

VISÃO ARTIFICIAL NA MEDIÇÃO E CONTROLE DA PRODUÇÃO E FLUXO DE MATERIAIS - DO MANUSEIO DE GRANEL ATÉ AS LINHAS DE PRODUÇÃO ¹

Alberto Ferreira de Souza ²

Franco Machado ³

Resumo

O artigo discute processamento de imagem, visão computacional e visão artificial, propondo aplicações adequadas de cada uma, e analisando suas vantagens e limitações. São relatados casos de aplicações de tecnologias de visão computacional e processamento de imagens no controle de qualidade da produção em larga escala, com especial enfoque nos mais recentes avanços nas tecnologias de visão artificial estéreo aplicada a ambientes não estruturados como o florestal, de mineração e siderurgia.

Palavras-chave: Visão artificial; Dimensionamento e medição por imagem; Controle inteligente; Processamento de imagem.

APPLYING ARTIFICIAL VISION TO MEASURE AND CONTROL PRODUCTION AND MATERIAL FLOW – FROM GRAIN PRODUCTS HANDLING TO PRODUCTION LINE

Abstracts

This work discusses image processing, computer vision and artificial vision, proposing their more suitable uses and analyzing advantages and restrictions of each one. We describe some applications of computer vision and image processing on quality control in large scale production plants, giving special attention to the most recent advances on the stereo artificial vision technologies applied to unstructured environments like forestry, mining and steel making.

Key words: Artificial vision; Dimensioning and measurement by image; Intelligent control; Image processing.

¹ *Contribuição técnica ao XXVI Seminário de Logística, 19 e 20 de junho de 2007, Vitória - ES*

² *Professor Adjunto, Universidade Federal do Espírito Santo, PhD em Computer Science - University College London (1999)*

³ *Sócio Diretor da Mogai Tecnologia de Informação, Bacharel em Ciência da Computação, Pós-Graduado em Gestão de Marketing pela Fundação Getúlio Vargas*

1- Introdução

O crescimento do mercado de automação tem sido maior no Brasil e outros países em desenvolvimento do que em países desenvolvidos [ABINEE], onde os custos de mão de obra são maiores. Isso sugere que o uso da automação industrial nos países desenvolvidos se encontra amadurecida e há poucas fábricas a se automatizar nestes mercados. Esta observação pode nos levar a duas conclusões, sendo a primeira a de que a adoção de automação tende a se estabilizar, e a segunda, na qual acreditamos, a de que a automação precisa evoluir para atender a novos requisitos que não estão atendidos devido a limitações que os sistemas de automação atuais possuem.

Uma das opções para aprimorar os sistemas de automação atuais que se mostra viável é o desenvolvimento de novos sensores e algoritmos de interpretação dos dados que permitam maior capacidade cognitiva a estes sistemas. A cognição pode ser definida como a capacidade de compreender o mundo e as idéias – dotar sistemas de automação de maior capacidade cognitiva adicionará mais inteligência à automatização dos processos, permitindo que os equipamentos tenham mais autonomia e sejam capazes de tomar decisões a qualquer momento em função da configuração do ambiente.

O objetivo deste artigo é apresentar tecnologias baseadas em imagens digitais que servem para medir, localizar no espaço e identificar padrões para controle de qualidade e outros que poderão cumprir este papel. Estas tecnologias já estão sendo introduzidas com sucesso em várias aplicações que serão exploradas. A possibilidade de utilizar estas tecnologias para extrair informações em ambientes não estruturados, que é como chamamos ambientes como florestas e pátios de estocagem de minério é também discutida. Medir dimensões e volumes nestes ambientes é difícil e de grande valia para as empresas.

2- Antecedentes à Medição por Imagens

Independente da tecnologia, a atividade de medição do que se produz e se consome é absolutamente indispensável no funcionamento de qualquer indústria.

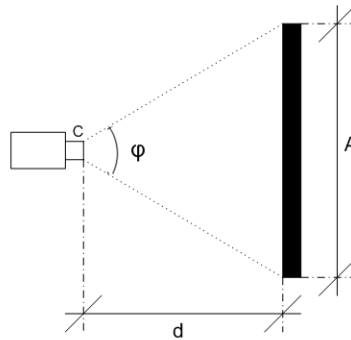
A demanda por maior assertividade entre o que foi pedido pelo cliente e o que foi produzido pode ser atendida pela automação tradicional, mas há aplicações onde o uso de tecnologias baseadas em câmeras pode melhorar a qualidade do produto final ou evitar perdas no processo, como é o caso da produção de placas de aço, em que medir todas as placas instantes após o seu lingotamento é uma tarefa árdua e na maioria dos casos não atendida devido à alta temperatura das placas, mas que pode gerar ganhos significativos para uma siderúrgica. Além desta, a medição automática da produção em ambientes como pátios de minério, minas e florestas também pode gerar melhoria nos processos, redução de desperdícios, controle de resíduos entre outras vantagens.

Além destas tradicionais demandas de muitas fábricas, novas exigências se fazem no mercado, principalmente as relacionadas ao resgate de créditos de carbono [EBRB], que pode gerar lucros consideráveis para empresas florestais, usinas de álcool e biodiesel ou siderúrgicas, e também exigências relacionadas à legislação Sarbanes-Oxley [SOX1] e [SOX2], a qual deve se submeter qualquer empresa com ações listadas em bolsas americanas, e que exigem maior controle sobre os estoques e outros ativos, e automatização no processo como um todo. Estas duas novas demandas têm impacto direto no resultado financeiro e no valor de mercado das fábricas.

3- Processamento de Imagem e Visão Computacional - Aplicações Mono Câmera

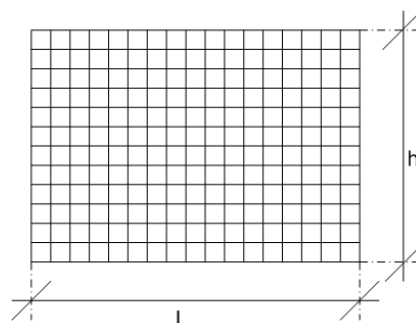
As aplicações com uma só câmera já tem um longo histórico na automação, embora as soluções desenvolvidas inicialmente tenham sua aplicação um pouco mais restrita.

O uso de uma só câmera tem sua aplicação mais básica no esquema da figura abaixo:



Na figura, a câmera C está posicionada a uma distância d do alvo A, e a câmera possui um ângulo de abertura φ .

Na configuração mostrada a câmera pode medir áreas (esta capacidade pode ser limitada por problemas relacionados à distorção na imagem que é gerada pelas câmeras) que são representadas por uma matriz de pixels (pontos da imagem) como a mostrada na figura abaixo:



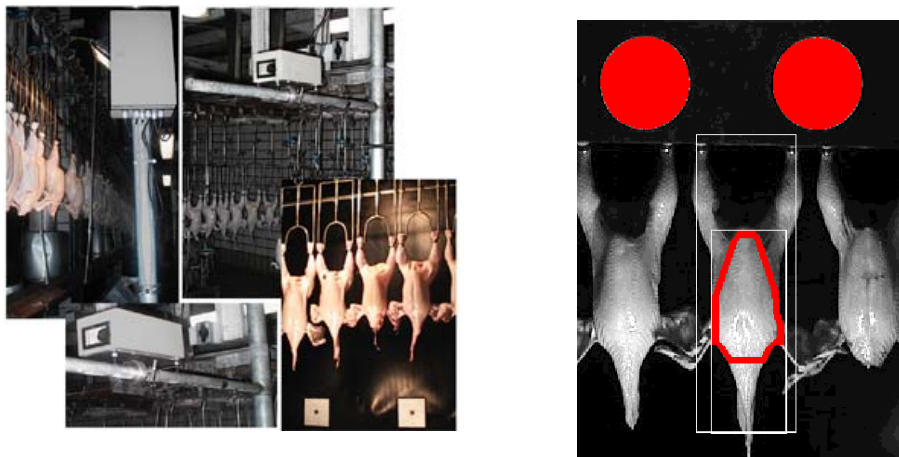
Na figura, a altura h e o comprimento l correspondem ao número de pixels gerados pela câmera nestas duas dimensões (novamente, há considerações técnicas relacionadas à distorção das imagens produzidas pela câmera que não trataremos neste artigo e que podem gerar forte impacto no resultado da solução).

A medição neste caso é feita com uma conta simples de trigonometria, baseado na distância d, no ângulo de abertura φ e em parâmetros intrínsecos da câmera. Assim, temos uma relação que transforma um pixel em uma unidade de medida. É importante notar que a precisão vai depender da resolução da câmera, e que a distância da câmera até o alvo deve ser calculada em função da precisão que se deseja e do ângulo de abertura da câmera. Por exemplo, o tamanho máximo que pode ter um alvo a uma distância de 10 metros, capturado por uma câmera com ângulo de abertura de 110° na horizontal, é 28 metros. Se a câmera possui

resolução de 800x600 pixels, a precisão que se tem neste caso é de 1 pixel para cada 3 cm, aproximadamente.

Um importante limitador deste tipo de solução é que, se a distância d variar, a precisão da medida também diminui. Desta forma, este modelo possui a limitação de a câmera necessitar ser fixa, além da distância até aos alvos que se deseja medir também precisar ser constante. Uma vantagem do modelo, por outro lado, é a simplicidade dos cálculos para se medir os alvos; contudo, a detecção de seus limites pode ser computacionalmente bastante complexa.

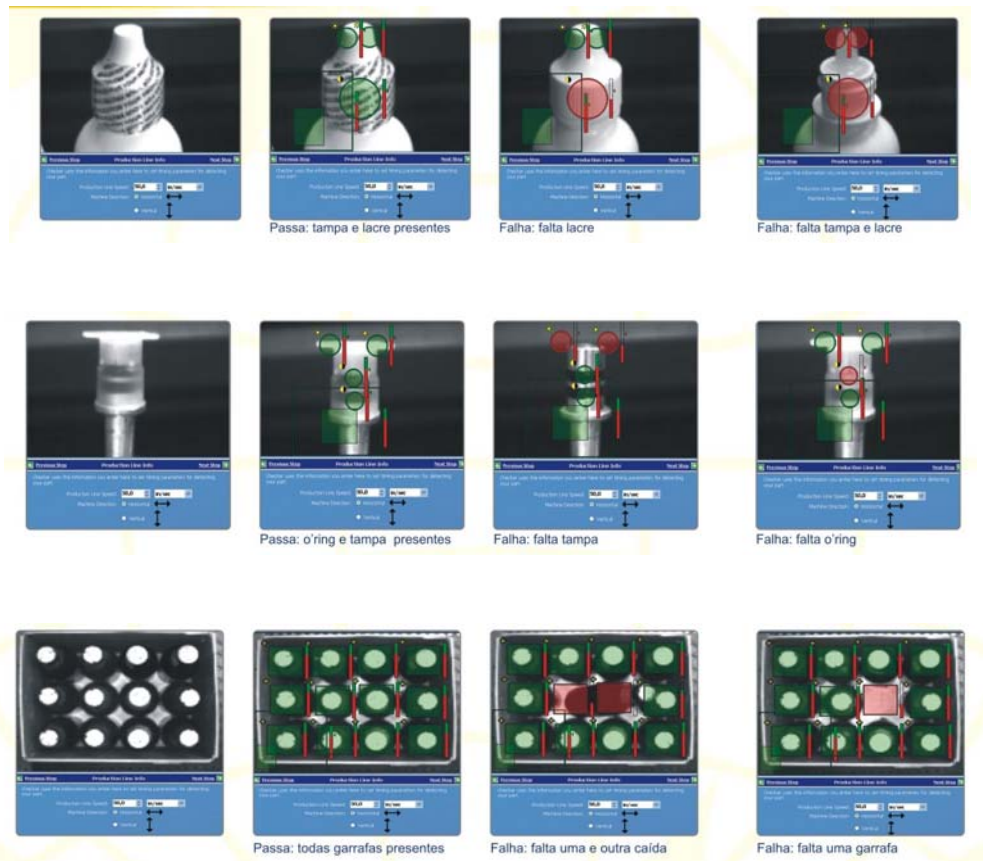
As características citadas anteriormente restringem as aplicações de sistemas com uma só câmera a ambientes estruturados, onde os elementos que se deseja controlar assumem posições conhecidas no ambiente. Particularmente, tais aplicações se encontram em linhas de produção já automatizadas, gerando ganhos principalmente àquelas que possuem alta produção, como linhas de abate de frangos por exemplo: dois dos maiores abatedouros nacionais utilizam uma solução desenvolvida no Brasil para estimar o peso de um lote de frangos abatidos através das dimensões de parte de cada frango [Taube]. Na figura abaixo são mostrados exemplo de telas deste sistema. Note que ele necessita de um anteparo por trás dos alvos para fins de filtragem da imagem e isolamento do alvo do resto do ambiente (ver imagem à direita na figura abaixo).



Com a evolução da microeletrônica, surgiram câmeras com unidade de processamento (CPU) e memória embutidos. Estas câmeras podem ser ligadas diretamente aos sistemas de controle fabril, sem necessidade de um computador para pré-processar suas imagens. Elas agregam diversas funcionalidades como contagem, seleção e classificação de peças, leitura de código de barra (1-D) e Data Matrix (2-D), reconhecimento óptico de caracteres (OCR), reconhecimento de cores, além de tipicamente possuir funcionalidade de reconhecimento de padrões para identificação de presença ou ausência de peças em uma montagem ou de objetos em uma peça. Desta forma, esta tecnologia permite inspeção de 100% da produção em alta velocidade, chegando em alguns modelos de câmera a 4.500 itens por minuto.

Esta tecnologia agrega características bastante interessantes para soluções de controle de qualidade, principalmente em linhas de produtos bastante padronizados e produzidos em grande quantidade, como remédios, bebidas ou autopeças. Por

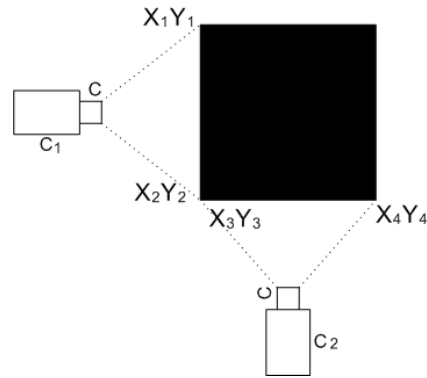
outro lado, possui as limitações citadas para aplicações de uma só câmera. Além disto, para aplicações de reconhecimento de padrões, OCR e outras, existe uma maior sensibilidade à iluminação sendo demandado estudos prévios do ambiente e dos alvos para determinar a melhor configuração de luz e posicionamento, que não podem variar de forma alguma durante a operação do sistema. As figuras abaixo mostram aplicações utilizando estas tecnologias (mais informações podem ser conseguidas em [COGNEX]).



A tendência desta tecnologia é o aumento da capacidade de processamento, com uso de processadores mais rápidos e mais memória, o que permitirá desenvolvimento de novos e mais robustos aplicativos internos (firmware) às câmeras. Este aumento da capacidade de processamento tende a permitir o aumento da resolução das câmeras, que hoje são tipicamente menores que as câmeras comumente existentes no mercado.

4- Aplicações de Duas ou Mais Câmeras

As tecnologias que utilizam duas câmeras visam criar sensores que geram informações com localização tridimensional a partir de dois sensores (câmeras) puramente bidimensionais. A aplicação mais simples utiliza a imagem de duas (ou mesmo mais) câmeras para calcular a posição e tamanho do alvo a partir da geometria do ambiente e da posição relativa das câmeras, conforme mostrado abaixo.

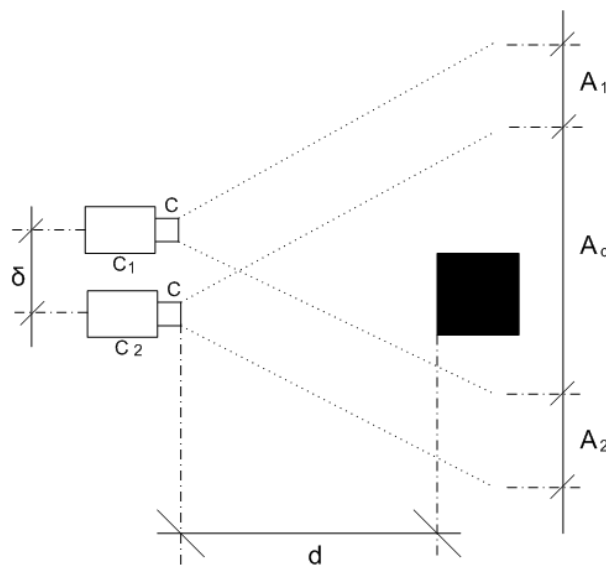


Na figura, as posições bidimensionais (X_i, Y_j) de cada ponto de interesse no alvo são localizadas nas imagens das câmeras (C_1 e C_2) e, posteriormente, um algoritmo utiliza estes dados e a localização de cada câmera no espaço tridimensional para calcular a posição no espaço tridimensional dos pontos, transformando-os em novos pontos (X'_i, Y'_j, Z'_k) , que posicionam estes pontos de interesse em um referencial conhecido do mundo 3D.

5- Aplicações de Imagens Estereográficas Geradas por Duas Câmeras

Aplicações baseados neste tipo de tecnologia têm sido referenciados no mercado como aplicações de Visão Artificial, diferentemente de aplicações monocâmeras que apenas filtram as imagens, referenciadas como Processamento de Imagens, ou de aplicações que fornecem ao computador informações que permitem a tomada de decisões ou identificação de padrões, comumente chamadas de Visão Computacional.

Esta tecnologia emprega imagens capturadas a partir de duas câmeras paralelas entre si, que são usadas para extração de informações tridimensionais do ambiente. Sua inspiração vem do sistema visual humano. O seu arranjo das câmeras é mostrado na imagem abaixo.



As imagens geradas são bastante semelhantes entre si, a não ser pelo deslocamento δ (delta) entre elas, que cria uma área A_1 visível apenas para a câmera C_1 e outra área A_2 visível à câmera C_2 , e, ao centro, a área A_c que aparece nas duas imagens. As duas imagens da área A_c tornam possível a reconstrução 3D de objetos nesta área.

Imagens capturadas por pares de câmeras neste tipo de arranjo podem ser visualizadas em 3D com óculos especiais conectados a computador que as exiba usando software apropriado. Este software “engana” o nosso cérebro apresentando na tela do computador as imagens alternadamente, em alta velocidade, de forma que nossa visão não consiga perceber as imagens se alternando. Os óculos, por sua vez, permitem que apenas um olho veja a imagem gerada por uma câmera, bloqueando a visão do outro olho sempre que a imagem na tela do computador é chaveada. Com esta dinâmica, cada olho vê apenas a imagem gerada por uma câmera, exatamente como são as imagens capturadas pelos olhos, e, como as imagens são chaveadas muito rapidamente, nosso cérebro não percebe que as imagens são mostradas uma por vez, mas continuamente. Desta forma, o usuário do sistema vê uma imagem tridimensional.

Com a ajuda de sistemas especializados, esta tecnologia serviu e ainda serve para permitir reconstruções tridimensionais a partir de imagens de satélite, o estudo do relevo de regiões e até a reconstrução tridimensional de cidades. Esta tecnologia tem aplicações militares e civis, sendo uma excelente ferramenta para auxiliar a escolha do melhor ponto para localização de estações rádio-base para telefones celulares, por exemplo.

5.1 Reconstrução 3D automática

A reconstrução 3D a partir de imagens capturadas por pares de câmeras discutida acima acontece na mente da pessoa que usa o sistema. Alguns trabalhos recentes na área de Visão Artificial relatam evoluções na tecnologia de interpretação de imagens estereográficas através da modelagem, por meio de algoritmos computacionais, do mecanismo que as interpreta no córtex visual humano [Oliveira]. Uma característica marcante desta tecnologia é o fato de o algoritmo de reconstrução utilizar como principais dados de entrada apenas as imagens, a distância entre as câmeras e a resolução das mesmas. Uma vantagem deste modelo é que o processo de reconstrução 3D passa a ser automático, e através da reconstrução, pode-se utilizar algoritmos específicos para retirar informações relevantes dos corpos reconstruídos ou identificar pontos no espaço de interesse, gerando suas coordenadas (X, Y, Z) para tratamento por um software específico.

Podemos citar também outras vantagens:

- Independência da distância ao alvo – a distância do alvo ao par de câmeras pode se alterar, já que o sistema pode medir a distância do alvo às câmeras e compensar a alteração, possibilitando ferramentas de medição mais robustas;
- Pode-se ter um único invólucro contendo as duas câmeras, o que permite a construção de equipamentos móveis, e com sistemas que não necessitem saber a localização relativa de outro equipamento para reconstruir, localizar, medir e calcular áreas e volumes. Todos os cálculos podem ser feitos a partir de um único equipamento;
- Reconstrução em tempo real e automática;

- Baixo custo – com a popularização das câmeras digitais, o custo destes sistemas tende a cair e as opções disponíveis no mercado destes equipamentos tende a aumentar, o que permitirá construir equipamentos para as mais diversas aplicações e cada vez mais baratos.

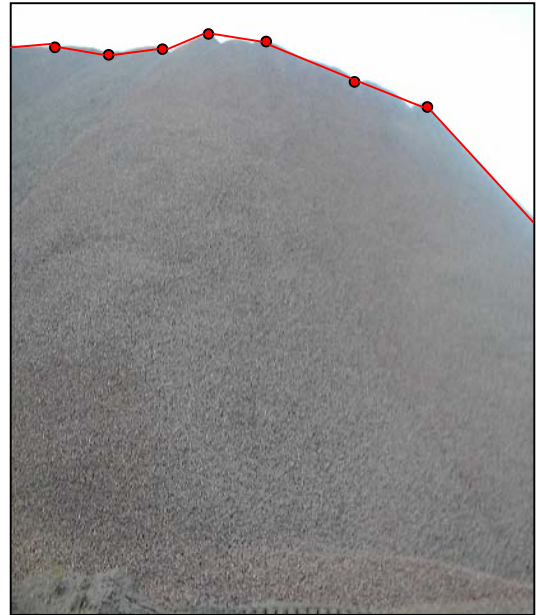
Como desvantagem desta tecnologia se pode citar a necessidade das câmeras estarem calibradas alinhadas entre si. Num primeiro momento esta tarefa pode ser até um impeditivo para a construção de tal equipamento, mas já existem algoritmos que permitem a correção das imagens pelo computador, de forma que o algoritmo de reconstrução receba imagens perfeitamente calibradas. Desta forma, faz-se inicialmente uma calibração mecânica das câmeras e posteriormente realiza-se um processo de calibração por software, onde as imagens passam pelo processo de correção para posterior reconstrução 3D. Desta forma, quando o equipamento sofre um choque mecânico pode ser necessário refazer o processo de calibração por software, sem necessidade de calibrar o sistema mecanicamente, o que gera ganhos substanciais de manutenção do equipamento.

Outra desvantagem em relação aos sistemas com uma única câmera é que os algoritmos citados demandam grande processamento, o que atualmente inviabiliza o uso da tecnologia para linhas de produção de alta velocidade, como produção de bebidas, remédios e autopeças.

No mercado nacional estão em desenvolvimento tanto pesquisas acadêmicas quanto produtos baseados em reconstrução 3D automática, sendo que aplicações para os ramos de negócio de mineração, siderurgia e florestal têm se mostrado promissoras, gerando interesse tanto para o emprego em atividades de medição de pilhas de minério, placas de aço, madeira empilhada e inventário florestal, quanto para aplicações ligadas à automação tradicional, como localização de placas de aço na linha de produção.

5.2 Localização de pontos no espaço

Reconstrução 3D automática pode ser empregada para localização de pontos no espaço tridimensional (coordenadas X, Y e Z) a partir de duas imagens bidimensionais. Esta capacidade pode ser usada na indústria de mineração para a estimativa do volume de pilhas de minério de forma semelhante ao método topográfico, mas sem a necessidade de contato físico com a pilha e permitindo que os valores medidos sejam auditados (ver figura abaixo).



5.3 Reconstrução de objetos regulares

A reconstrução 3D automática pode ser empregada para localizar e medir produtos que possuam formato regular e ofereçam risco à saúde se em contato direto com o ser humano, como placas de aço ou bobinas de papel em produção. No setor siderúrgico em particular, esta aplicação oferece uma solução para o problema de medir placas recém produzidas, ainda em alta temperatura, o que torna possível a verificação de conformidade entre as dimensões da placa quando a mesma estiver fria e as dimensões do pedido do cliente.

Testes feitos numa grande siderúrgica mostraram um erro da ordem de 0,2% na medição de dimensões de placas quentes (ver figura abaixo).



5.4 Reconstrução de objetos irregulares

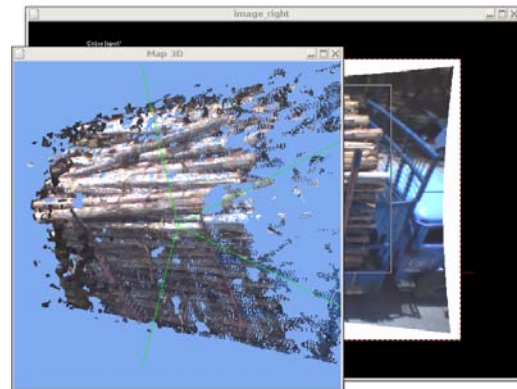
A aplicação mais complexa desta tecnologia é na medição de objetos irregulares, onde é necessário aproximar formas geométricas conhecidas aos objetos para que se possam estimar suas dimensões. Este tipo de aplicação é de especial interesse da indústria madeireira, e mostramos abaixo um exemplo de aplicação neste negócio.

Na figura a seguir, em (a) se vê um caminhão de transporte de madeira cuja carga se quer medir. Em (b) é apresentada a reconstrução tridimensional de toda a área selecionada na parte (a) da figura, na forma que chamamos de nuvem de pontos,

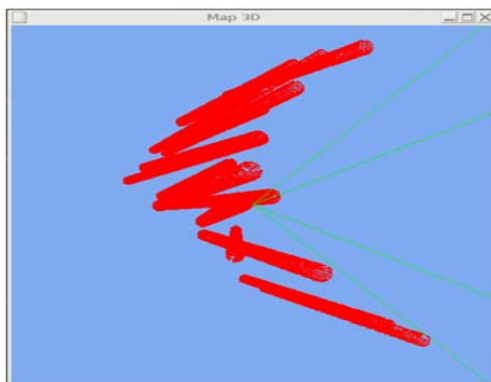
onde cada ponto possui informações de localização 3D e cor. Com a nuvem de pontos, pode-se criar uma visualização tridimensional do corpo fotografado, inclusive gerando arquivos para ferramentas CAD de mercado. Na parte (c) da figura vemos a aproximação automática de cilindros em partes da nuvem de pontos referentes às toras e, na parte (d), a sobreposição da aproximação com a nuvem de pontos, onde as partes vermelhas correspondem a pontos onde os cilindros “saem” da nuvem de pontos original.



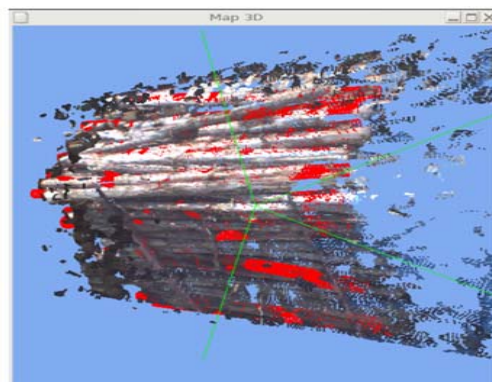
(a)



(b)



(c)



(d)

6- Conclusões

Foram apresentadas tecnologias de medição e dimensionamento a partir de imagens digitais, com diferentes níveis de complexidade, vantagens e limitações.

Baseado nesta análise se pode observar que aplicações com uma só câmera possuem a grande vantagem de demandar pouco processamento, sendo comuns em linhas de produção de bens manufaturados, onde se podem controlar precisamente as condições de iluminação e a distância dos objetos de interesse à câmera.

As tecnologias baseadas em imagens estereográficas permitem aquisição de informações associadas aos aspectos tridimensionais dos objetos de interesse, que podem ser utilizadas para um sem numero de aplicações, permitindo o desenvolvimento de soluções para um numero de problemas diversificado que não podem ser resolvidos pela tecnologia de uma só câmera.

Apesar de mais complexos, os sistemas de duas câmeras (que empregam Visão Artificial) permitem a implementação de soluções mais robustas do ponto de vista da variabilidade das dimensões do ambiente e das condições de iluminação dos objetos de interesse. São, por isso, de mais fácil instalação, pois não requerem uma distância fixa ao alvo o que, aliado à calibração via software, torna atrativo também o custo de sua manutenção. A tecnologia de visão artificial apresenta-se no momento como uma das melhores opções para o desenvolvimento de soluções de medição de distâncias, áreas e volumes em ambientes não estruturados.

7- Referências

ABINEE. Associação Brasileira da Indústria Eletro-Eletrônica,
<http://www.abinee.org.br/>

EBRD. European Bank for Reconstruction and Development. The Kyoto protocol and carbon finance. <http://www.ebrd.com/country/sector/energyef/carbon/index.htm>

SOX1. University of Cincinnati College of Law, The Sarbanes-Oxley Act of 2002,
<http://www.law.uc.edu/CCL/SOact/toc.html>

SOX2. Sarbanes Oxley Act, http://frwebgate.access.gpo.gov/cgi-bin/getdoc.cgi?dbname=107_cong_bills&docid=f:h3763enr.txt.pdf

Taube, Miguel, Frango pesado pela imagem, Revista Pesquisa Fapesp, Abril, 2001.
<http://www.revistapesquisa.fapesp.br/?art=1274&bd=1&pg=1&lq=>

COGNEX. Câmeras para controle de qualidade.
<http://www.omniimpex.com/sistemadv.t.asp>

Oliveira, Hallysson, Uma modelagem computacional de áreas corticais do sistema visual humano associadas à percepção de profundidade, Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Informática, UFES, 2005.