concluiu-se que dependendo da cor predominante a analisar se pode aplicar diferentes filtros:

- Usar filtro azul (470 nm de comprimento de onda) no caso em que a cor predominante é o azul;
- Usar filtro vermelho (635 nm de comprimento de onda) no caso em que a cor predominante é o vermelho;
- Usar filtro verde (525 nm de comprimento de onda) no caso em que a imagem é colorida e é necessário distinguir o contraste entre as diferentes cores.



Comparando uma fotografia obtida numa bancada real com a mesma imagem gerada a partir do seu modelo 3D, recorrendo ao *Virtual ROI*, foi possível verificar que existia, em média, um erro de 4,5% no campo de visão. Mesmo existindo estes erros, a imagem gerada pelo *Virtual ROI* era semelhante o suficiente para permitir aos utilizadores ter uma ideia daquilo que vai aparecer quando montarem a linha.

Nos testes foi ainda verificada a medição de comprimentos à distância $d0$ na imagem gerada pelo *Virtual ROI*. Nestes testes assistiu-se a uma discrepância dos valores obtidos, que por norma se deviam à tentativa de medir comprimentos de superfícies que não se encontravam à distância $d0$ da câmara.

No futuro espera-se evoluir o *software* para permitir ao utilizador alterar outros parâmetros para que se obtenham diferentes vistas, como por exemplo, alterar a abertura e manipular a luminosidade e campo de profundidade, alterar o filtro aplicado à câmara e manipular o contraste da imagem, entre outros.

Espera-se ainda explorar as aberrações, aprofundando a aberração cromática e distorções almofada/barril que também foi possível observar nas fotografias obtidas dos testes práticos.



BOSCH

Universidade do Minho
Escola de Engenharia



Referências

- Nikon. (s.d.). *Nikon | Imaging Products | NIKKOR Lens Simulator*. Obtido de <http://imaging.nikon.com>: <http://imaging.nikon.com/lineup/lens/simulator/>
- Arbabi, S. (27 de 12 de 2011). *Engadget Primed: What is aperture, and how does it affect my photos?* Obtido de <https://www.engadget.com>: <https://www.engadget.com/2011/12/27/engadget-primed-what-is-aperture-and-how-does-it-affect-my-pho/>
- Autodesk. (s.d.). *Autodesk Inventor Professional*. Obtido de Autodesk: http://images.autodesk.com/adsk/files/inventor_professional_detail_bro_us.pdf
- Bemowski, M. (07 de 03 de 2014). *DOF simulator - Camera depth of field calculator with visual background blur and bokeh simulation*. Obtido de <https://dofsimulator.net>: <https://dofsimulator.net/en/>
- Berkenfeld, D., Corrado, M., & Silverman, L. (s.d.). *Distância Focal | Entendendo a Distância Focal & da lente de zoom da Câmera | Nikon da Nikon*. Obtido de <https://www.nikon.com.br>: <https://www.nikon.com.br/learn-and-explore/a/tips-and-techniques/introdu%C3%A7%C3%A3o-entendendo-a-dist%C3%A2ncia-focal.html>
- Bhatia, S. (22 de 10 de 2013). *MVC Introduction - CodeProject*. Obtido de <https://www.codeproject.com>: <https://www.codeproject.com/Tips/669195/MVC-Introduction>
- Bisquolo, P. A. (06 de 04 de 2006). *óptica geométrica: Refração da luz*. Obtido de <https://educacao.uol.com.br>: <https://educacao.uol.com.br/disciplinas/fisica/optica-geometrica-refracao-da-luz.htm>
- Câmera Neon. (27 de 09 de 2013). *Distância focal de uma lente e zoom - fotografia*. Obtido de <http://www.cameraneon.com>: <http://www.cameraneon.com/tecnicas/distancia-focal/>



Universidade do Minho
Escola de Engenharia



- Canon. (s.d.). *Canon Lenses*. Obtido de <http://cusa.canonlenses.ca: http://cusa.canonlenses.ca/lens-tester?LensID=30&CategoryID=6&leftLensID=49&rightLensID=30>
- Carlos-vialfa. (22 de 11 de 2017). *Princípios básicos de exposição*. Obtido de <https://br.ccm.net: https://br.ccm.net/faq/9613-principios-basicos-da-exposicao>
- Carr, D. (05 de 06 de 2017). *Angle of View Vs. Field of View. Is There Even a Difference?!* Obtido de <https://shuttermuse.com: https://shuttermuse.com/angle-of-view-vs-field-of-view-fov-aov/>
- Crisp, S. (21 de 03 de 2017). *Camera sensor size: Why does it matter and exactly how big they are?* Obtido de <https://newatlas.com: https://newatlas.com/camera-sensor-size-guide/26684/>
- DCM Sistemas. (s.d.). *PLC0615*. Obtido de <vision-supplies.com: https://vision-supplies.com/Content/Files/Datasheets/plc0615.pdf>
- Diane Berkenfeld, D. B. (s.d.). *Focal Length | Understanding Camera Zoom & Lens Focal Length | Nikon from Nikon*. Obtido de <nikonusa.com: https://www.nikonusa.com/en/learn-and-explore/a/tips-and-techniques/understanding-focal-length.html>
- Dietrich, E., Wenzel, M., Brinkley, T., & Kulikov, P. (20 de 09 de 2017). *The history of C# - C# Guide | Microsoft Docs*. Obtido de <https://docs.microsoft.com: https://docs.microsoft.com/en-us/dotnet/csharp/whats-new/csharp-version-history>
- Digital Camera Magazine. (01 de 08 de 2016). *Photography basics: Angle of view | TechRadar*. Obtido de <https://www.techradar.com: https://www.techradar.com/how-to/photography-video-capture/cameras/photography-basics-angle-of-view-1325784>
- Focus Escola de Fotografia. (28 de 09 de 17). *A LUZ VISÍVEL*. Obtido de <https://focusfoto.com.br: https://focusfoto.com.br/luz-visivel-2/>



- Golowczynski, M. (02 de 05 de 2017). *Sensor sizes explained: what you need to know* | TechRadar. Obtido de <https://www.techradar.com>: <https://www.techradar.com/how-to/sensor-sizes-explained-what-you-need-to-know>
- H. Li, J. L. (1994). Using fuzzy logic to detect dimple defects of polished wafer surfaces. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 1530-1543.
- Hull, R. (15 de 09 de 2015). *Depth of Field: The 1/3 - 2/3 Myth*. Obtido de Corbell Photographic Workshops: <https://www.tonycorbell.com/blog/2015/9/14/depth-of-field-the-13-23-myth>
- Introduction to Depth of Field in Modern Photography*. (s.d.). Obtido de <http://www.photoaxe.com>: <http://www.photoaxe.com/introduction-to-depth-of-field-in-modern-photography/>
- J.L.C. Sanz, D. P. (1988). Machine vision algorithm for automated inspection of thin-film disk heads. *IEEE Transactions on PAMI* 10 , 830–848.
- Kilhian, K. (02 de 04 de 2010). *Prismas Ópticos*. Obtido de O Baricentro da Mente: <https://www.obaricentrodamente.com/2010/04/prismas-opticos.html>
- Lockhart, J. (05 de 03 de 2014). *Collection of Online Camera Simulators & Lens Simulators - cameraplex*. Obtido de <https://www.cameraplex.com>: <https://www.cameraplex.com/blog/collection-of-online-camera-simulators-lens-simulators>
- Mansurov, N. (08 de 06 de 2015). *Camera Resolution Explained*. Obtido de photographylife.com: <https://photographylife.com/camera-resolution-explained>
- Microsoft. (s.d.). *XML for uninitiated - Office Support*. Obtido de <https://support.office.com>: <https://support.office.com/en-us/article/XML-for-the-uninitiated-a87d234d-4c2e-4409-9cbc-45e4eb857d44>
- Motomas, A. (27 de 04 de 2016). *Porquê ocorrem falhas na formação da imagem em lentes? Aberrações*. Obtido de <https://lusoacademia.org>:



<https://lusoacademia.org/2016/04/27/porque-ocorrem-falhas-na-formacao-da-imagem-em-lentes-aberracoes/>

Nave, R. (s.d.). *Stops, Pupils, and Apertures*. Obtido de <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu>:
<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/geoopt/stop.html>

Novini, A. (1990). Fundamentals of machine vision inspection in metal container glass manufacturing. *Vision'90 Conference*.

Optical zoom - Learn - Snapsort. (s.d.). Obtido de <http://snapsort.com>:
<http://snapsort.com/learn/lens/zoom>

Photography Mad. (s.d.). *Camera Lenses | Photography Mad*. Obtido de <https://www.photographymad.com>:
<https://www.photographymad.com/pages/view/lenses>

Pinola, M. (07 de 07 de 2015). *This Cheat Sheet Explains Camera Filters and When to Use Them*. Obtido de lifehacker: <https://lifelife.com/this-cheat-sheet-explains-camera-filters-and-when-to-us-1716248307>

Ray Optics Simulation. (12 de 04 de 2018). Obtido de <https://ricktu288.github.io>:
<https://ricktu288.github.io/ray-optics/simulator/>

Reenskaug, T. (12 de 02 de 2007). Obtido de http://heim.ifi.uio.no/~trygver/2007/MVC_Originals.pdf

Santacreu, A. A. (s.d.). *How to shoot stunning still life set ups for your paintings - Part 1 of 3*. Obtido de <http://willkempartschool.com>: <http://willkempartschool.com/how-to-shoot-stunning-still-life-set-ups-for-your-paintings-part-1/>

Schnick, J. W. (18 de 06 de 2017). *Volume B: Electricity, Magnetism, and Optics*. Obtido de phys.libretexts.org:
[https://phys.libretexts.org/TextBooks_and_TextMaps/University_Physics/Book%3A_Calculus-Based_Physics_\(Schnick\)/Volume_B%3A_Electricity%2C_Magnetism%2C_and_Optics](https://phys.libretexts.org/TextBooks_and_TextMaps/University_Physics/Book%3A_Calculus-Based_Physics_(Schnick)/Volume_B%3A_Electricity%2C_Magnetism%2C_and_Optics)



Silva, D. C. (s.d.). *Luz visível. O espectro da luz visível* . Obtido de Mundo Educação:
<https://mundoeducacao.bol.uol.com.br/fisica/luz-visivel.htm>

Spherical Coordinates (Latitude, Longitude) - Sistema de coordenadas. (08 de 04 de 2008). Obtido de
[https://pt.wikipedia.org:
https://pt.wikipedia.org/wiki/Sistema_de_coordenadas#/media/File:Spherical_Coordinates_\(Latitude,_Longitude\).svg](https://pt.wikipedia.org:https://pt.wikipedia.org/wiki/Sistema_de_coordenadas#/media/File:Spherical_Coordinates_(Latitude,_Longitude).svg)

Srivastava, B. (30 de 01 de 2017). *History Of C# Programming Language*. Obtido de
[https://www.c-sharpcorner.com:
https://www.c-sharpcorner.com/blogs/history-of-c-sharp-programming-language](https://www.c-sharpcorner.com:https://www.c-sharpcorner.com/blogs/history-of-c-sharp-programming-language)

Sudhakaran, S. (s.d.). *What is the Flange Focal Distance and How to Find More Lenses for Your Camera*. Obtido de [https://wolfcrow.com:
https://wolfcrow.com/blog/what-is-the-flange-focal-distance-and-how-to-find-more-lenses-for-your-camera/](https://wolfcrow.com:https://wolfcrow.com/blog/what-is-the-flange-focal-distance-and-how-to-find-more-lenses-for-your-camera/))

T. Torres, J. S. (1998). Automated real-time visual inspection system for high-resolution superimposed printings. *Image and Vision Computing* 16, 947-958.

Tadhg Brosnan, D.-W. S. (2004). Improving quality inspection of food products by computer vision—a review. *Journal of Food Engineering*, 3-16.

Tommaselli, A. M. (2009). *Fotogrametria Básica – Ótica Fotogramétrica*. Presidente Prudente, Brasil: Edição do Autor.

Vision Doctor. (s.d.). *Sensor and pixel sizes*. Obtido de vision doctor: <http://www.vision-doctor.com/en/camera-technology-basics/sensor-and-pixel-sizes.html>

w3schools.com. (s.d.). *XML Introduction*. Obtido de [https://www.w3schools.com:
https://www.w3schools.com/xml/xml_what_is.asp](https://www.w3schools.com:https://www.w3schools.com/xml/xml_what_is.asp)

Wallbase. (s.d.). *Depth of Field | Rainbow Things*. Obtido de [https://www.pinterest.com:
https://www.pinterest.com/pin/69031806758129371/](https://www.pinterest.com:https://www.pinterest.com/pin/69031806758129371/)

Walter, S. (24 de 08 de 2008). *The Evolution of MVC*. Obtido de [stephenwalther.com:
http://stephenwalther.com/archive/2008/08/24/the-evolution-of-mvc](http://stephenwalther.com:stephenwalther.com/archive/2008/08/24/the-evolution-of-mvc)



Universidade do Minho
Escola de Engenharia



What is the Flange Focal Distance and How to Find More Lenses for Your Camera. (s.d.). Obtido de <https://wolfcrow.com>: <https://wolfcrow.com/blog/what-is-the-flange-focal-distance-and-how-to-find-more-lenses-for-your-camera/>

Zack. (s.d.). *Mitakon CREATOR 85mm f/2 Review.* Obtido de <http://blogdozack.com.br/>: <http://blogdozack.com.br/index.php/portfolio/mitakon-creator-85mm-f2/>

Zerrenner, R. (s.d.). *Distância de registro/flange - Lentes Vintage.* Obtido de <http://lentesvintage.com.br>: <http://lentesvintage.com.br/distancia-de-flange/>

Anexos

Anexo A – Fotografias obtidas dos testes práticos

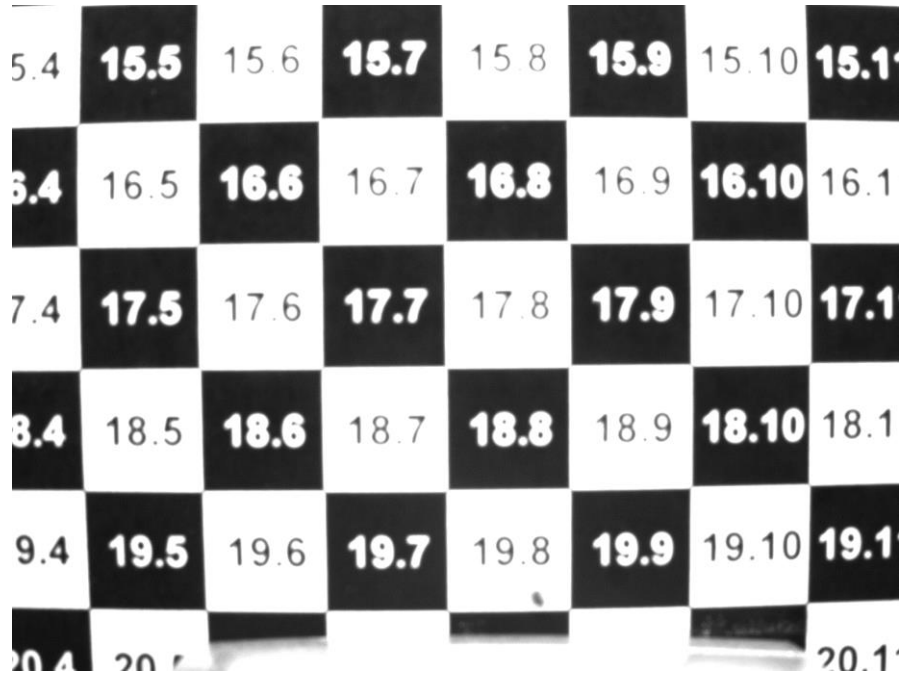


Figura A1.1 Pior resultado de Focus Metric, com um valor de 5 e distância abaixo de d_0 , sem filtros



Figura A1.2 Pior resultado de Focus Metric (valor de 5) e distância abaixo de d_0 , com filtro azul

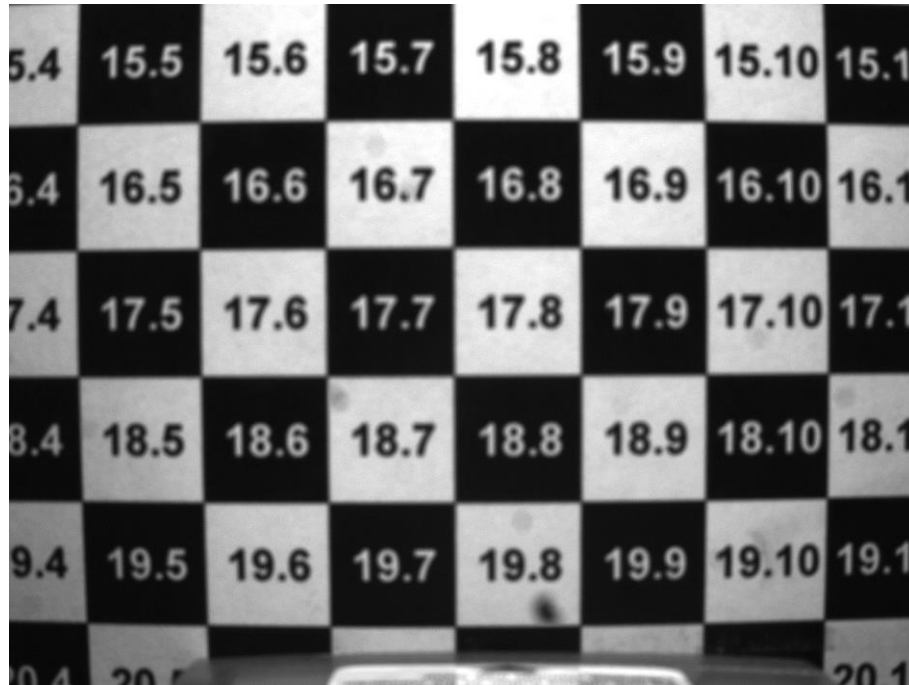


Figura A1.3 *Pior resultado de Focus Metric (valor de 5) e distância abaixo de d_0 , com filtro verde*

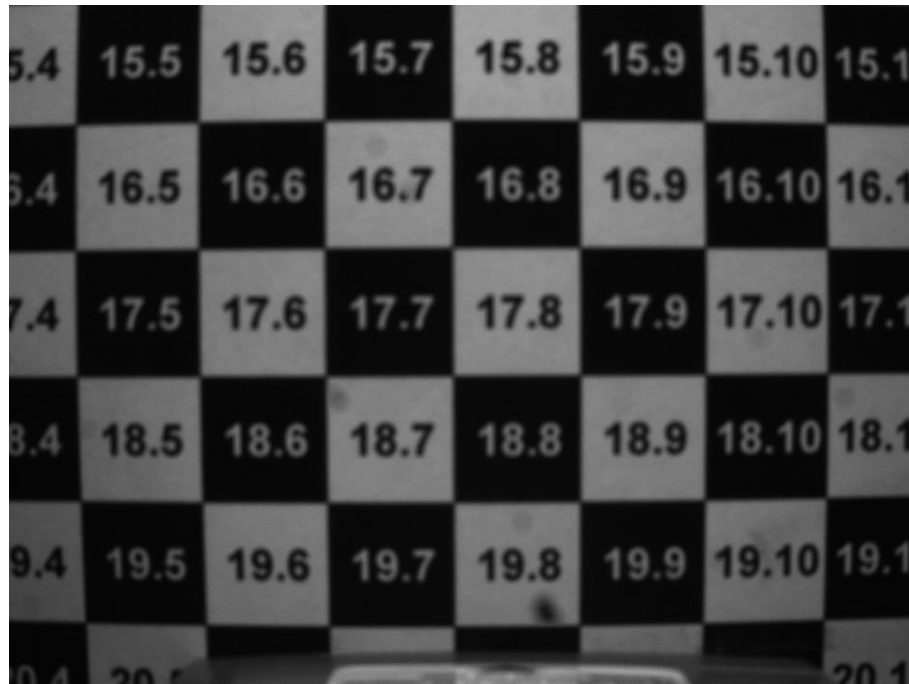


Figura A1.4 *Pior resultado de Focus Metric (valor de 5) e distância abaixo de d_0 , com filtro vermelho*



Figura A2.1 *Pior resultado de Focus Metric (valor de 10,2) e distância acima de d_0 , sem filtros*

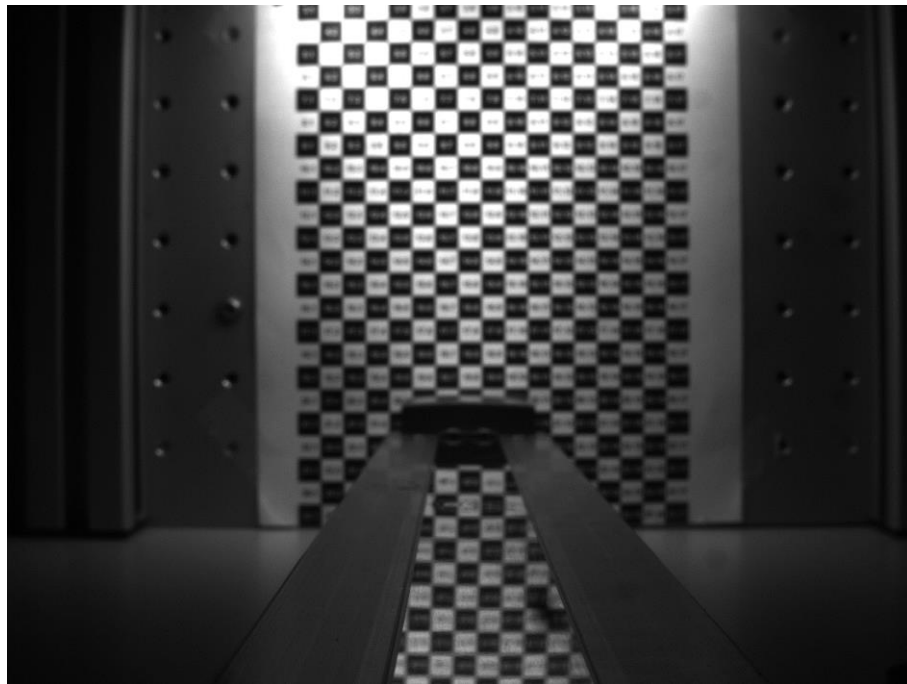


Figura A2.2 *Pior resultado de Focus Metric (valor de 10,2) e distância acima de d_0 , com filtro azul*



Figura A2.3 Pior resultado de Focus Metric (valor de 10,2) e distância acima de d_0 , com filtro verde



Figura A2.4 Pior resultado de Focus Metric (valor de 10,2) e distância acima de d_0 , com filtro vermelho

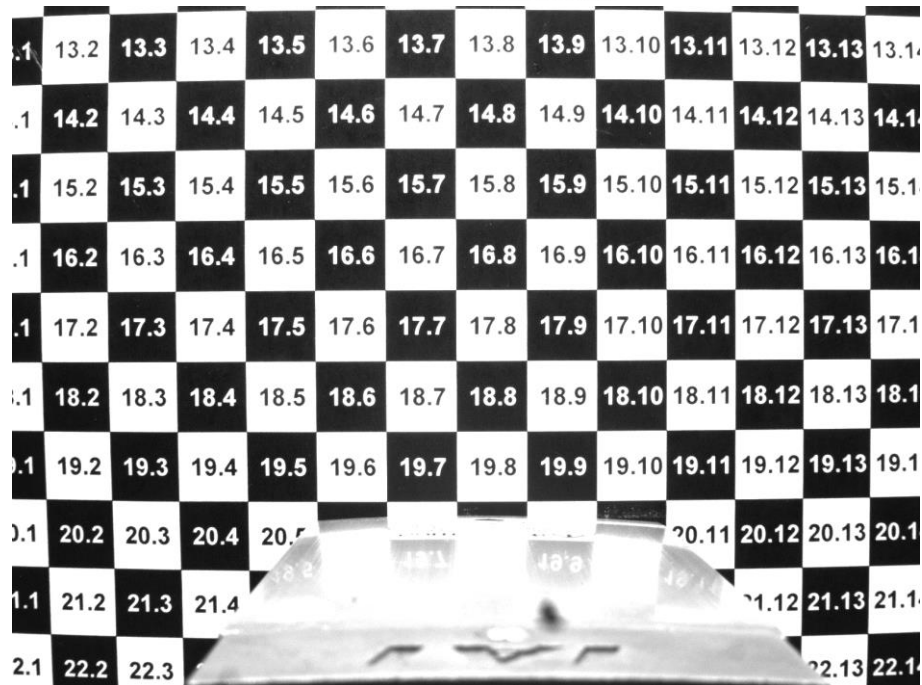


Figura A3.1 Melhor resultado de Focus Metric (valor de 35) e distância igual a d_0 , sem filtros

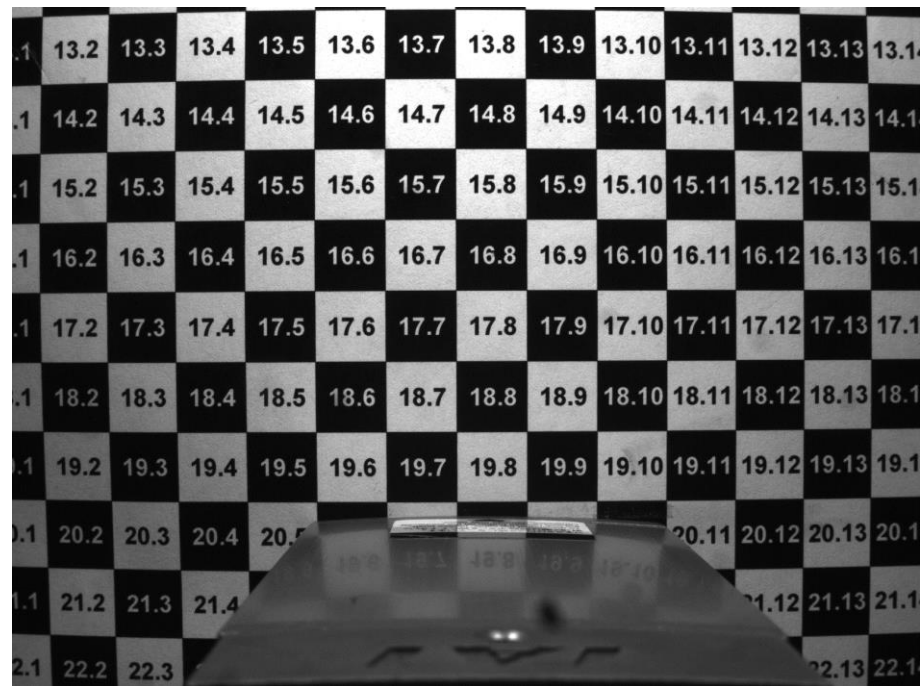


Figura A3.2 Melhor resultado de Focus Metric (valor de 35) e distância igual a d_0 , com filtro azul

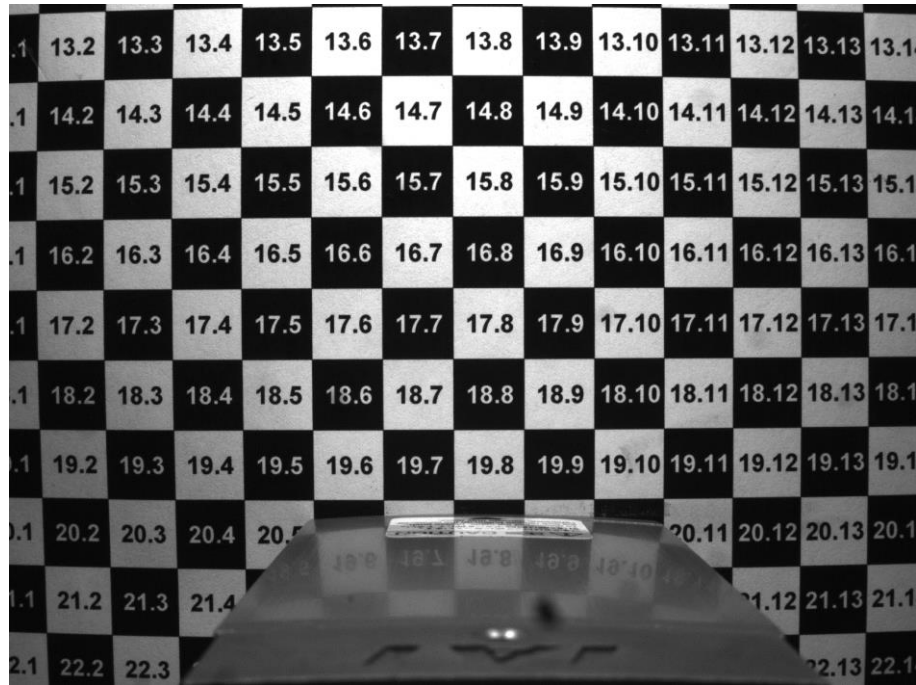


Figura A3.3 Melhor resultado de Focus Metric (valor de 35) e distância igual a d_0 , com filtro verde

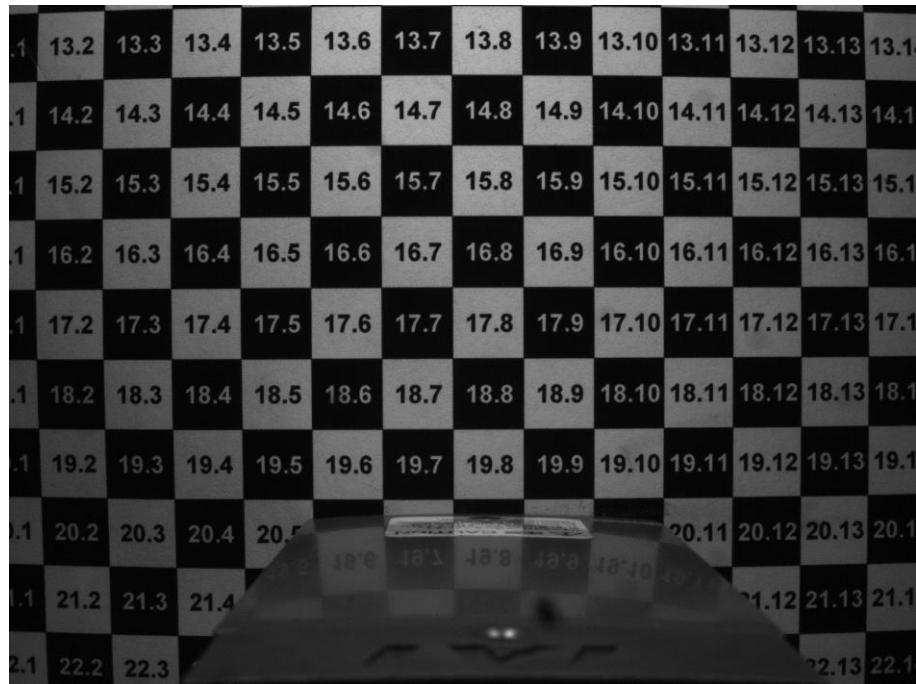


Figura A3.4 Melhor resultado de Focus Metric (valor de 35) e distância igual a d_0 , com filtro vermelho

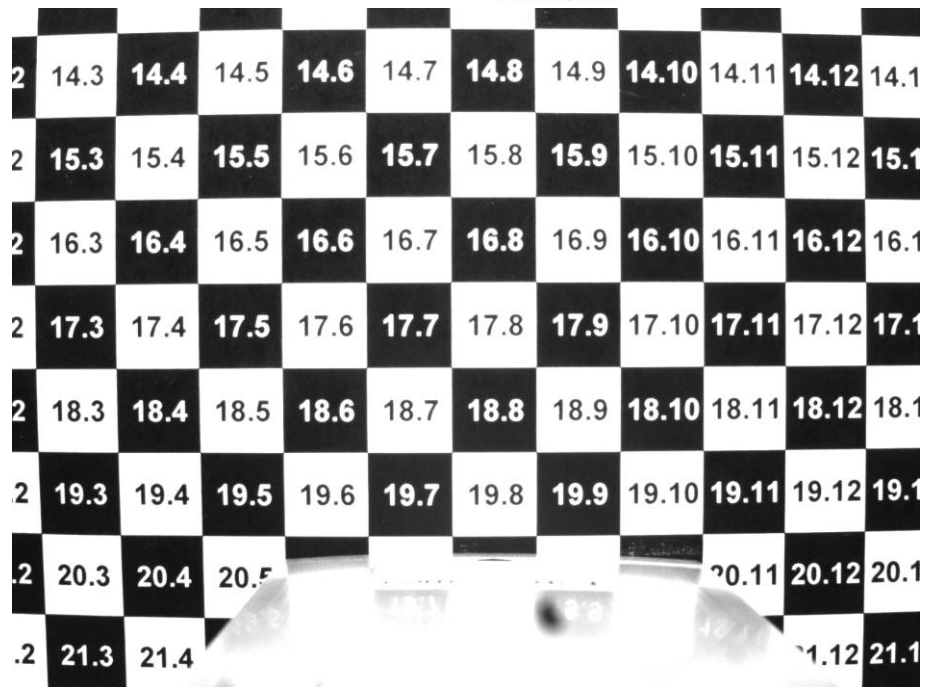


Figura A4.1 Resultado de Focus Metric intermédio (valor de 20) e distância abaixo de d_0 , sem filtros



Figura A4.2 Resultado de Focus Metric intermédio (valor de 20) e distância abaixo de d_0 , com filtro azul



Figura A4.3 Resultado de Focus Metric intermédio (valor de 20) e distância abaixo de d_0 , com filtro verde



Figura A4.4 Resultado de Focus Metric intermédio (valor de 20) e distância abaixo de d_0 , com filtro vermelho



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Anexo B – Lista de câmaras disponíveis no *Virtual ROI*

Tabela B1 Lista de câmaras existentes no ficheiro “.xml” do *Virtual ROI*

Modelo	Diagonal (mm)	Comprimento Pixel (nm)	Largura Pixel (nm)	Comprimento Resolução (pixéis)	Largura Resolução (pixéis)
In-Sight 1020	5,92	7,4	7,4	640	480
In-Sight 1050	5,92	7,4	7,4	640	480
In-Sight 1100	5,92	7,4	7,4	640	480
In-Sight 1110	5,92	7,4	7,4	640	480
In-Sight 1400	5,92	7,4	7,4	640	480
In-Sight 1410	5,92	7,4	7,4	640	480
In-Sight 1403	8,8	4,4	4,4	1600	1200
In-Sight 1413	8,8	4,4	4,4	1600	1200
In-Sight 5100	5,92	7,4	7,4	640	480
In-Sight 5110	5,92	7,4	7,4	640	480
In-Sight 5100C	5,92	7,4	7,4	640	480
In-Sight 5401	5,952	4,65	4,65	1024	768
In-Sight 5411	5,952	4,65	4,65	1024	768
In-Sight 5400C	5,92	7,4	7,4	640	480
In-Sight 5403	8,8	4,4	4,4	1600	1200
In-Sight 5413	8,8	4,4	4,4	1600	1200
In-Sight 5400	5,92	7,4	7,4	640	480
In-Sight 5410	5,92	7,4	7,4	640	480
In-Sight 7010	5,3	5,3	5,3	800	600
In-Sight 7020	5,3	5,3	5,3	800	600
In-Sight 7050	5,3	5,3	5,3	800	600
In-Sight 7200	5,3	5,3	5,3	800	600
In-Sight 7210	5,3	5,3	5,3	800	600
In-Sight 7230	5,3	5,3	5,3	800	600
In-Sight 7400	5,3	5,3	5,3	800	600
In-Sight 7410	5,3	5,3	5,3	800	600
In-Sight 7430	5,3	5,3	5,3	800	600
In-Sight 7402	8,7	5,3	5,3	1280	1024
In-Sight 7412	8,7	5,3	5,3	1280	1024
In-Sight 7432	8,7	5,3	5,3	1280	1024
In-Sight 7600	4,5	4,5	4,5	800	600
In-Sight 7800	4,5	4,5	4,5	800	600
In-Sight 7801	7,38	4,5	4,5	1280	1024
In-Sight 7802	9	4,5	4,5	1600	1200
In-Sight 8200	9	4,5	4,5	640	480
In-Sight 8400	9	4,5	4,5	640	480
In-Sight 8401	9	4,5	4,5	1280	1024
In-Sight 8402	9	4,5	4,5	1600	1200
In-Sight 8405	7,13	2,2	2,2	2592	1944