

**UNIVERSIDADE NOVE DE JULHO - UNINOVE**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**SISTEMA DE APOIO OPERACIONAL APLICADO À INSPEÇÃO DA QUALIDADE**  
**VISUAL DE PRODUTOS DE VIDRO PARA EMBALAGENS E USO DOMÉSTICO**

**JOÃO DAVID DAMINELLI CABRAL**

**SÃO PAULO**

**2013**

JOÃO DAVID DAMINELLI CABRAL

**SISTEMA DE APOIO OPERACIONAL APLICADO À INSPEÇÃO DA QUALIDADE  
VISUAL DE PRODUTOS DE VIDRO PARA EMBALAGENS E USO DOMÉSTICO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Nove de Julho – UNINOVE, como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção.

Orientador: Prof. Dr. Sidnei Alves Araújo

**SÃO PAULO**

**2013**

Cabral, João David Daminelli.

Sistema de apoio operacional aplicado à inspeção da qualidade visual de produtos de vidro para embalagens e uso doméstico./ João David Daminelli Cabral. 2013.

86 f.

Dissertação (mestrado) – Universidade Nove de Julho - UNINOVE, São Paulo, 2013.

Orientador (a): Prof. Dr. Sidnei Alves Araújo.

1. Produtos de vidro. 2. Defeitos do vidro. 3. Qualidade visual. 4. Tecnologia da informação.

I. Araújo, Sidnei Alves.

II. Título

CDU 658.5

**SISTEMA DE APOIO OPERACIONAL APLICADO À INSPEÇÃO DA QUALIDADE  
VISUAL DE PRODUTOS DE VIDRO PARA EMBALAGENS E USO DOMÉSTICO**

Por

**JOÃO DAVID DAMINELLI CABRAL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Nove de Julho – UNINOVE, como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção.

---

Presidente: Prof. Dr. Sidnei Alves Araújo - Orientador, UNINOVE

---

Membro interno: Prof. Dr. André Felipe Henriques Librantz, UNINOVE

---

Membro externo: Prof. Dr. Mauro de Mesquita Spinola, POLI/USP

---

Suplente: Prof. Dr. Fabio Henrique Pereira, UNINOVE

**SÃO PAULO  
2013**

“A vida é uma peça de teatro que não permite ensaios. Por isso, cante, chore, dance, ria e viva intensamente, antes que a cortina se feche e a peça termine sem aplausos.”  
(Charles Chaplin)

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus e meus finados pais Olavo e Nilza que me deram a vida e os exemplos de educação e que me proporcionaram a base para poder continuar até aqui. Agradeço aos meus padrinhos que são meus segundos pais, Bernardina e Manuel, que sempre me apoiaram e continuam apoiando até hoje. Agradeço a minha filha Stefani, hoje com 4 anos, que mesmo sem compreender me ajudou. Agradeço aos meus verdadeiros amigos e colegas do mestrado Ivone e Márcio por estarem presentes e sempre me apoiando durante todo esse nosso trajeto juntos. Agradeço a minha namorada Viviane Faber, por me apoiar e me fazer sentir especial e capaz de poder concluir esse projeto. Agradeço de forma especial ao meu orientador Prof. Dr. Sidnei Alves de Araújo pelo apoio incondicional e por acreditar nesse projeto. Agradeço a todos os professores que puderam contribuir compartilhando os seus conhecimentos e colaborando para a concretização desse projeto. Agradeço a Uninove, onde também atuo como docente, pelo incentivo e apoio concedido durante esses dois anos de jornada.

## RESUMO

Um aspecto importante no processo de produção vidreiro é a dificuldade de prever todas as possibilidades de defeitos antes do produto acabado, tornando necessário um contínuo processo de inspeção dos produtos. Além disso, alguns defeitos transcendem a questão da qualidade visual do produto. Este é o caso de produtos de vidro para embalagem de alimentos, nos quais o defeito pode oferecer riscos à saúde do consumidor final. Apesar da importância do processo de inspeção visual de produtos de vidro, muitos deles ainda são realizados de forma manual. O problema é que a inspeção manual apresenta alguns inconvenientes como alto consumo de tempo, alto custo e a falta de padronização. Neste contexto, o uso de ferramentas da tecnologia da informação aplicadas na inspeção visual automática de produtos de vidro pode trazer um diferencial competitivo. Neste trabalho foi proposto um sistema de apoio operacional que emprega técnicas de reconhecimento de padrões visuais para inspeção automática de defeitos em produtos de vidro, o qual é composto por duas aplicações. A primeira para detectar um tipo específico de defeito conhecido como fagulha ou fragmento em produtos de vidro utilizados como embalagem de alimentos e a segunda para identificar um defeito, denominado deformação, em pratos de uso doméstico. Para avaliar as aplicações empregou-se um aparato composto por uma esteira automática com uma câmera acoplada, com intuito de simular o ambiente de produção em uma indústria. Os resultados obtidos sinalizam que as aplicações desenvolvidas são adequadas para detecção dos defeitos investigados tendo em vista que em ambas a taxa de acertos foi superior a 95%.

Palavras-chave: produtos de vidro, defeitos do vidro, qualidade visual, tecnologia da informação, sistema de apoio operacional.

## **ABSTRACT**

An important aspect in the process of glass production is the difficulty to predict all possible problems or defects before the finished product, being necessary a continuous inspection process of products. In addition, some defects beyond the issue of visual quality of the product. It is the case of glass products for food packaging, which can offer risks to the health of consumers. Despite the importance of visual inspection process of glass products, many of them are still performed manually. The problem is that manual inspection has some drawbacks such as high consumption of time, high cost and lack of standardization. In this context, the use of information technology tools applied in automatic visual inspection of glass products can provide a competitive advantage. In this paper it was proposed an operational support system employing visual pattern recognition techniques for automatic inspection of defects in glass products, which comprises two applications. The first one for detecting a specific type of defect known as spark or fragment glass in products used for food packaging and the second one to identify a defect, called deformation in household dishes. To evaluate the applications we used an apparatus consisting of a conveyor belt and a camera controlled by a PC in order to simulate an industrial line of production. The results indicate that the developed applications are suitable for detection of investigated defects, since in both applications the hit rate was above 95%.

**Keywords:** glass products, glass defects, visual quality, information technology, operational support system.

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	13
1.1. JUSTIFICATIVA .....	16
1.2. OBJETIVOS .....	17
1.3. MOTIVAÇÃO .....	17
1.4. REVISÃO DA LITERATURA .....	18
1.5. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO.....	21
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....	23
2.1. PRODUTOS DE VIDRO .....	23
2.2. A INDÚSTRIA VIDREIRA NO BRASIL.....	25
2.3. DEFEITOS EM PRODUTOS DE VIDRO.....	26
2.4. SISTEMAS DE INFORMAÇÃO .....	28
2.5. RECONHECIMENTO DE PADRÕES VISUAIS .....	30
2.5.1. REPRESENTAÇÃO DE IMAGENS .....	32
2.5.2. TÉCNICAS DE RECONHECIMENTO DE PADRÕES EM IMAGENS .....	33
2.5.2.1. DETECÇÃO DE BORDAS .....	33
2.5.2.2. BINARIZAÇÃO.....	34
2.5.2.3. ANÁLISE DE COMPONENTES CONEXOS .....	34
2.5.2.4. TRANSFORMADA DE HOUGH PARA DETECÇÃO DE CÍRCULOS .....	35
3. MATERIAIS E MÉTODOS .....	38
3.1. EXPERIMENTOS COM A APLICAÇÃO PARA DETECÇÃO DE FAGULHAS EM EMBALAGENS DE VIDRO .....	40
3.2. EXPERIMENTOS COM A APLICAÇÃO PARA DETECÇÃO DE DEFORMAÇÃO EM PRATOS .....	43
3.3. APARATO UTILIZADO E FORMA DE CONDUÇÃO DOS EXPERIMENTOS .....	44
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	47
4.1. RESULTADOS OBTIDOS NOS EXPERIMENTOS COM A APLICAÇÃO PARA DETECÇÃO DE FAGULHAS EM EMBALAGENS DE VIDRO .....	48

4.2. RESULTADOS OBTIDOS NOS EXPERIMENTOS COM A APLICAÇÃO PARA DETECCÃO DE DEFORMAÇÃO EM PRATOS .....	53
5. CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	61
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	63
ANEXO A: Trabalho resultante desta dissertação publicado nos anais do XVIII International Conference on Industrial Engineering and Operations Management (ICIEOM 2012).....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
ANEXO B: Trabalho resultante desta dissertação aceito para publicação nos anais do XIX International Conference on Industrial Engineering and Operations Management (ICIEOM 2013).....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Segmentos da indústria de vidro, em destaque a área foco desse trabalho.....	24
Figura 2: Exemplos de defeitos estéticos em embalagens de vidro. ....	26
Figura 3: Defeito partícula de vidro ou fagulha. ....	27
Figura 4: Definição do Deformado pela norma ABNT NBR 14910:2002 .....	27
Figura 5: Imagens de pratos com defeitos .....	28
Figura 6: Classificação dos Sistemas de Informação .....	30
Figura 7: Passos fundamentais em processamento de imagens digitais.....	31
Figura 8: Vizinhaça entre pixels.....	35
Figura 9: Parâmetros do círculo. ....	36
Figura 10: Diagrama ilustrando os principais assuntos explorados na pesquisa.....	38
Figura 11: Matriz de confusão ou tabela de contingência. ....	40
Figura 12: Produtos de vidro utilizados no experimento envolvendo a detecção de fagulhas.	41
Figura 13: Imagem do fundo copo analisado no Experimento Fagulhas. ....	41
Figura 14: Imagem de amostras dos fragmentos utilizados para simular as fagulhas.....	42
Figura 15: Gabarito criado para evitar deslocamento do pote a ser inspecionado. ....	43
Figura 16: Modelo de prato utilizado nos experimentos para detecção de deformação.....	43
Figura 17: Diferença entre o prato padrão e prato deformado. ....	44
Figura 18: Imagem do Protótipo contemplando a esteira automática e seus aparatos. ....	44
Figura 19: Ilustração esquemática do aparato utilizado nos experimentos. ....	45
Figura 20: Diagrama dos passos executados para inspeção do produto.....	46
Figura 21: Tela inicial do sistema proposto para detecção de defeitos em produtos de vidro.	47
Figura 22: Conversão da imagem de entrada para níveis de cinza.....	48
Figura 23: Detecção de borda do fundo do copo.....	48
Figura 24: Segmentação e binarização da imagem do fundo do copo. ....	49
Figura 25: Telas da aplicação mostrando Aprovação e Rejeição dos produtos. ....	50
Figura 26: Exemplo de caso de falso negativo. ....	51

Figura 27: Exemplo de partículas de vidro com baixo contraste detectado com sucesso.....	52
Figura 28: Bordas do prato.....	53
Figura 29: Imagem da interface da aplicação.....	54
Figura 30: Conversão da imagem adquirida para níveis de cinza.....	54
Figura 31: Passos para de detecção das bordas do prato usando TH.....	55
Figura 32: Região candidata a centro dos círculos.....	55
Figura 33: Raios interceptando as extremidades dos círculos.....	56
Figura 34: Ilustração das distâncias utilizadas para detecção de deformações nos pratos.....	57
Figura 35: Ilustração de um prato considerado com defeito (Reprovado).....	58
Figura 36: Prato considerado sem defeito (Aprovado).....	58
Figura 37: Simulação de defeito no prato e resultado da análise pela aplicação.....	59
Figura 38: Erros de detecção do círculo interno em pratos inteiros.....	60
Figura 39: Erros de detecção do círculo interno em prato quebrado.....	60

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	-	Associação Brasileira de Normas Técnicas
BNDES	-	Banco Nacional do Desenvolvimento
CRM	-	<i>Customer Relationship Management</i>
ERP	-	<i>Enterprise Resource Planning</i>
FN	-	Falso Negativo
FP	-	Falso Positivo
FAPESP	-	Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo
IBGE	-	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
LCD	-	<i>Liquid Crystal Display</i>
$L_m$	-	Limiar para a detecção de borda
$L_c$	-	Limiar para a detecção de círculo
PIA	-	Pesquisa Industrial Anual
PIB	-	Produto Interno Bruto
RI	-	Região de Interesse
RGB	-	<i>Red, Green e Blue</i>
ROC	-	<i>Receiver Operating Characteristic</i>
SAD	-	Sistema de Apoio à Decisão
SC	-	Sistema Colaborativo
SCP	-	Sistema de Controle de Processos
SI	-	Sistema de Informação
SIE	-	Sistema de Informação Executiva
SIG	-	Sistema de Informação Gerencial
SPT	-	Sistema de Processamento de Transações
TH	-	Transformada de Hough
TI	-	Tecnologia da Informação
$V_c$	-	Vetor de circularidade
$V_d$	-	Vetor de deslocamento
VN	-	Verdadeiro Negativo
VP	-	Verdadeiro Positivo

## 1. INTRODUÇÃO

O vidro é um material muito presente em nossas vidas em diversos segmentos e utilizações. Um aspecto relevante é o fato deste material ser 100% reciclável e reaproveitável. Atualmente estima-se que mais de 40% das embalagens de vidro produzidas no Brasil é reciclável e a expectativa é que este número cresça a partir de uma maior conscientização das pessoas no que tange o hábito de separar o lixo (CEBRACE, 2012).

O processo de produção de vidro, devido às suas características de fundição e temperatura, requer uma produção constante. Como não há interrupções, faz-se necessário um processo operante 24 horas por dia.

Outro ponto importante no processo de produção vidreiro é o fato de não ser possível prever todas as possibilidades de defeitos antes do produto acabado, o que demanda uma preocupação com o processo de inspeção dos mesmos. Em adição, na indústria vidreira a preocupação com os defeitos transcende a questão da qualidade do produto. Este é o caso dos produtos de vidro para embalagem de alimentos, nos quais pode haver riscos ao consumidor final, como por exemplo, um fragmento de vidro ou uma rebarba cortante que podem causar um ferimento.

Devido a estas características faz-se necessário um contínuo processo de inspeção visando melhorar a qualidade do produto acabado.

De acordo com Vernon (1991) muitos fabricantes estão preocupados com a integridade cosmética dos seus produtos, ou seja, aspectos ligados à aparência e a apresentação, tendo em vista que os clientes muitas vezes equiparam a qualidade da aparência com a qualidade funcional. Assim, para assegurar o êxito de um produto em um longo prazo no mercado, é desejável que a sua aparência seja verificada antes da embalagem e transporte.

Os processos de inspeção visual podem ocorrer de duas formas: pela análise humana (manual) ou automática. Atualmente muitos produtos da indústria vidreira são inspecionados de forma manual, a qual apresenta os inconvenientes de consumir tempo, ter alto custo e ter a eficiência do trabalho humano comprometida por fatores ambientais e pessoais.

Em boa parte dos processos de inspeção visual humana na indústria vidreira a incidência de peças com defeito e que acabam sendo rejeitadas está relacionada, em muitos casos, ao fato de haver uma incompatibilidade entre a velocidade de produtos produzidos e a capacidade humana de avaliação.

Nestes casos, o parâmetro normalmente alterado para a inspeção humana é a quantidade de pessoas em função da velocidade da produção, porém essa ação não é interessante devido aos custos e à necessidade de adaptação das linhas de produção.

Se tomarmos como exemplo a produção de um determinado produto P a uma velocidade de 120 peças por minuto e considerarmos 2 avaliadores, cada um deles teria apenas 1 segundo analisar cada produto. Em um experimento realizado numa indústria vidreira envolvendo a produção do produto P citado anteriormente estimou-se que, em média, cada produto leva de 8 a 12 segundos para ser avaliado por um ser humano, o que indicaria a necessidade de pelo menos 10 avaliadores.

Se considerarmos que o processo de produção é constante e que alguns produtos podem chegar a velocidades de 300 peças por minuto, fica evidente que a inspeção manual torna-se inviável. Por isso, muitos processos de inspeção visual têm sido automatizados (VERNON, 1991); (BATCHELOR; WHELAN, 2002).

Contudo, observa-se que, na maioria dos casos, o processo de inspeção visual automática requer uma máquina exclusiva de elevado custo, com algumas configurações já pré-estabelecidas, o que demanda uma adaptação em toda a linha de produção, de forma que

apenas produtos que são produzidos constantemente e em larga escala justificam o investimento.

Nos processos de automação normalmente são utilizados Sistemas de Informação (SI) especializados que empregam recursos da Tecnologia da Informação (TI), a qual tem sido considerada um dos componentes mais importantes do ambiente empresarial atual e utilizada intensamente pelas organizações brasileiras, tanto em nível estratégico como operacional (ALBERTIN, 2009).

Turban et al. (2010) conceituam TI como o enfoque técnico dos sistemas de informação, incluindo hardware, software, bancos de dados, redes e outros dispositivos eletrônicos. Castells (2000) entende a TI como "o uso de conhecimentos científicos para especificar as vias de se fazerem as coisas de uma maneira reproduzível". Já em Rezende & Abreu (2000), a TI é conceituada como "recursos tecnológicos e computacionais para geração e uso da informação". Para esses autores o conceito está fundamentado nos componentes de hardware, software, sistemas de telecomunicação, gestão de dados e informações.

Já um SI pode ser definido como a integração de todos os recursos tecnológicos e organizacionais empregados na manipulação das informações em uma organização e pode ser classificado conceitualmente como Sistema de Apoio Operacional (SAO) ou Sistema de Apoio Gerencial (SAG), de acordo com a sua finalidade (O'BRIEN, 2006).

Neste trabalho explora-se o desenvolvimento de um Sistema de Apoio Operacional voltado ao controle do processo de inspeção de qualidade na indústria vidreira. Mais especificamente, trata-se de um Sistema de Controle de Processo (SCP) composto por duas aplicações, as quais empregam técnicas de reconhecimento de padrões visuais para inspeção automática de dois tipos de defeitos (fagulhas e deformação) em produtos de vidro para embalagens e uso doméstico.

## 1.1. JUSTIFICATIVA

Atualmente a competitividade é um fator relevante de sucesso para a maioria das indústrias. No que tange à indústria vidreira dos segmentos abordados nesse trabalho (embalagens e uso doméstico), a qualidade torna-se um item essencial na competitividade.

Uma empresa diferencia-se de seus competidores quando provê algo único que é valorizado pelos seus clientes, além de oferecer este algo a um preço aceitável. Esse processo de diferenciação não reside de modo agregado e generalizado na empresa, mas em atividades específicas que afetam o cliente de alguma maneira. Como exemplo, podemos citar a conformidade do produto com as especificações, a aparência do produto, as baixas taxas de defeitos e o tempo de produção (COLTRO, 1996).

Com isso, o uso da TI toma seu destaque para o aumento da competitividade, principalmente no que diz respeito aos Sistemas de Apoio Operacional. No caso da indústria de vidro, tais defeitos nem sempre podem ser previstos, o que faz com que seja necessária uma inspeção contínua. Neste contexto, o uso de ferramentas de TI passa a ter grande representatividade nesse processo.

Desenvolver um aparato simples que possa ser facilmente moldado e adaptado às linhas de produção, representa além do ganho na economia, face os elevados custos de equipamentos de inspeção automáticos para esse fim, a facilidade de implementar a inspeção em outras linhas substituindo ou auxiliando a inspeção manual. Para se ter uma ideia, na indústria vidreira onde o autor desse trabalho atua, a última máquina de inspeção automática foi comprada por um valor de aproximadamente 430 mil dólares.

Outro fato importante é que o uso de um sistema automático para inspeção propicia obter, de forma mais ágil, uma estatística mais acurada dos defeitos usados como indicadores de qualidade na indústria vidreira.

## 1.2. OBJETIVOS

Neste trabalho foi feita uma investigação sobre os principais tipos de defeitos encontrados em produtos de vidro bem como suas relevâncias ao consumidor final e os sistemas automáticos já propostos para suas detecções, as dificuldades de se utilizar equipamentos para inspeção visual automática nas linhas de produção e, por fim, é proposto um sistema informatizado de apoio operacional voltado para a inspeção da qualidade visual de produtos de vidro para embalagens e uso doméstico, o qual é composto por duas aplicações. A primeira para detectar um tipo específico de defeito conhecido como fagulha ou fragmento em produtos de vidro utilizados como embalagem de alimentos e a segunda para identificar um defeito, denominado deformação, em pratos de uso doméstico.

## 1.3. MOTIVAÇÃO

A principal motivação para esta pesquisa se deu devido à necessidade de uma empresa de vidro, doravante denominada XYZ por motivo de sigilo, na qual o autor vem atuando nos últimos 12 anos, na área de TI.

Foi observado que a área de TI da empresa XYZ acaba colaborando muito pouco com a área produtiva. Embora seja importante a utilização de diversos sistemas como ERP, e-mail, internet, CRM, BI e outros diretamente ligados à área comercial, o foco principal da indústria é a produção dos produtos de vidro e, por isso, ela acaba tendo outra área de Tecnologia Industrial voltada somente para os processos diretamente ligados à produção, incluindo os sistemas de inspeção automática, ao passo que, o ideal seria que ambas as áreas de tecnologia interagissem melhor.

Contudo, o que se observa é que a área de Tecnologia Industrial acaba seguindo por caminhos e soluções de terceiros, adquirindo muitas vezes equipamentos caros, complexos e

pouco adaptáveis aos demais recursos de tecnologia da empresa, ao passo que a área de TI poderia fornecer um suporte nesse aspecto.

Assim, surgiu a ideia de investigar opções mais simples e de fácil adaptação para detecção e classificação de defeitos em produtos de vidro.

#### 1.4. REVISÃO DA LITERATURA

Diante das diversas variedades de produtos de vidro, suas utilizações e as características do processo de fabricação, muitos autores têm proposto sistemas automatizados, além de metodologias baseadas em reconhecimento de padrões visuais e análise de imagens para tarefas de inspeção de qualidade visual. Alguns destes trabalhos são apresentados a seguir.

Hassan & Diab (2010) apresentaram duas abordagens utilizando análise de imagens para inspeção visual de telas de LCD (*Liquid Cristal Display*). Neste trabalho, os autores utilizaram técnicas de processamento de imagens para extrair características geométricas da imagem do produto e, com base na tolerância especificada para cada característica, o produto é aceito ou rejeitado.

Wang & Asundi (2000) propuseram um sistema de reconhecimento de padrões para inspecionar defeito em taças de vinho. Nesse trabalho são utilizados filtros de *Gabor*, os quais são altamente eficientes no processo de análise de textura a partir de frequências espaciais, simulando algumas características do sistema visual humano.

Yepeng *et al.* (2007) propuseram um sistema para inspecionar defeitos na boca da garrafa de cerveja. Tal sistema considera uma série de defeitos específicos relativos a essa parte do produto e, segundo os autores, o sistema pode ser implementado em uma linha de produção.

Nishu & Agrawal (2011) propuseram um sistema para a inspeção automática na fabricação de vidro plano, o qual emprega uma série de algoritmos de processamento de imagens, além de outras exigências dos sistemas de inspeção on-line tais como confiabilidade, análise em tempo real e assertividade.

No trabalho de Zhao *et al.* (2011) foi proposto um sistema para o reconhecimento de defeitos (bolhas) em vidro plano utilizando imagens de baixa resolução. A região do defeito é localizada através do método de detecção de bordas de *Canny*. Em seguida, a informação binária da região de interesse é obtida com base em um filtro específico. Depois disso é feito o processo de remoção dos ruídos e, por fim, o método *AdaBoost* (usado em tarefas classificação de padrões) é aplicado para classificação. Experimentos com 800 imagens de bolhas e 240 não-bolhas imagens provaram que o método proposto é eficaz para o reconhecimento dos defeitos investigados.

Domingo & Medina (2004) propuseram um sistema de apoio à decisão para detecção de defeitos em garrafas de vidro. Nesse trabalho, a metodologia utilizada para a detecção de defeitos foi baseada em uma imagem fixa, tida como o padrão de qualidade para aquele item, de forma que o sistema compara a imagem analisada com o padrão e identifica possíveis divergências.

Carrasco *et al.* (2010) abordaram a inspeção visual de gargalos de garrafas de vidro através de análise por vários pontos. Os autores apresentam um processo de inspeção que utiliza a geometria de múltiplas visões, juntamente com um rico conjunto de descritores para discriminar falhas reais de falsos positivos nas imagens. Esta técnica envolve um passo inicial, no qual se extrai inúmeras regiões segmentadas a partir de um conjunto de pontos de vista do objeto sob inspeção. Estas regiões são posteriormente classificadas como falhas reais ou como falsos positivos.

Na abordagem de Yong *et al.* (2009) o foco foi a inspeção do defeito ondulação em vidro plano utilizando um *scanner* e iluminações específicas. Para o funcionamento do processo de inspeção há a necessidade de um ambiente controlado que contempla a iluminação e a velocidade com que o vidro plano é conduzido no equipamento.

Adamo *et al.* (2008) abordaram um sistema de inspeção visual automatizado para a indústria do vidro. Nesse trabalho é apresentado um protótipo constituído por diversos blocos funcionais: uma unidade de aquisição de imagem, uma fonte de iluminação e uma unidade de processamento de imagem, cujo desenvolvimento foi feito em MATLAB. A detecção de defeitos foi feita, basicamente, através da utilização do detector de arestas *Canny*. Os limiares do detector foram calculados de acordo com a sensibilidade desejada e avaliando as propriedades estatísticas da imagem analisada. O algoritmo foi otimizado de modo a ser bastante insensível a espessura e granularidade de vidro, bem como às condições de iluminação e resolução. O trabalho é focado no vidro acetinado (opaco) utilizado para a produção de artes decorativas, habitação, fábricas de móveis e lâmpadas.

Em Young-Geun *et al.* (2008) foi apresentado um sistema de controle que identifica e determina os tipos de defeitos na película polarizada utilizada para monitores LCD. No sistema implementado são extraídos descritores de textura que posteriormente são comparados utilizando técnicas de casamento de padrões. Em experimentos com sistema proposto, considerando 5 classes de defeitos, obteve-se uma média de acertos superior a 95% e o tempo médio de resposta foi de 0,64 segundos.

No trabalho de Te-Sheng (2009) foi abordada a classificação de defeitos em laminados revestidos de cobre. Para tanto empregaram-se transformadas *Wavelets*, ferramentas de processamento de sinais muito aplicadas na compressão de dados, eliminação de ruído, separação de componentes no sinal e identificação de singularidades. Amostras reais com

cinco classes de defeitos foram classificadas de acordo com esta proposta. Os resultados experimentais mostraram eficiência acima de 80%.

Na abordagem de Feng *et al.* (2007) foi feita uma proposta de sistema de visão computacional para análise de garrafa de cerveja utilizando um método baseado no histograma de pontos de borda. Para a detecção de defeitos na parede e no fundo da garrafa são utilizadas duas redes neurais. Os autores também desenvolveram um protótipo experimental para demonstrar a viabilidade do sistema proposto. Em dezenas de amostras de garrafas cuidadosamente selecionadas, pode-se constatar que o algoritmo desenvolvido teve uma taxa de acertos de 94% tanto para identificar produtos corretos, quanto os defeituosos.

Também existem diversas empresas especializadas na produção máquinas para detecção de defeitos em produtos de vidro, porém, além de ser necessário adequar o seu processo de produção às especificações da máquina e limitações de tamanho e largura mínima e máxima dos produtos a serem inspecionados, há o fator de possuírem um custo extremamente elevado.

Diante dessa análise de trabalhos correlatos, pode-se notar que a inspeção automática da qualidade visual de produtos de vidro é muito explorada. Contudo, grande parte das abordagens exploram apenas os métodos e suas eficiências sem levar em conta suas adaptabilidades aos ambientes de produção em indústrias. Em alguns deles a análise é feita em imagens já adquiridas ou em equipamentos que requerem a manipulação e análise individual dos itens de vidro. Por fim, vale ressaltar que não foram encontrados na literatura trabalhos abordando os mesmos defeitos considerados neste trabalho.

## 1.5. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Esta dissertação está organizada da seguinte maneira: no capítulo 2 é apresentada a fundamentação teórica, considerando o vidro e a indústria vidreira no Brasil, as normas que

classificam os defeitos de vidro, alguns conceitos teóricos acerca dos sistemas de informação e as principais técnicas de reconhecimento de padrões em imagens digitais empregadas no desenvolvimento do sistema proposto. No capítulo 3 são descritos os materiais, os métodos e a forma como foram conduzidos os experimentos. No capítulo 4 são apresentados os resultados experimentais. No capítulo 5 apresentam-se as conclusões e as propostas de continuidade desse trabalho.

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Nesse capítulo será apresentada a fundamentação teórica, considerando o vidro e a indústria vidreira no Brasil, as normas que classificam os defeitos de vidro, alguns conceitos teóricos acerca dos sistemas de informação e as principais técnicas de reconhecimento de padrões em imagens digitais empregadas no desenvolvimento do sistema proposto.

### 2.1.PRODUTOS DE VIDRO

O vidro é uma das descobertas mais surpreendentes do homem e sua história é cheia de mistérios. Embora os historiadores não disponham de dados precisos sobre sua origem, foram descobertos objetos de vidro nas necrópoles egípcias. Por isso, imagina-se que o vidro já era conhecido há pelo menos 4.000 anos antes da Era Cristã.

Os navegadores fenícios são apontados como os precursores da indústria do vidro. A origem teria sido casual: ao preparar uma fogueira numa praia nas costas da Síria para aquecer suas refeições, improvisaram fogões usando blocos de salitre e soda.

Passado algum tempo, notaram que do fogo escorria uma substância brilhante que se solidificava imediatamente. Estaria então descoberto o vidro que, com sua beleza, funcionalidade e múltiplas aplicações, passaria definitivamente a fazer parte do cotidiano de todos nós (CEBRACE, 2012).

O vidro pode ser definido como um material amorfo resultante da fusão e posterior solidificação de uma mistura de materiais inorgânicos. As matérias-primas mais comuns são sílica, barrilha, calcário e alumina (LAFIS, 2004).

Ao contrário da maior parte dos sólidos, o vidro não tem estrutura cristalina, ou seja, pelas suas propriedades, é mais semelhante aos líquidos do que aos sólidos. A natureza

amorfa do vidro é também a principal responsável por várias limitações dos processos utilizados na sua fabricação.

Entre as características do vidro, algumas são particularmente importantes para o consumo de artefatos desse material:

- **Caráter inerte:** o vidro, no caso de embalagens, não interage quimicamente com o conteúdo;
- **Transparência:** além de favorecer o uso em embalagens, essa propriedade é fundamental para a utilização do vidro plano em automóveis e edificações;
- **Possibilidade de reutilização:** as embalagens de vidro, desde que submetidas a procedimentos adequados de limpeza, podem ser utilizadas diversas vezes; e
- **Possibilidade de reciclagem:** os cacos de vidro podem ser usados como insumo na produção de novos produtos. (BNDES, 2007)

A Figura 1 ilustra os diferentes segmentos de uma indústria de vidro, com destaque no segmento em foco nesse trabalho.

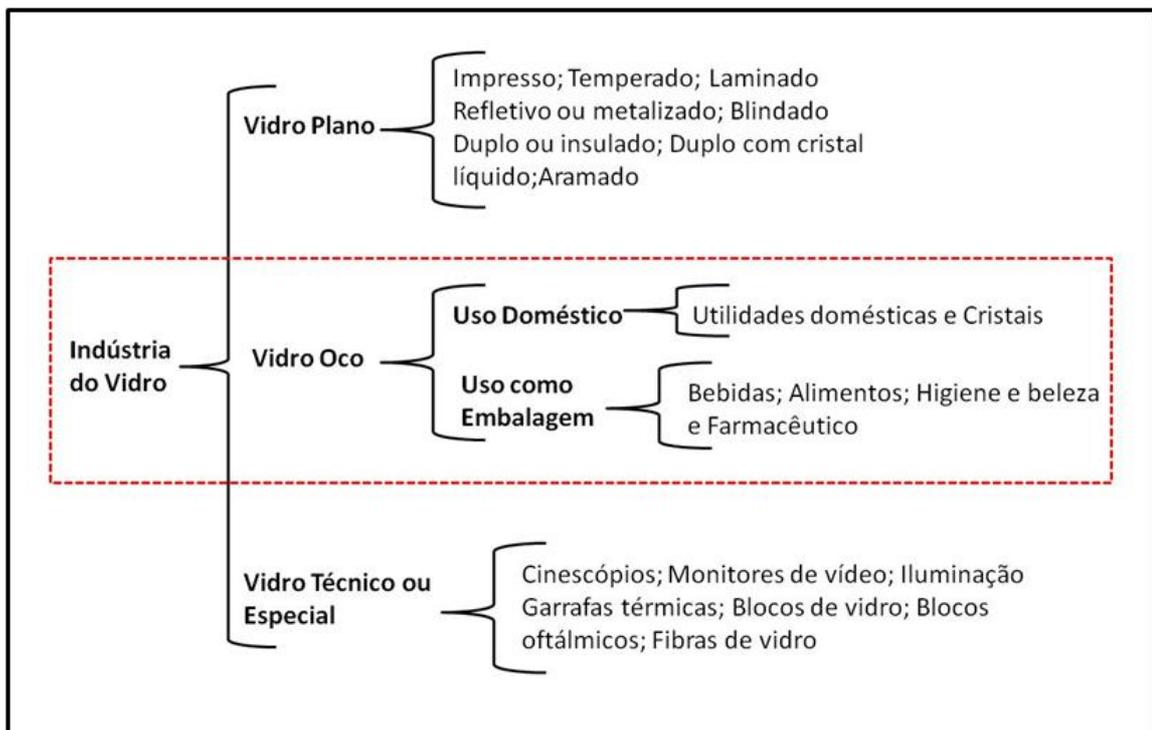


Figura 1: Segmentos da indústria de vidro, em destaque a área foco desse trabalho.

Fonte: Adaptado de BNDES (2007)

## 2.2. A INDÚSTRIA VIDREIRA NO BRASIL

Segundo informações do BNDES, Banco Nacional do Desenvolvimento, o Brasil está incluído entre os principais produtores mundiais de vidro e é atualmente o maior fabricante da América Latina. Com uma capacidade instalada anual de cerca de 3,1 milhões de toneladas, o setor tem uma produção estimada em 2,6 milhões de toneladas e faturamento de R\$ 3,9 bilhões.

Historicamente, a evolução da indústria do vidro no Brasil tem acompanhado o desenvolvimento da economia brasileira, especialmente nos últimos anos, com o crescimento do consumo de automóveis, o incremento do nível de atividade da construção civil e o aumento significativo no consumo de produtos alimentícios industrializados e bebidas (BNDES, 2007).

No entanto, a indústria de vidro constitui um setor relativamente pouco conhecido da economia brasileira, no que diz respeito aos aspectos produtivos e econômicos. Apesar disso, o setor não pode ser desprezado, considerando-se que, segundo a Pesquisa Industrial Anual (PIA) de 2010, do IBGE, Instituto Brasileiro de Geometria e Estatística, existem, no Brasil, 409 empresas ativas relacionadas ao segmento de Fabricação de vidro e de produtos do vidro, que representam aproximadamente 0,2% do PIB, Produto Interno Bruto (BNDES, 2007).

A produção industrial de vidros no Brasil também ganha destaque no cenário mundial ao lado das pesquisas relacionadas a novos materiais vítreos. Em 2001, a capacidade instalada da indústria vidreira nacional era calculada em 2,6 milhões de toneladas, sendo que os fabricantes de vidros planos respondiam por 31,7% do total - em seguida vinham os produtores de embalagens de vidro, com 31,1%. Juntas, as 74 empresas do setor faturam cerca de R\$ 2,65 bilhões por ano e geram quase 12 mil postos de trabalho. Apesar do excelente desempenho do setor e do alto nível dos trabalhos científicos, não existe uma forte integração entre os fabricantes de vidro e os centros de pesquisa e poucos profissionais com doutorado

ou mestrado na área são contratados pelo setor produtivo (FAPESP, 2002).

### 2.3. DEFEITOS EM PRODUTOS DE VIDRO

Para produtos de vidro utilizados como embalagem há diversos tipos de defeitos classificados de acordo com a norma NBR 14910:2002 da Associação Brasileira de Normas Técnicas–ABNT, como pode ser visto nas Figuras 2 e 3. Vale ressaltar que esta norma pode ser aplicada a produtos de vidro para uso doméstico, uma vez que eles podem apresentar os mesmos defeitos.

Entre os principais tipos de defeitos estão: fundo calcinado, costura saliente ou rebarba não cortante, bolha, colado, costura desencontrada, dobra, martelado, microbolhas e partícula de vidro ou fagulha (ABNT, 2002). Desses, apenas o último tipo de defeito, ilustrado na Figura 3, representa um risco ao consumidor final uma vez que a partícula pode desprender-se e causar um ferimento ou mesmo ser ingerida acidentalmente. Os demais defeitos representam apenas problemas estéticos.

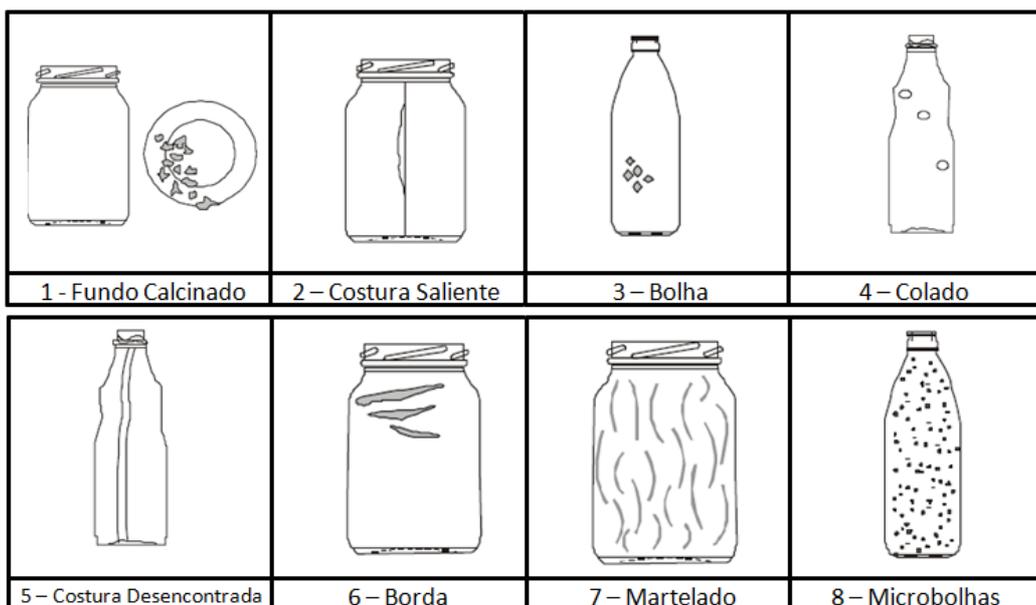


Figura 2: Exemplos de defeitos estéticos em embalagens de vidro.

Fonte: ABNT (2002).

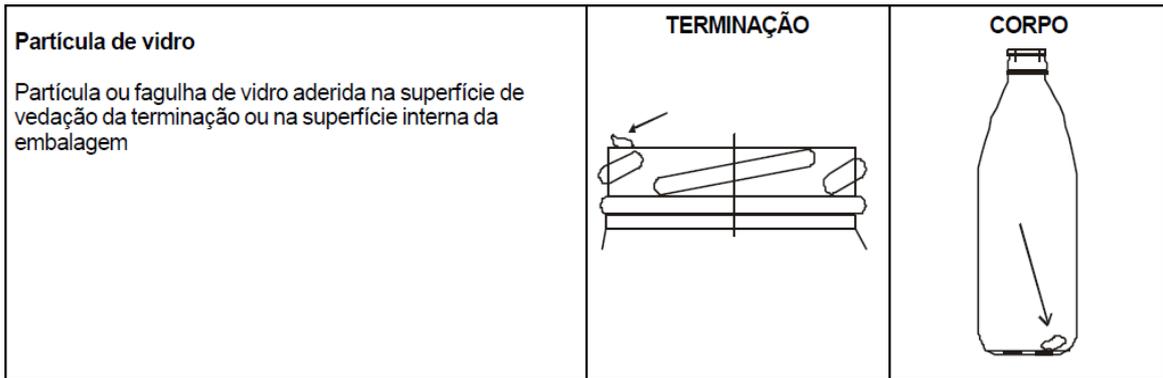


Figura 3: Defeito partícula de vidro ou fagulha.  
Fonte: ABNT (2002).

Outro defeito abordado nesse trabalho é denominado “deformado”, e representa uma deformação em relação ao produto, como ilustrado na Figura 4.

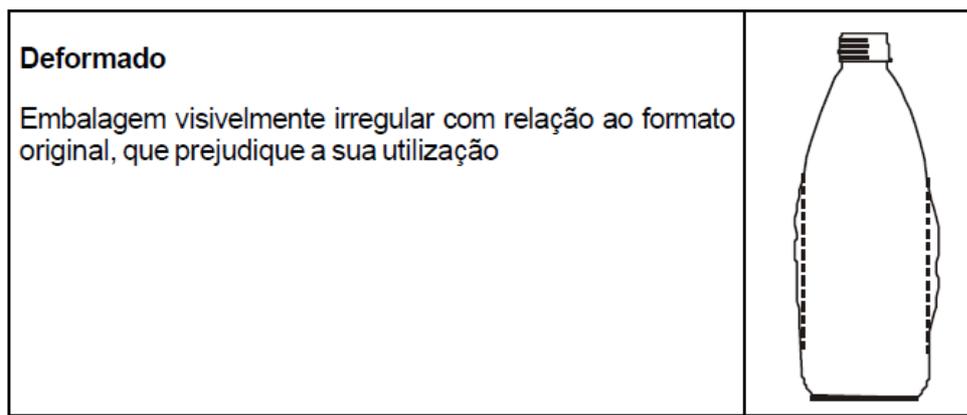


Figura 4: Definição do Deformado pela norma ABNT NBR 14910:2002  
Fonte: ABNT (2002).

Os defeitos de deformação em pratos abordados neste trabalho foram: borda oval (Figura 5a) ou fragmentada e fundo deslocado em relação à borda. Estes defeitos são classificados como muito negativo pelos consumidores. O problema é que, ao empilhar os pratos, tais defeitos tornam-se ainda mais aparentes uma vez que a pilha fica desalinhada, como visto na Figura 5b, dificultando, inclusive, a embalagem do produto em grandes quantidades.



(a) prato deformado



(b) pilha de pratos desalinhada

Figura 5: Imagens de pratos com defeitos  
Fonte: O autor.

#### 2.4. SISTEMAS DE INFORMAÇÃO

A aplicação dos Sistemas de Informação (SI) nas organizações, apoiada pela Tecnologia da Informação (TI), tem promovido um significativo aumento da produtividade gerencial e operacional, permitindo que as informações sejam coletadas com qualidade e que decisões sejam tomadas com exatidão tanto pelos funcionários executivos quanto pelos funcionários que efetivamente executam tarefas produtivas nas empresas (BEAL, 2004).

Segundo O'Brien (2006) um SI pode ser definido como um tipo especializado de sistema, um conjunto de componentes inter-relacionados trabalhando de forma conjunta para coletar, recuperar, processar, armazenar e distribuir a informação com a finalidade de facilitar o planejamento, o controle, a coordenação, a análise e o processo decisório da organização.

Turban et al. (2010) conceituam TI como o enfoque técnico dos SI, incluindo hardware, software, bancos de dados, redes e outros dispositivos eletrônicos. Castells (2000) entende a TI como "o uso de conhecimentos científicos para especificar as vias de se fazerem

as coisas de uma maneira reproduzível". Já em Rezende & Abreu (2000), a TI é conceituada como "recursos tecnológicos e computacionais para geração e uso da informação". Para esses autores o conceito está fundamentado nos componentes de hardware, software, sistemas de gestão de dados e informações e sistemas de telecomunicações.

De acordo com O'Brien (2006), a TI desempenha um importante papel na automação dos processos empresariais já que a velocidade e a capacidade de processamento das informações, além da conectividade das redes de computadores, podem aumentar a eficiência dos processos gerenciais e industriais em uma organização bem como o seu relacionamento com o cliente.

Os SI podem ser divididos em dois grupos: Sistema de Apoio Operacional (SAO) e Sistema de Apoio Gerencial (SAG). SAO pode ser definido como o conjunto de tecnologia que disponibiliza os meios necessários à operação do processo produtivo por meio do tratamento dos dados disponíveis enquanto o SAG é o conjunto de tecnologia que disponibiliza os meios necessários à operação do processo decisório em uma organização por meio do tratamento dos dados disponíveis (CRUZ, 2003; O'BRIEN, 2006).

Segundo O'Brien (2006), em cada grupo encontram-se diferentes tipos de SI e cada um desempenha funções específicas nas operações e na administração de uma organização. Por exemplo, o SAO se desdobra nos Sistemas de Processamento de Transações (SPT), os Sistemas de Controle de Processos (SCP) e os Sistemas Colaborativos (SC). Já o SAG compreende os Sistemas de Informação Gerencial (SIG), os Sistemas de Apoio à Decisão (SAD) e os Sistemas de Informação Executiva (SIE).

A forma de desdobramento dos SI é ilustrada na Figura 6 e as suas funções são descritas na sequência.

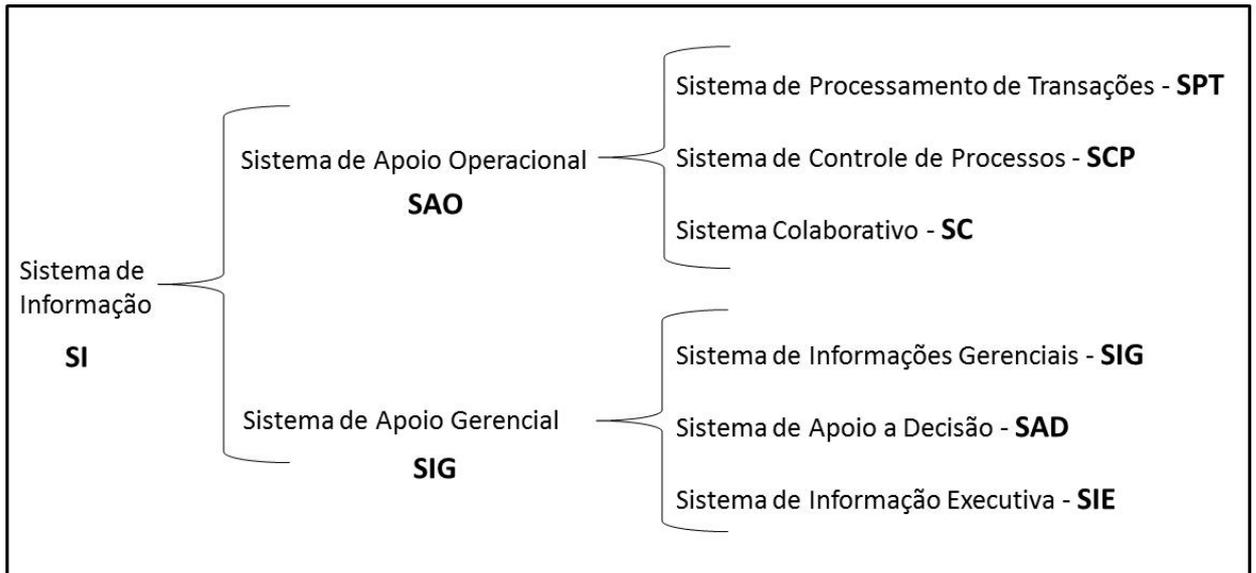


Figura 6: Classificação dos Sistemas de Informação  
 Fonte: Adaptado de O'BRIEN (2006)

- SPT – processar dados resultantes de transações empresariais, atualiza bancos de dados e produzir documentos empresariais;
- SCP – monitorar e controlar processos industriais;
- SC – apoiar equipes, grupos de trabalho, através de meios de comunicação;
- SIG – fornecer informações em forma de relatórios e demonstrativos;
- SAD – fornecer apoio interativo no processo decisório gerencial;
- SIE – fornecer informações críticas elaboradas especificamente para as necessidades de informações de executivos.

## 2.5. RECONHECIMENTO DE PADRÕES VISUAIS

O reconhecimento de padrões visuais, também conhecido como visão computacional ou análise de imagens, pode ser definido como uma sub-área do processamento de imagens cuja preocupação é o desenvolvimento de métodos e técnicas que possibilitam capacitar máquinas para interpretar imagens digitais (CONCI; AZEVEDO & LETA, 2008).

Sistemas de visão computacional eficientes devem ser capazes de descrever com precisão uma cena com tempo de processamento que viabilize a construção de aplicações práticas (ARAUJO, 2009).

O interesse em métodos de processamento de imagens digitais e reconhecimento de padrões decorre de duas áreas principais de aplicação: a) Melhoria da informação visual para a interpretação humana; b) Processamento de dados de cenas para percepção automática através de máquinas (GONZALEZ & WOODS, 2002).

O objetivo do uso do processamento digital de imagens é melhorar o aspecto visual de certas feições estruturais para o analista humano e fornecer outros subsídios para a sua interpretação, inclusive gerando produtos que possam ser posteriormente submetidos a outros processamentos.

A área de processamento digital de imagens tem atraído grande interesse nas últimas duas décadas. A evolução da tecnologia de computação digital, bem como o desenvolvimento de novos algoritmos para lidar com sinais multidimensionais está permitindo uma gama de aplicações cada vez maior. Na Figura 7 são apresentadas as etapas do processamento de imagens digitais, as quais estão detalhadas em seguida.

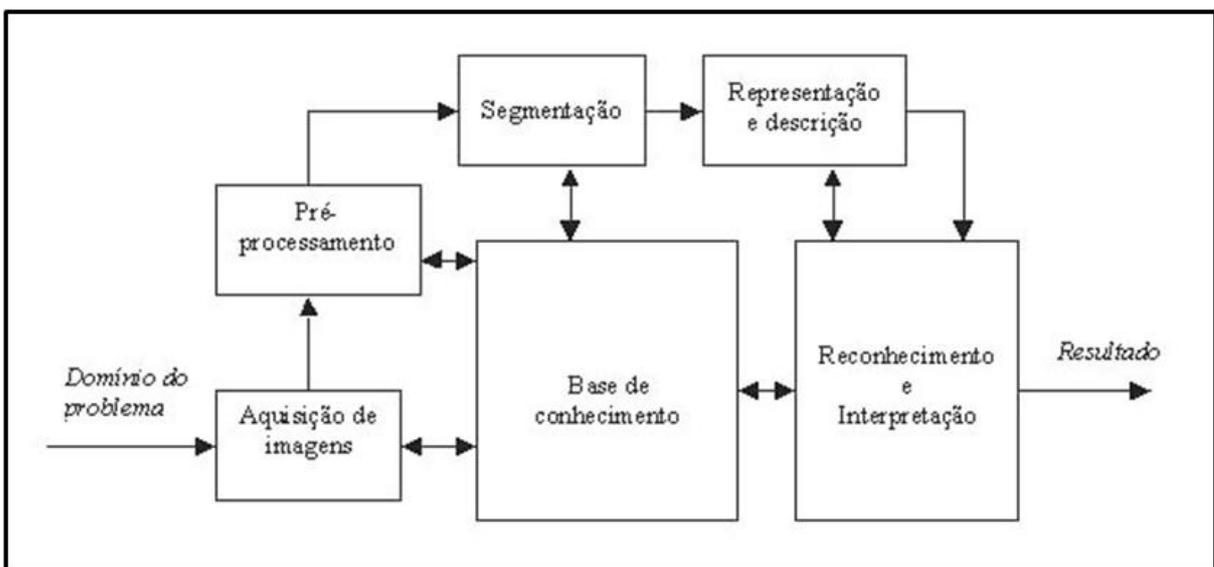


Figura 7: Passos fundamentais em processamento de imagens digitais.

Fonte: GONZALEZ & WOODS (2002).

Aquisição de Imagens – Consiste no processo de obtenção da imagem do objeto/cenário a ser analisado;

Pré-Processamento – Etapa em que a imagem é inicialmente tratada, de maneira a tornar o processamento de imagens mais eficiente. Como exemplo, pode-se citar a remoção de ruídos e atenuação de luz;

Segmentação – Trata da separação das áreas de interesse. Nessa etapa os objetos que não são de interesse podem ser removidos, criando-se uma nova imagem;

Representação, Descrição ou Extração de Características – Consiste na extração de características que permitem uma análise quantitativa dos objetos contidos na imagem;

Reconhecimento e Interpretação – Nesta etapa são criados rótulos para as imagens analisadas. Como exemplo, pode-se citar a aprovação e/ou reprovação de um produto.

### 2.5.1. REPRESENTAÇÃO DE IMAGENS

Do ponto de vista matemático, uma imagem pode ser definida como uma função bidimensional  $f(x,y)$ , com  $x, y \in \mathfrak{R}^2$ , onde  $x$  e  $y$  são as coordenadas espaciais que identificam um ponto e o valor  $f$  em qualquer ponto  $f(x,y)$  denota a intensidade do nível de cinza da imagem naquele ponto e  $\mathfrak{R}$  o conjunto dos números reais

Uma imagem digital é uma função  $f(x,y)$  discretizada tanto em coordenadas espaciais quanto na intensidade dos níveis de cinzas e pode ser representada através de uma matriz na qual os índices de linhas e de colunas identificam um elemento da imagem (pixel) e o valor do elemento identifica o nível de cinza (GONZALEZ & WOODS, 2002); (CONCI; AZEVEDO & LETA, 2008).

Em imagens binárias, o valor de  $f \in \{0,1\}$ , para imagens em níveis de cinzas normalmente  $f \in [0,255]$ , já no caso de imagens coloridas, cada pixel é representado por um conjunto de três ou quatro valores dependendo do sistema de cores empregado. No sistema de

cores RGB (Red, Green e Blue), por exemplo, uma imagem colorida pode ser vista como um conjunto de três imagens em níveis de cinza independentes, cada uma delas representando uma das componentes de cor (vermelho, verde e azul) (ARAUJO, 2009).

## 2.5.2. TÉCNICAS DE RECONHECIMENTO DE PADRÕES EM IMAGENS

A seguir são descritas as principais reconhecimentos de padrões em imagens digitais utilizadas na implementação do sistema de inspeção proposto neste trabalho.

### 2.5.2.1. DETECÇÃO DE BORDAS

A borda de um objeto em uma imagem pode ser definida por uma mudança abrupta no nível de cinza, ou seja, uma descontinuidade na intensidade do nível de cinza. Operadores baseados em derivadas (equações 2 e 3) são sensíveis a estas mudanças e são amplamente utilizados como detectores de bordas.

Com base no valor da magnitude do gradiente (equação 4) em um determinado ponto da imagem é possível determinar se tal ponto faz parte da borda de um objeto. O gradiente de uma imagem  $f$  no ponto  $(x,y)$  é definido como:

$$\nabla f(x, y) = \left[ \frac{\partial f(x, y)}{\partial x}, \frac{\partial f(x, y)}{\partial y} \right] \quad (1)$$

Onde  $\partial f(x,y)/\partial x$  e  $\partial f(x,y)/\partial y$  são as derivadas parciais discretas nas direções  $x$  e  $y$ , e podem ser definidas por:

$$\frac{\partial f(x, y)}{\partial x} \approx f(x+1, y) - f(x, y) \quad (2)$$

$$\frac{\partial f(x, y)}{\partial y} \approx f(x, y+1) - f(x, y) \quad (3)$$

A magnitude e a direção do gradiente (perpendicular à direção da borda) podem ser obtidas pelas equações 4 e 5.

$$\|\nabla f(x, y)\| = \sqrt{\frac{\partial f(x, y)}{\partial x}^2 + \frac{\partial f(x, y)}{\partial y}^2} \quad (4)$$

$$\theta(x, y) = \tan^{-1}\left(\frac{\partial f(x, y)}{\partial y} / \frac{\partial f(x, y)}{\partial x}\right) \quad (5)$$

Usando um limiar  $L_m$  pode-se determinar que todo pixel  $(x, y)$  onde  $\|\nabla f(x, y)\| \geq L_m$ , é um ponto pertencente a uma borda. Cabe ressaltar que as equações 2 e 3 podem ser substituídas por operadores amplamente conhecidos e utilizados como os de Roberts, Prewitt e Sobel (GONZALEZ & WOODS, 2002).

#### 2.5.2.2. BINARIZAÇÃO

A binarização (Equação 6) consiste na conversão de uma imagem com vários níveis de cinzas para uma imagem binária, ou seja  $[0, 255] \Rightarrow \{0, 1\}$ , na qual os pixels com valor 1 (branco) representam os objetos e os pixels com valor 0 (preto) representam o fundo, ou vice-versa (GONZALEZ & WOODS, 2002).

$$b(x, y) = \begin{cases} 1, & \text{se } f(x, y) > L_b \\ 0, & \text{se } f(x, y) \leq L_b \end{cases} \quad (6)$$

Onde:  $b$  é a imagem binária de saída,  $f$  é a imagem de entrada em níveis de cinzas e  $L_b$  é o limiar escolhido como referência para o agrupamento dos pixels.

#### 2.5.2.3. ANÁLISE DE COMPONENTES CONEXOS

O conceito de conectividade entre pixels é amplamente explorado na caracterização de regiões em uma imagem. Para determinar se dois pixels  $p$  e  $q$  estão conectados, basta verificar se eles têm alguma relação de vizinhança e se seus níveis de cinza obedecem algum critério de similaridade. Normalmente utiliza-se como critério de similaridade a semelhança entre os níveis de cinza dos pixels (GONZALEZ & WOODS, 2002). As duas formas mais comuns de

definir conectividade ou vizinhança entre pixels são: conectividade-de-4 (Figura 8a) e conectividade-de-8 (Figura 8b).



Figura 8: Vizinhança entre pixels.

Fonte: O autor.

Um conjunto de pixels conectados-de-4, onde consideremos os vizinhos a direita, a esquerda, acima e abaixo; ou conectados-de-8 que além dos vizinhos citados anteriormente considera mais 4, que são acima e a direita, acima e a esquerda, abaixo e a direita e abaixo e a esquerda.

#### 2.5.2.4. TRANSFORMADA DE HOUGH PARA DETECÇÃO DE CÍRCULOS

A transformada de Hough (TH) proposta por Hough (1962), é um método bastante utilizado em processamento de imagens e visão computacional para detecção de formas parametrizáveis como, por exemplo, linhas, círculos e elipses. Normalmente a TH é utilizada após a detecção de bordas na imagem onde se deseja detectar as formas.

Para detecção de círculos, que é a forma geométrica de interesse deste trabalho, considera-se que eles são parametrizados por  $(x, y, r)$ , onde  $(x, y)$  indica a posição central do círculo e  $r$  o raio, conforme mostra a Figura 9.

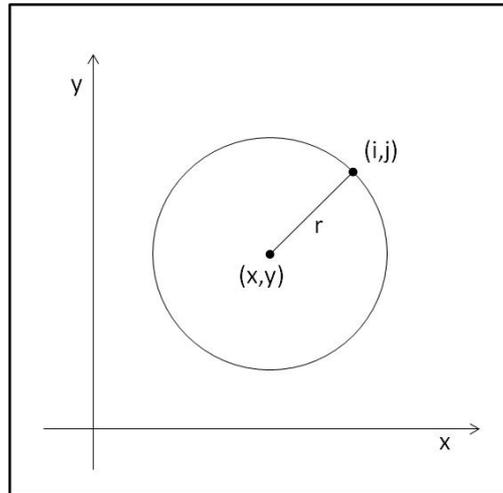


Figura 9: Parâmetros do círculo.  
Fonte: O autor.

O raio é definido como segue:

$$r = \sqrt{(i - x)^2 + (j - y)^2} \quad (7)$$

Na qual:  $(i, j)$  denotam as coordenadas espaciais do pixel da borda e  $(x,y)$  as coordenadas do pixel que corresponde ao centro do círculo.

Supondo que se deseja localizar círculos em uma imagem  $I$ , de tamanho  $M \times N$ , onde  $M$  representa o número de linhas e  $N$  o número de colunas, com raio máximo ( $r_{\text{máx}}$ ) =  $\sqrt{M^2 + N^2}$ , o algoritmo de Hough pode ser descrito pelos seguintes passos:

1) Para cada pixel  $(x,y)$  de  $I$ , cria-se um vetor acumulador com tamanho  $r_{\text{máx}}$  e inicializa todos os seus elementos com o valor zero;

2) Para cada pixel  $(i, j)$  classificado como borda na imagem  $I$  calcula-se a distância  $r$  (equação 7) para todos os outros pixels da mesma imagem, incrementando 1 no elemento  $r$  do vetor associado ao pixel  $(x,y)$ ;

Ao final destes dois passos, os valores máximos dos vetores indicam o centro e o raio dos círculos detectados. Por exemplo, se um valor acima de determinado limiar  $L_c$  é

encontrando na posição 30 do vetor associado ao pixel (50,50), isso indica que deve haver na imagem  $I$  um círculo de raio 30 centrado no pixel (50,50).

No entanto, esta forma simples de implementação torna o uso do algoritmo proibitivo na maioria dos casos. Por isso, alguns autores como Ballard (1981) e Davies (1986) propuseram otimizações para o método. Contudo, o algoritmo da TH para círculos pode ser acelerado quando se tem algumas informações a priori. Por exemplo: possíveis regiões do centro dos círculos, raio mínimo e raio máximo.

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

Em relação a sua natureza, este trabalho pode ser classificado como pesquisa aplicada, uma vez que objetiva gerar conhecimentos para aplicação prática, dirigidos à solução de problemas específicos. Com relação à forma de abordagem do problema, podemos classificá-lo como pesquisa quantitativa, pois utiliza técnicas estatísticas para expor, classificar e analisar as informações. Já do ponto de vista dos seus objetivos, podemos classificá-lo como pesquisa exploratória, uma vez que seu objetivo é familiarizar-se com um assunto ainda pouco explorado (no que tange à detecção dos defeitos investigados) (GIL, 2008).

O principal objetivo dessa pesquisa foi explorar o uso de recursos de TI para o desenvolvimento de um sistema de apoio operacional voltado ao controle do processo de inspeção de dois tipos de defeitos em produtos de vidro, focando nas referências teóricas e na vivência profissional do autor em uma indústria vidreira. A Figura 10 ilustra o desdobramento dos principais assuntos explorados nessa pesquisa.

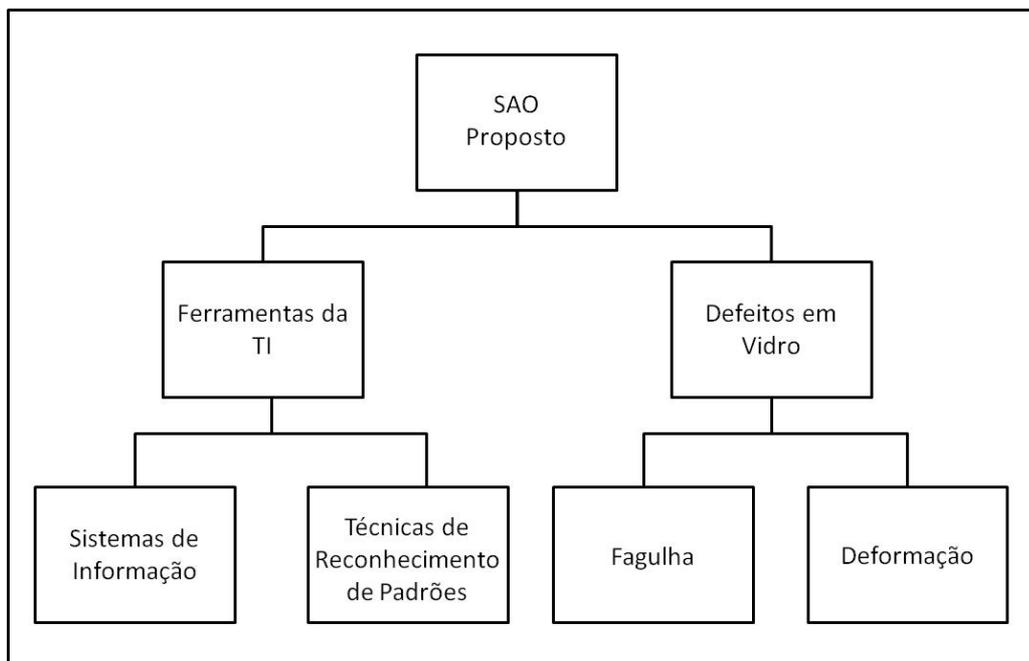


Figura 10: Diagrama ilustrando os principais assuntos explorados na pesquisa  
Fonte: O autor.

A indústria de produtos de vidro XYZ, fonte de motivação dessa pesquisa, produz atualmente cerca de 10 mil toneladas de produtos para uso doméstico e embalagem.

Com relação aos segmentos da empresa XYZ escolhidos para os experimentos (uso doméstico e embalagem), levou-se em consideração os dois mais representativos, em termos de lucro.

No que tange à escolha dos produtos para embalagens consideramos 2 tipos: o copo, muito utilizado para envase de requeijão e queijos cremosos e o vidro (pote) para envase de alimentos como azeitonas, ervilha, milho, seleta de legumes, cogumelo, extrato de tomate. Já para o mercado doméstico escolhemos pratos de vidro do tipo opalino, que são brancos de característica leitosa e com pouca transparência.

Para a escolha dos defeitos a serem inspecionados (fagulha e deformação), considerou-se aqueles mais críticos para os respectivos mercados de atuação.

Para implementação do sistema proposto empregou-se a linguagem de programação C/C++ e a biblioteca para Processamento de Imagens e Visão Computacional ProEikon (KIM, 2011).

A escolha pela linguagem C foi motivada principalmente pela possibilidade de obter programas com tempo de execução menores e também pela facilidade de integração do sistema proposto com o controle da esteira (integração com o hardware). Além disso, essa linguagem é uma das mais utilizadas em aplicações de automação, pois possui funções que facilitam a comunicação com o hardware.

Para avaliar o desempenho das aplicações contempladas pelo sistema empregou-se a taxa de acertos (equação 8), uma vez que se trata de uma das métricas mais utilizadas para avaliar este tipo de sistema (ZHANG & LU, 2004). Essa medida, assim como precisão, acurácia, curvas recall-precision e curvas ROC (Receiver Operating Characteristic), são calculadas a partir da matriz de confusão ou tabela de contingência mostrada na Figura 11.

		Existe o defeito procurado na imagem?	
		SIM	NÃO
O algoritmo detectou o defeito procurado na imagem?	SIM	Verdadeiro Positivo (VP) Inspeção correta	Falso Positivo (FP) Erro na Inspeção
	NÃO	Falso Negativo (FN) Erro na Inspeção	Verdadeiro Negativo (VN) Inspeção correta

Figura 11: Matriz de confusão ou tabela de contingência.  
Fonte: Adaptado de FAWCETT (2005).

$$\text{Taxa de acertos (hit rate ou recall) = sensibilidade} = \frac{VP}{VP + FN} \times 100 \quad (8)$$

A taxa de acertos pode ser definida como a razão entre o número de detecções efetuadas corretamente pelo algoritmo e o total de defeitos que aparecem nas imagens analisadas.

Nas seções 3.1 e 3.2 a seguir são descritas as metodologias empregadas nos experimentos com as duas aplicações que compõem o sistema proposto.

### 3.1. EXPERIMENTOS COM A APLICAÇÃO PARA DETECÇÃO DE FAGULHAS EM EMBALAGENS DE VIDRO

Nesse experimento o objetivo foi detectar o defeito de fagulha, que é representado por um fragmento de vidro presente no fundo do copo ou pote. Nesse experimento foram utilizados dois produtos de vidro. O primeiro produto (Figura 12a) é um copo para embalagem ou mesmo para uso doméstico com as seguintes especificações: 405 ml, 97 mm de diâmetro e 305 g. Já o segundo produto é um pote para envase de legumes (Figura 12b) com as seguintes especificações: 280 ml, 78 mm de altura, 68 mm de diâmetro e 116 g.



(a) Copo



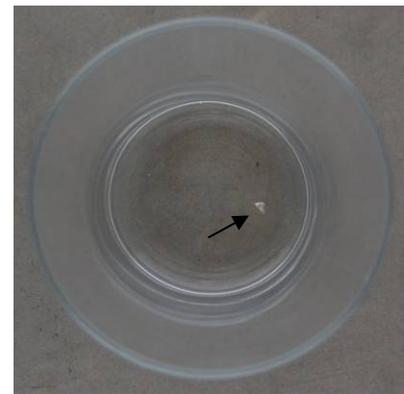
(b) Pote (Vidro)

Figura 12: Produtos de vidro utilizados no experimento envolvendo a detecção de fagulhas.  
Fonte: O autor.

A Figura 13 ilustra imagens do copo através da visão superior, da forma como são capturadas pelo aparato utilizado.



(a) Copo sem defeito



(b) copo com presença de fagulha

Figura 13: Imagem do fundo copo analisado no Experimento Fagulhas.  
Fonte: O autor.

Nesse experimento foram realizados 200 ensaios variando a quantidade e o tamanho de fagulhas no fundo do copo e do vidro (pote) inspecionado. As fagulhas foram colocadas e retiradas manualmente durante os experimentos. A Figura 14 ilustra os fragmentos de vidro usados nos experimentos, os quais variam de aproximadamente 0,1 cm até 2 cm de comprimento.



Figura 14: Imagem de amostras dos fragmentos utilizados para simular as fagulhas.  
Fonte: O autor.

A aquisição das imagens pelo aparato foi realizada considerando uma distância focal de aproximadamente de 40 centímetros. Foi verificado que essa altura oferece uma visão completa e permite um foco mais apurado do produto a ser inspecionado, o qual é colocado em uma esteira em movimento. Cada imagem adquirida tinha o tamanho de 320×240 pixels.

O momento exato para obter a imagem do produto colocado sobre a esteira foi calculado através da análise da assinatura gerada pela variação de gradiente ao longo das colunas em cada quadro.

No caso do vidro (pote), por ser mais leve e ter o fundo côncavo, notou-se que a vibração da esteira afetava na movimentação das fagulhas e também no deslocamento do produto. Para evitarmos essas situações, nesse experimento, foi adicionado um gabarito (Figura 15) que permitia o encaixe do produto. Esse gabarito foi confeccionado de isopor com 2 centímetros de espessura, recoberto com papel preto e uma camada de EVA (Etil Vinil Acetato) preto com os furos para encaixe do fundo do pote. A Figura 15 ilustra também um pote de cabeça para baixo, mostrando mais detalhes da parte inferior do produto.



Figura 15: Gabarito criado para evitar deslocamento do pote a ser inspecionado.  
Fonte: O autor.

### 3.2. EXPERIMENTOS COM A APLICAÇÃO PARA DETECÇÃO DE DEFORMAÇÃO EM PRATOS

Neste experimento o objetivo foi identificar deformações em pratos para uso doméstico, representados por alteração na circularidade da borda e deslocamento do fundo. Nos experimentos com a aplicação para esta finalidade utilizou-se pratos de vidro opalino (não transparente) com as seguintes especificações: 18,4 mm de espessura, 190 mm de diâmetro e 245 g, ilustrado na Figura 16.



Figura 16: Modelo de prato utilizado nos experimentos para detecção de deformação.  
Fonte: O autor.

Nas Figuras 17(a) e 17(b) visualiza-se o mesmo tipo de prato sem e com presença de deformação em seu formato.



(a) prato sem deformação



(b) prato com deformação

Figura 17: Diferença entre o prato padrão e prato deformado.

Fonte: O autor.

### 3.3. APARATO UTILIZADO E FORMA DE CONDUÇÃO DOS EXPERIMENTOS

Com o objetivo de simular uma linha de produção na indústria vidreira, utilizou-se um aparato que compreende uma esteira com uma câmera acoplada, proposto em (PIRES,2012) para inspeção da qualidade visual de sementes de feijão.

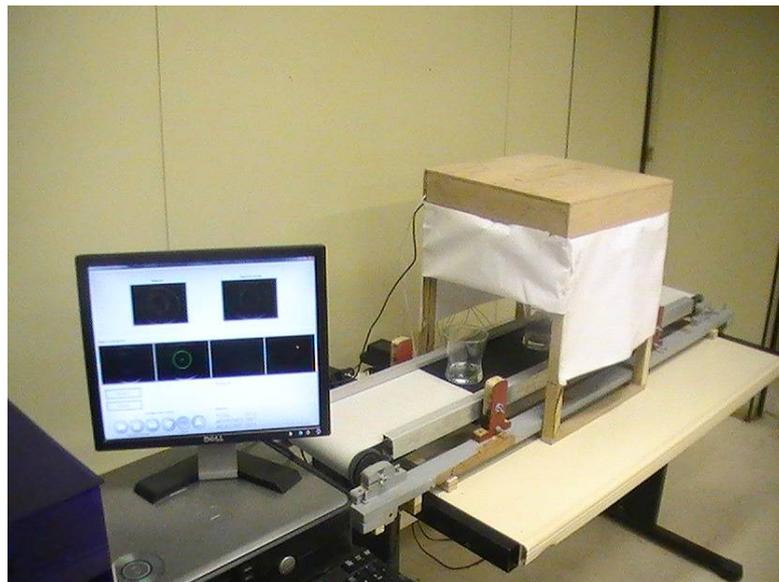


Figura 18: Imagem do Protótipo contemplando a esteira automática e seus aparatos.

Fonte: O autor.

As partes que compõem a esteira estão ilustradas no desenho esquemático da Figura 19. São elas: base da esteira, motor de passo, mesa da esteira, roletes que sustentam e movimentam a cinta transportadora (feita de lona), mancais de apoio e fixação da mesa, câmara para controle da iluminação e câmara de aquisição de imagens.

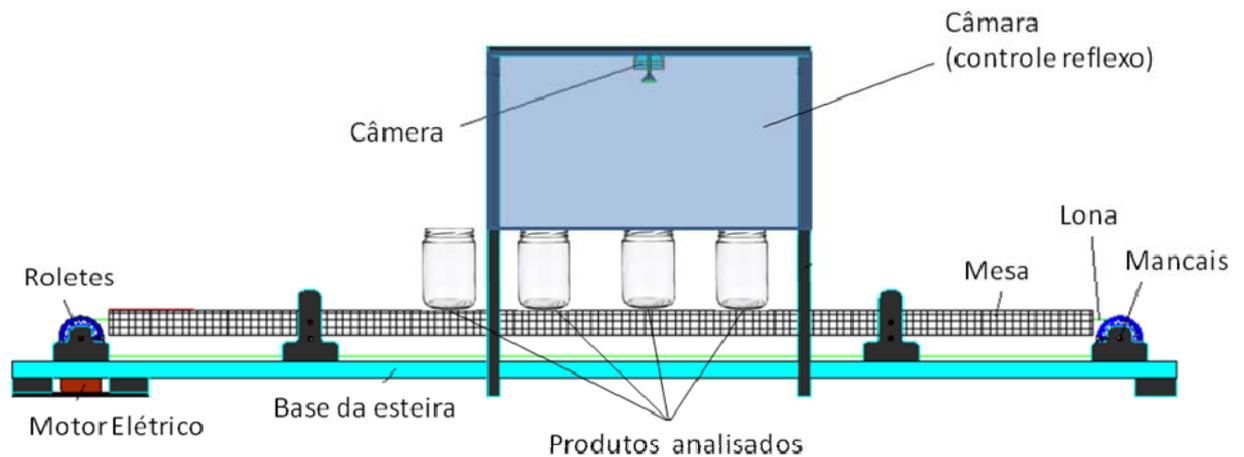


Figura 19: Ilustração esquemática do aparato utilizado nos experimentos.  
Fonte: Adaptado de Pires (2012).

Todos os experimentos foram conduzidos da seguinte forma: cada produto a ser analisado era colocado na esteira em movimento. Quando o produto estava enquadrado, a captura da imagem era feita pela aplicação de forma automática. Em seguida, a aplicação realizava a análise da imagem e decidia pela aprovação ou rejeição do produto. A Figura 20 ilustra graficamente essas etapas.

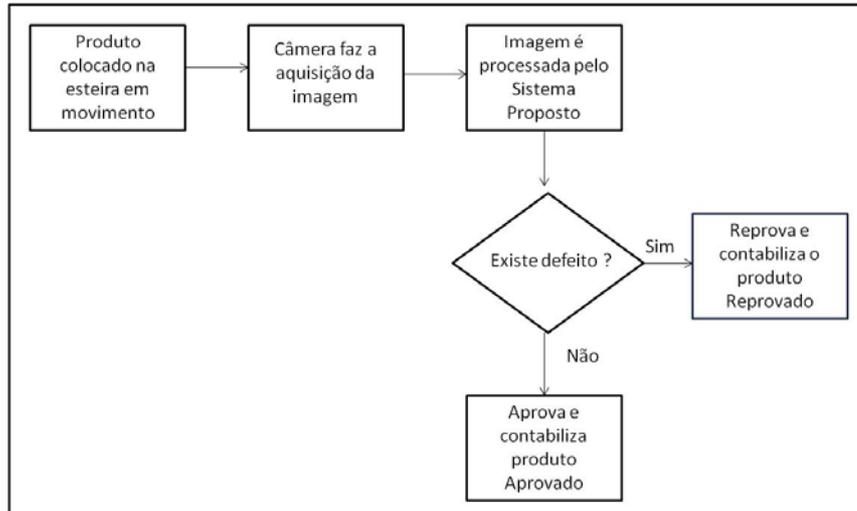


Figura 20: Diagrama dos passos executados para inspeção do produto.  
Fonte: O autor.

No capítulo seguinte são apresentados os resultados experimentais com as aplicações que compõem o sistema proposto.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A seguir, nas subseções 4.1 e 4.2, são descritos os experimentos com as duas aplicações que compõem o sistema proposto, cuja tela principal é ilustrada na Figura 21, bem como as discussões acerca dos resultados obtidos.

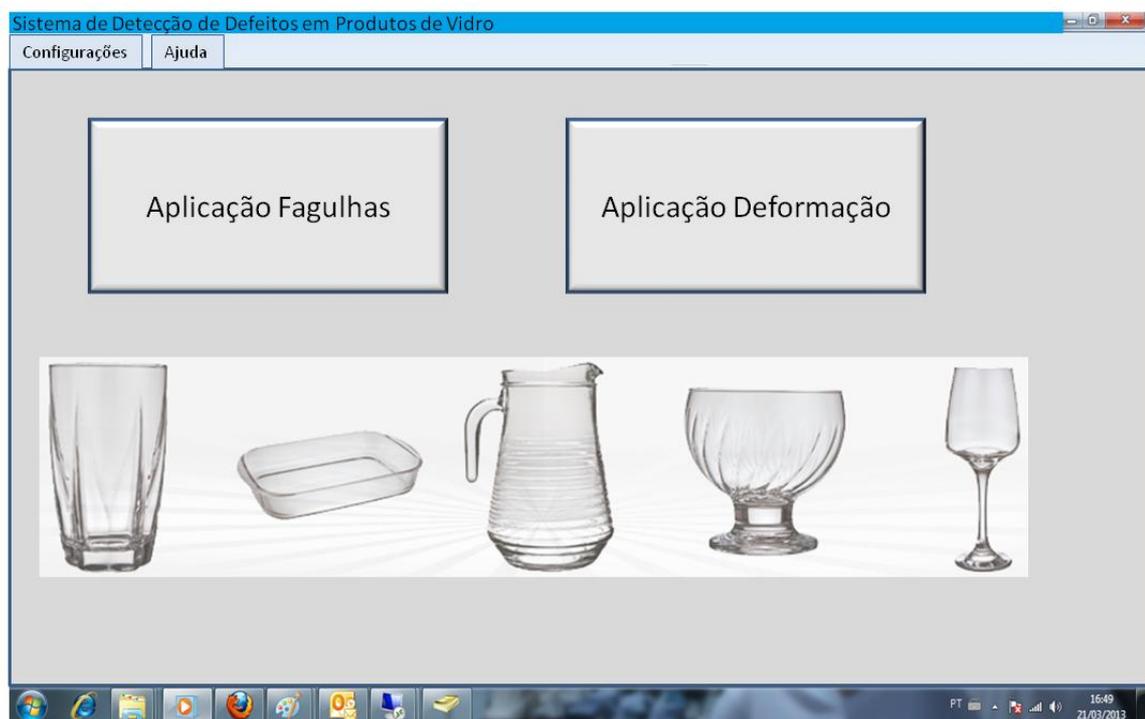


Figura 21: Tela inicial do sistema proposto para detecção de defeitos em produtos de vidro.  
Fonte: O autor.

A tela principal do sistema apresenta os seguintes elementos:

- Título do sistema – “Sistema de Detecção de Defeitos em Produtos de Vidro”
- Menu – posicionado na parte superior esquerda da tela e que possui os seguintes itens:
  - Configurações: permite acesso as parametrizações de cada aplicação, como tipo de produto que será analisado;
  - Ajuda: exhibe um tutorial sobre as funcionalidades do sistema.
- Botões – permitem acessar as duas aplicações que compõem o sistema:
  - Aplicação Fagulhas: abre a aplicação destinada a identificação do defeito fagulha em copos e potes;
  - Aplicação Deformação: abre a aplicação destinada a identificação do defeito deformação em pratos.

#### 4.1. RESULTADOS OBTIDOS NOS EXPERIMENTOS COM A APLICAÇÃO PARA DETECÇÃO DE FAGULHAS EM EMBALAGENS DE VIDRO

A seguir é mostrado um exemplo imagem do vidro para embalagem (copo e pote), considerando um único ensaio entre muitos outros que foram realizados neste trabalho. Em cada análise, a entrada da aplicação proposta é uma imagem colorida RGB como a ilustrada na Figura 22a. O primeiro passo é a conversão desta imagem para outra em níveis de cinzas (Figura 22b), obtida a partir das médias dos componentes RGB de cada pixel.

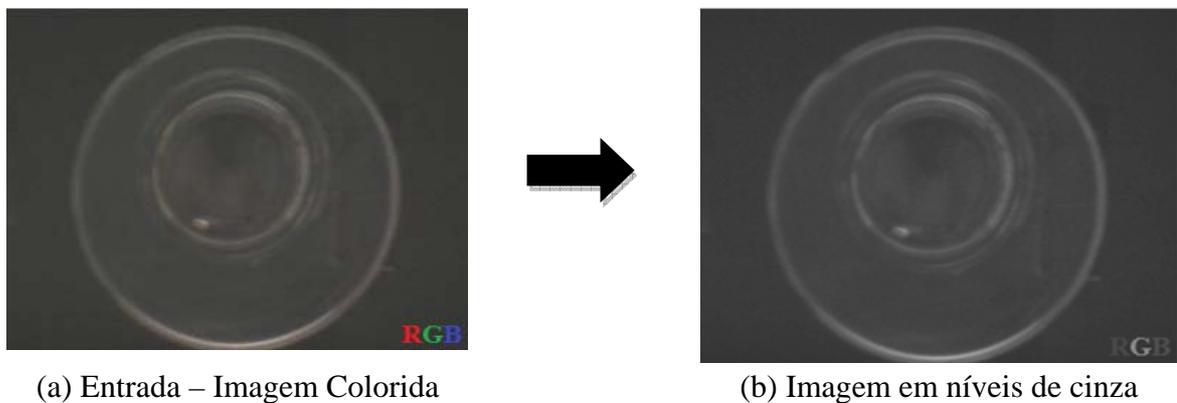


Figura 22: Conversão da imagem de entrada para níveis de cinza.  
Fonte: O autor.

Na sequência, realizou-se a detecção de bordas usando a informação da magnitude do gradiente (equação 4) e, com base nas bordas detectadas, aplica-se a Transformada de Hough (TH) para detectar o círculo mais interno que representa o fundo do copo (Figuras 23a e 23b).

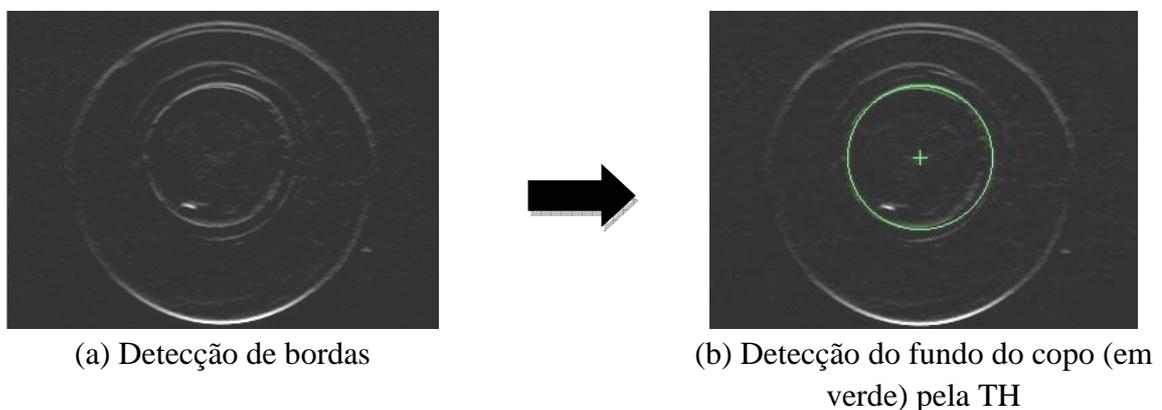


Figura 23: Detecção de borda do fundo do copo.  
Fonte: O autor.

Para estas duas etapas determinou-se  $Lm=Lc=128$ . Para acelerar a execução do algoritmo TH foi determinado que somente pixels dentro de uma região de  $20 \times 20$  pixels no centro da imagem poderia ser centro do círculo. Além disso, para todos os casos o raio do círculo deveria ser de aproximadamente  $1/4$  da altura da imagem com desvio de 10 pixels. Essas inferências foram feitas com base nas dimensões do produto analisado e da imagem capturada.

Nas etapas seguintes, ilustradas nas figuras 24a e 24b, a região de interesse - RI (fundo do copo) é segmentada e binarizada. Na última etapa do algoritmo efetua-se a remoção de componentes conexos considerados muito pequenos ou muito grandes (conforme valores definidos na parametrização do algoritmo), tendo em vista que tais componentes provavelmente representam ruídos, e contam-se os componentes conexos restantes, os quais indicam a existência de fagulhas.

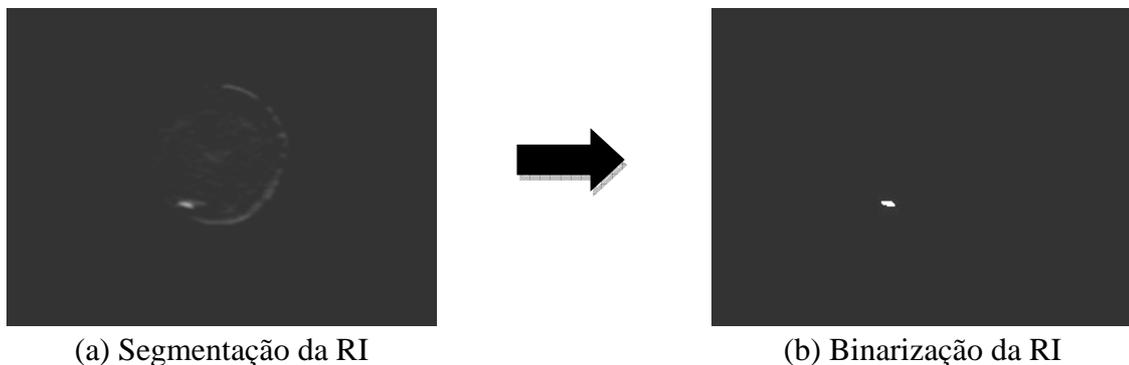
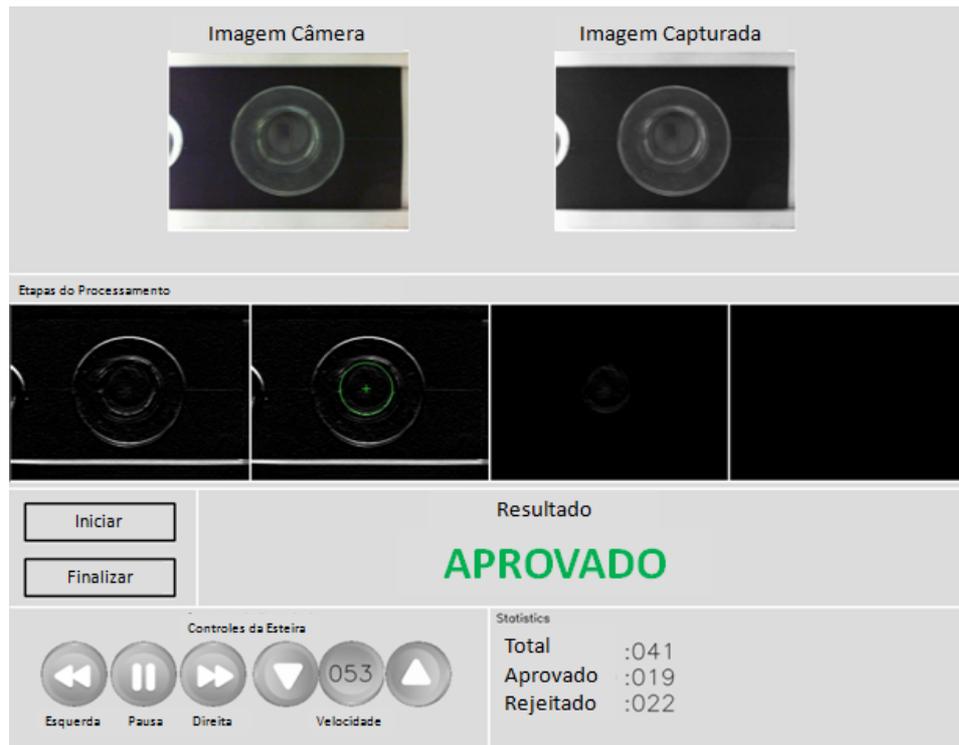


Figura 24: Segmentação e binarização da imagem do fundo do copo.

Fonte: O autor.

Caso a imagem resultante das etapas de processamento descritas anteriormente possua pixels brancos, há a incidência de fagulhas e o produto é reprovado pela aplicação.

Os experimentos foram realizados como se segue: para cada copo colocado sobre a esteira, o algoritmo deveria adquirir o melhor quadro (quando o produto estiver no centro da imagem), realizar a análise da imagem adquirida e indicar se o produto estava aprovado (Figura 25a) ou rejeitado (Figura 25b).



(a) Produto aprovado



(b) produto rejeitado

Figura 25: Telas da aplicação mostrando Aprovação e Rejeição dos produtos.  
Fonte: O autor.

Nos experimentos realizados com esta aplicação a taxa de acerto para os dois produtos analisados foi superior a 95%, como descrito na Tabela 1. Nas colunas seguintes apresentam-se: a quantidade de produtos analisados, a quantidade de detecções corretas (VP), a quantidade de casos onde havia fagulhas que não foram detectadas (FN), a quantidade de casos onde houve detecções equivocadas (FP) e, finalmente, a taxa de acertos.

Tabela 1: Resultados obtidos com a aplicação para detecção de fagulhas.

<b>Produto Analisado</b>	<b>Quantidade</b>	<b>VP</b>	<b>FN</b>	<b>FP</b>	<b>Taxa de Acertos</b>
Copo	200	196	4	2	98,0%
Vidro (pote)	200	191	9	4	95,5%
<b>TOTAL</b>	<b>400</b>	<b>387</b>	<b>13</b>	<b>6</b>	<b>96,7%</b>

Os casos de falsos negativos foram originados devido ao baixo contraste (pouca diferença entre as intensidades de cinzas) entre os pixels que representam a partícula e os que representam a parte inferior da embalagem de vidro, como ilustrado na Figura 26. Já os falsos positivos foram causados por erro na detecção do círculo que representa o fundo do copo.



Figura 26: Exemplo de caso de falso negativo.

Fonte: O autor.

Contudo, em muitos outros casos de partículas de vidro com baixo contraste e muito pequenas (aproximadamente 0,1 centímetro), houve sucesso na detecção, como no exemplo mostrado na Figura 27. Neste mesmo exemplo podemos notar que uma fagulha fora do produto não foi considerada, uma vez que a mesma não faz parte da região de interesse.



Figura 27: Exemplo de partículas de vidro com baixo contraste detectado com sucesso.

Fonte: O autor.

No que tange ao tempo do processamento, a aplicação gastou em média 1 segundo para processar uma imagem. Este tempo pode ainda ser melhorado ajustando parâmetros ou a quantidade de pixels candidatos a centro do círculo no cálculo da TH, além do tamanho da imagem a ser processada.

#### 4.2. RESULTADOS OBTIDOS NOS EXPERIMENTOS COM A APLICAÇÃO PARA DETECÇÃO DE DEFORMAÇÃO EM PRATOS

Nesta aplicação também há o processo de detecção das bordas circulares do prato por meio da TH, uma delas representando a extremidade do prato (borda externa) e outra representando o fundo do prato, como ilustrado na Figura 28.

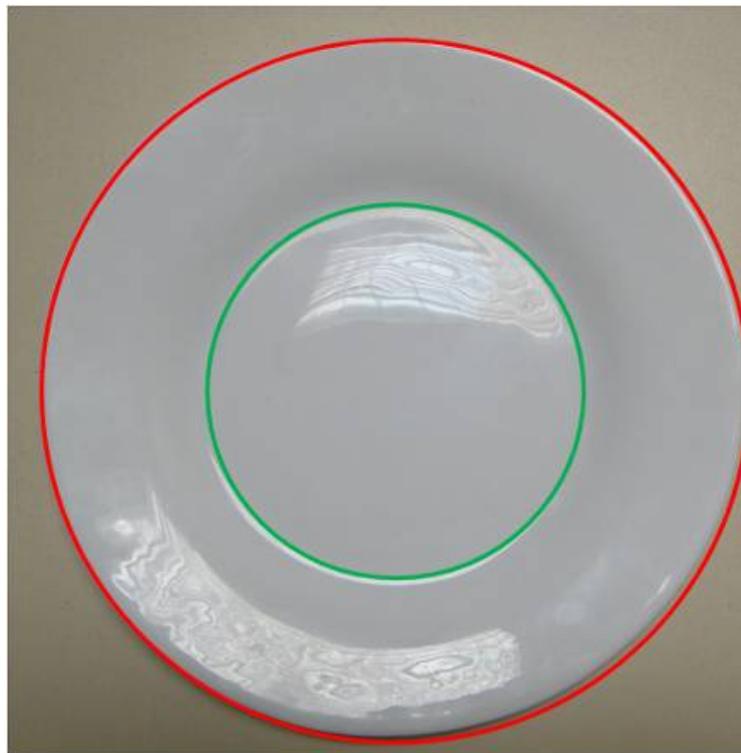


Figura 28: Bordas do prato.

Fonte: O autor.

Importante ressaltar que as regiões circulares servem como referências para a detecção das bordas reais do prato.

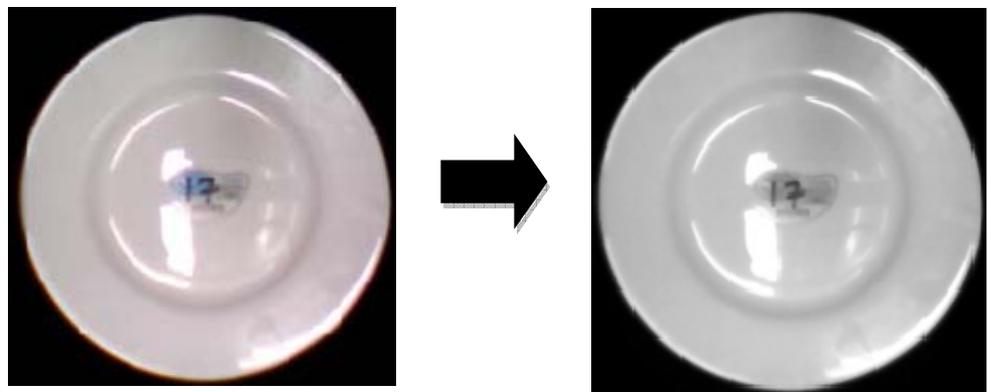
A entrada da aplicação, cuja interface está ilustrada na Figura 29, é uma imagem colorida adquirida por meio do aparato já descrito anteriormente.



Figura 29: Imagem da interface da aplicação.

Fonte: O autor.

A exemplo da primeira aplicação, na primeira etapa realiza-se a conversão da imagem original colorida para uma em níveis de cinza, calculando a média dos componentes RGB de cada pixel, como mostrado na Figura 30.



(a) Imagem adquirida colorida

(b) Imagem em níveis de cinza

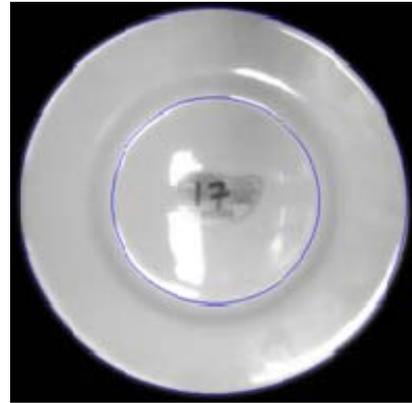
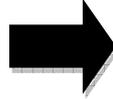
Figura 30: Conversão da imagem adquirida para níveis de cinza.

Fonte: O autor.

Na sequência é feita a detecção de arestas utilizando a informação da magnitude do gradiente (equação 4) e, com base nos limites encontrados, é realizada a detecção dos círculos que representam a borda e o fundo do prato (Figura 31) usando o algoritmo TH.



(a) Saída do processo de detecção de bordas



(b) Círculos em azul mostram o fundo e a borda do prato

Figura 31: Passos para de detecção das bordas do prato usando TH.  
Fonte: O autor.

Para acelerar a execução do algoritmo TH foi determinado que apenas os pixels dentro de uma região de  $20 \times 20$  pixels no centro da imagem poderia ser região candidata a centro do círculo. A Figura 32 ilustra o quadrado vermelho em destaque sinalizando essa região.

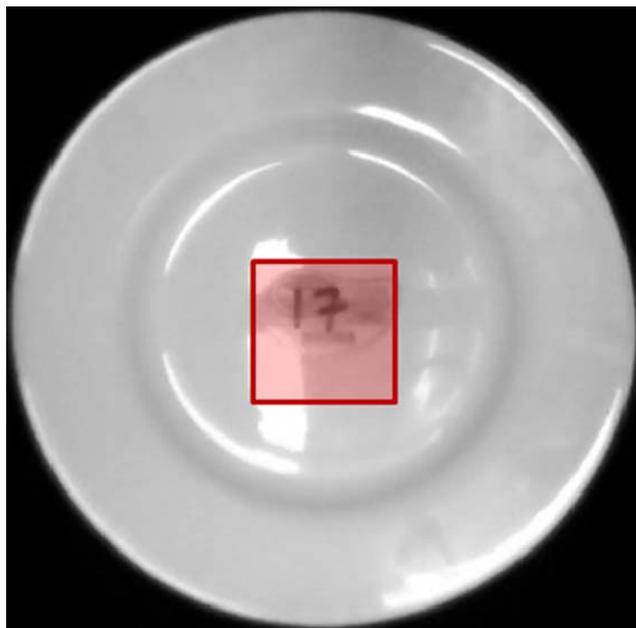


Figura 32: Região candidata a centro dos círculos.  
Fonte: O autor.

Além disso, em todos os casos, o raio do fundo do prato deve ser de aproximadamente 1/4 da altura da imagem, com um desvio padrão de 15 pixels. Esta informação também é utilizada para a detecção do círculo que representa a borda do prato.

Após o processo de detecção dos círculos, são traçados 72 raios a partir do centro do prato, interceptando os dois círculos. Esses raios são traçados utilizando um algoritmo para desenho de linhas proposto por Bresenhan (1965), originalmente desenvolvido para desenhar linhas retas em um dispositivo matricial e que utiliza apenas aritmética inteira ao invés de cálculo de senos e cossenos que demandam maior esforço computacional.

Em cada raio são verificadas duas distâncias: uma a partir do centro para até a borda do prato (desenhada em verde na Figura 33) e outra a partir do círculo que representa o fundo do prato até a borda do prato (desenhada na cor magenta na Figura 33).

Os valores das distâncias representadas pelos comprimentos dos raios são armazenados em dois vetores  $V_c$  e  $V_d$ . O primeiro vetor é utilizado para calcular a circularidade do prato, enquanto o segundo é utilizado para calcular o deslocamento do fundo em relação à borda do prato.

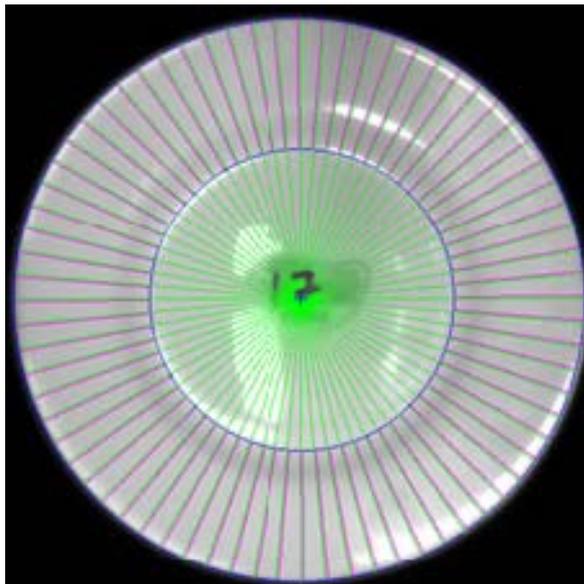


Figura 33: Raios interceptando as extremidades dos círculos  
Fonte: O autor.

Na Figura 34 vê-se uma ampliação onde as distâncias citadas estão melhor representadas.

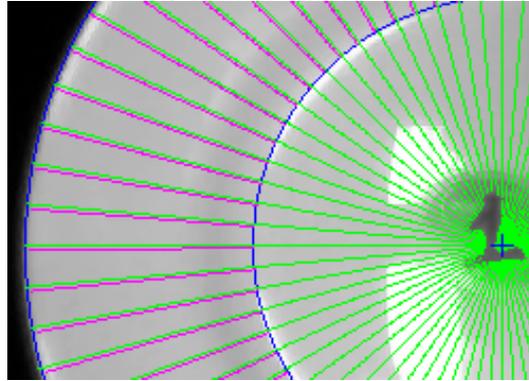


Figura 34: Ilustração das distâncias utilizadas para detecção de deformações nos pratos.  
Fonte: O autor.

Assim, são calculados os desvios padrões dos dois vetores de distância ( $V_c$  e  $V_d$ ) e então pode-se verificar se eles estão dentro das faixas aceitáveis, as quais foram obtidas com base nos padrões da indústria XYZ e em análises realizadas manualmente com o uso de uma folha milimetrada, paquímetro e compasso, em uma amostra de pratos escolhidos de forma aleatória.

A partir destas análises manuais notou-se que os desvios padrões de circularidade e deslocamento do fundo em pratos considerados sem defeitos deveriam ser de, no máximo, 5 e 2,5 pixels, respectivamente.

Com base nas informações dos desvios a aplicação indica se a peça analisada é considerada aprovada ou rejeitada. Se apenas um dos valores dos desvios calculados for diferente do limite estipulado como tolerável, já é o suficiente para a rejeição do produto.

Ambos os valores dos desvios padrões são mostrados na imagem analisada, como ilustrado na Figura 35, onde o desvio padrão da circularidade é 9,74 e o de deslocamento é 1,04. Além disso, uma mensagem indicando se o produto foi aprovado ou rejeitado é exibida na tela da aplicação, como mostrado na Figura 29.

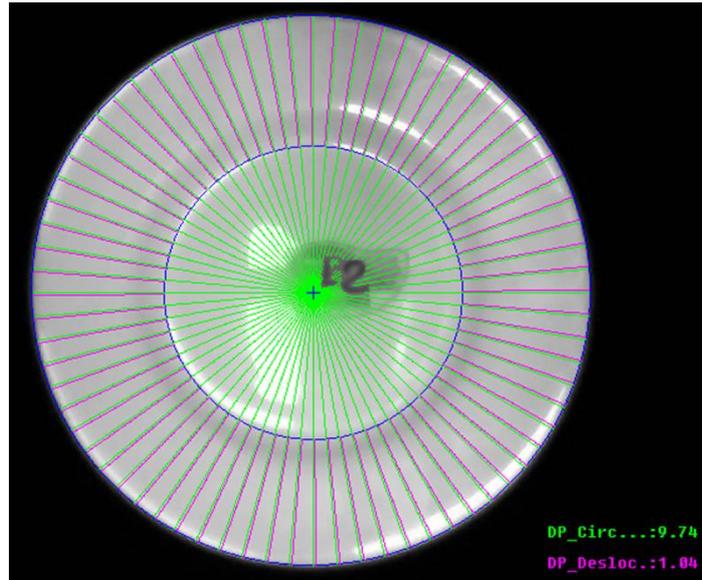


Figura 35: Ilustração de um prato considerado com defeito (Reprovado).  
Fonte: O autor.

Para cada tamanho ou tipo de prato, há um valor de referência. Nesse caso, como foi utilizado o desvio padrão das distâncias, as mesmas inferências podem ser adotadas para outros tipos de prato circulares de tamanhos diferentes.

Na Figura 36, pode-se ver uma amostra aprovada, uma vez que o desvio padrão da circularidade foi inferior a 5 pixels (1,57) e o de deslocamento inferior a 2,5 (0,93).

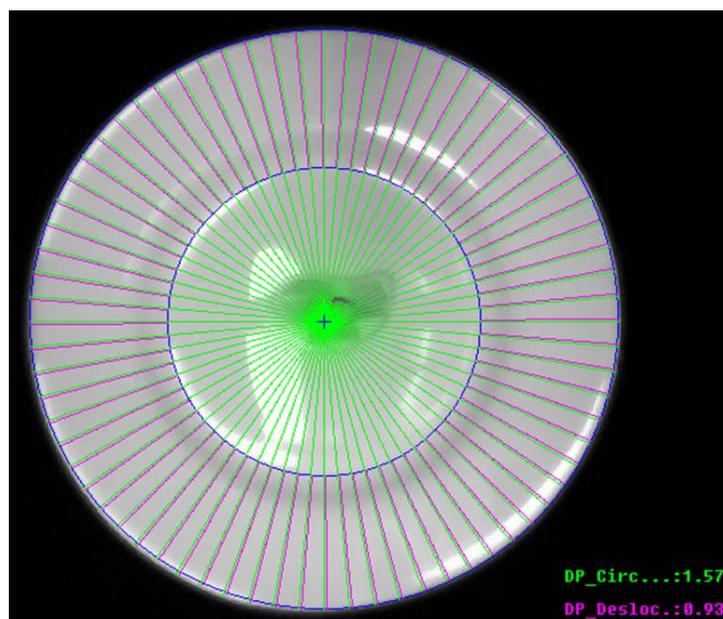


Figura 36: Prato considerado sem defeito (Aprovado).  
Fonte: O autor.

Com a mesma aplicação, pode-se ainda realizar outras inferências a respeito de pratos quebrados, uma vez que a ausência de uma parte do produto representa uma grande alteração no formato circular. Tais experimentos também foram realizados neste trabalho.

Para simular a ausência de partes dos pratos, foram utilizados recortes irregulares de papel EVA preto (da mesma cor do suporte usado para dar contraste na aquisição das imagens).

A Figura 37 ilustra o recorte de EVA sobre o prato, simulando a ausência de uma parte dele e ao lado o resultado da análise que o considerou rejeitado.

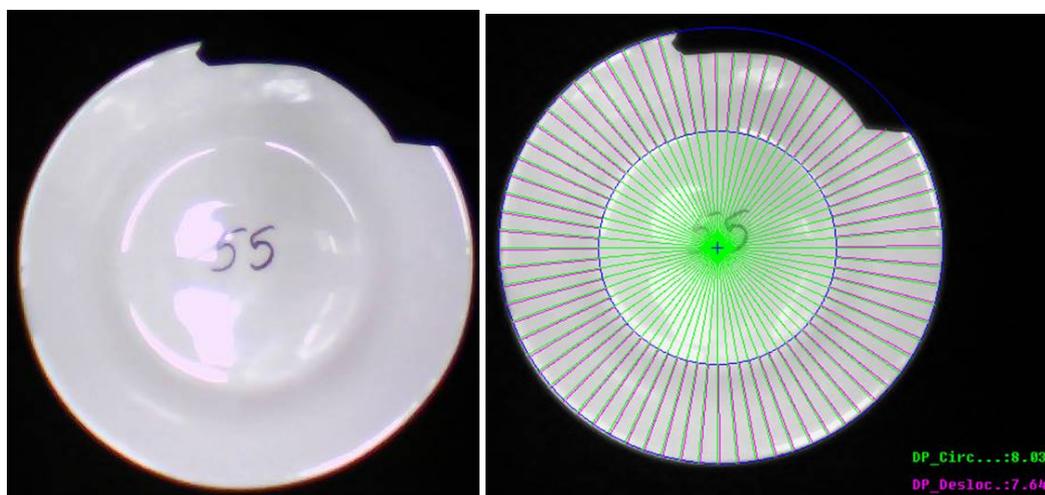


Figura 37: Simulação de defeito no prato e resultado da análise pela aplicação.

Fonte: O autor.

Nos experimentos de deformação foram analisados 50 pratos distintos e nos experimentos com pratos quebrados utilizou-se um único prato com 20 variações de defeitos simulados. Na Tabela 2 são apresentadas as taxas de acertos para os experimentos de deformação, considerando os pratos inteiros e os pratos quebrados.

Tabela 2: Resultados obtidos com a aplicação para detecção de deformação.

<b>Produto Analisado</b>	<b>Quantidade</b>	<b>VP</b>	<b>FN</b>	<b>FP</b>	<b>Taxa de Acertos</b>
Pratos Inteiros	50	48	0	2	96,0%
Pratos Quebrados	20	19	0	1	95,0%
<b>TOTAL</b>	<b>70</b>	<b>67</b>	<b>0</b>	<b>3</b>	<b>95,7%</b>

Como pode ser visto na Tabela 2, nos experimentos com os 50 pratos inteiros para a detecção de deformação, apenas 2 foram analisados incorretamente pela aplicação. Esses erros são ilustrados na Figura 38 e se devem a questões de iluminação que fizeram com que a aplicação identificasse os círculos internos em posições incorretas.

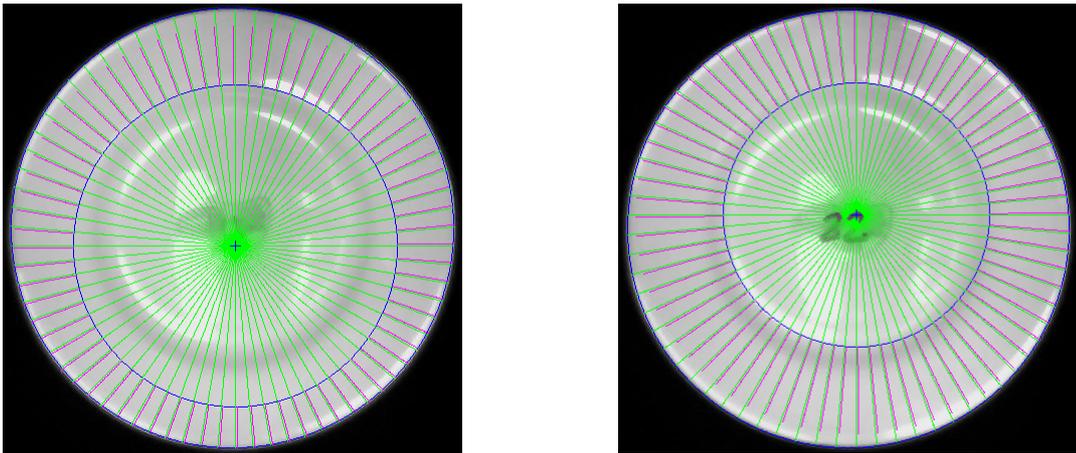


Figura 38: Erros de detecção do círculo interno em pratos inteiros.

Fonte: O autor.

Nos experimentos envolvendo a simulação de pratos quebrados houve um único erro de detecção do círculo interno, da mesma forma que o experimento com pratos inteiros. Esse erro se deu também devido a variação de iluminação, como se pode notar na Figura 39. Consideramos os três erros de detecção de círculos como falsos positivos.

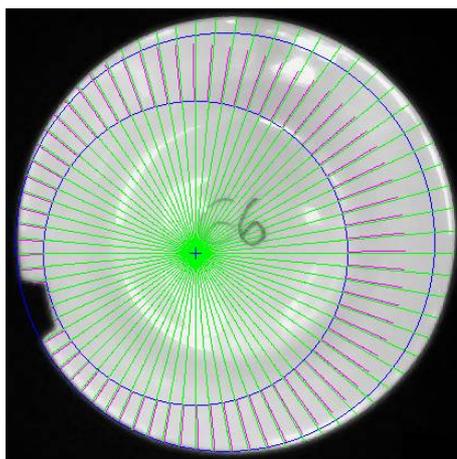


Figura 39: Erros de detecção do círculo interno em prato quebrado.

Fonte: O autor.

No que tange ao tempo do processamento, a aplicação gastou, em média, 1,5 segundos para processar uma imagem. A exemplo da aplicação anterior, este tempo pode ser melhorado ajustando os parâmetros de configuração da aplicação.

## 5. CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Neste trabalho foi proposto um sistema de apoio operacional voltado para o controle do processo de inspeção automática de defeitos em produtos de vidro, composto por duas aplicações. Uma para detectar um tipo específico de defeito conhecido como fagulha ou fragmento em produtos de vidro utilizados como embalagem de alimentos e a segunda para identificar deformação em pratos para uso doméstico.

Nos experimentos envolvendo a detecção de fagulhas em embalagens de vidro obtivemos uma taxa de acertos média de 96,7% (98% para o copo e 95,5% para pote). Os casos de falsos negativos, ou seja, produtos com fagulhas que foram aprovados corresponderam, respectivamente, a 2% e 4,5%.

Já nos experimentos com a aplicação para detecção de deformação a taxa média de acertos foi de 95,7%, sendo 96% no caso de pratos inteiros e 95% no caso de pratos quebrados. Os casos de falsos positivos corresponderam, respectivamente, a 4% e 5%. Nos experimentos realizados com esta aplicação não houve casos de falso negativo.

Em ambas as aplicações os erros foram causados, na maioria dos casos, pela detecção incorreta do círculo que representava o fundo do copo ou prato e também devido a variações de iluminação.

Com base nas taxas de acertos obtidas nos experimentos com sistema proposto acoplado ao aparato para simulação de uma linha de produção em uma indústria, pode-se concluir que as aplicações permitem atender aos objetivos e que poderiam ser utilizadas na prática para detecção dos defeitos investigados, desde que algumas melhorias sejam feitas tanto no sistema quanto no aparato visando torná-los menos insensíveis às condições de iluminação.

Também pode-se inferir que é possível realizar o processo de análise de defeitos de forma mais ágil que a inspeção manual tendo em vista que para a avaliação de cada produto, o

tempo total de processamento, usando um microcomputador Pentium dual core 2.2GHz, variou de 1 a 1,5 segundos.

Em trabalhos futuros pretende-se: realizar novas pesquisas acerca de outros defeitos e produtos, além de explorar se as mesmas técnicas podem ser empregadas para outros tipos de materiais como plásticos e acrílicos; tornar as aplicações desenvolvidas mais robustas principalmente no que tange ao ajuste dos parâmetros e também na questão da sensibilidade aos efeitos de iluminação; melhorar a interface para acoplamento de mais subsistemas (aplicações) para detecção de outros tipos de defeitos, melhorar o módulo de gerenciamento dos parâmetros relacionados a cada tipo de produto/defeito e concluir o módulo de ajuda; desenvolver um procedimento de avaliação estatística e geração de relatórios dos resultados das aplicações visando fornecer informações que possam servir de apoio à decisão gerencial.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 14910:2002 - Embalagens de vidro para produtos alimentícios - Requisitos e métodos de Ensaio**. Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2002.
- ADAMO, F.; ATTIVISSIMO, F.; DI NISIO, A.; SAVINO M. *A Low-cost Inspection System for Online Defects Assessment in Satin Glass*. *Measurement*, v. 42, n. 9, p. 1304-1311, 2009.
- ALBERTIN, A. L. **Administração de informática: funções e fatores críticos de sucesso**. 6ª ed. São Paulo: Atlas, 2009.
- ARAÚJO, S. A. *Segmentation-free Template Matching for Digital Images Invariant to Similarity Transformations*. Tese de Doutorado, USP, São Paulo. 2009.
- BALLARD, D. H. *Generalizing the Hough Transform to Detect Arbitrary Shapes*. *Pattern Recognition*, v. 13, n. 2, p. 111-122, 1981.
- BATCHELOR, B. G.; WHELAN, P. F. **Intelligent Vision Systems for Industry**. UK: Springer, 2002.
- BEAL, A. **Gestão Estratégica da Informação: Como Transformar e Informação e a Tecnologia da Informação em Fatores de Crescimento e de Alto Desempenho nas Organizações**. São Paulo: Atlas, 2004. 137 pp.
- BNDES. **Considerações sobre A indústria do vidro no Brasil**. BNDES Setorial. Disponível em: [http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes\\_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/bnset/set2605.pdf](http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/bnset/set2605.pdf) . Rio de Janeiro, n. 26, p. 101-138. Set. 2007.
- BRESENHAM, J. E. *Algorithm for Computer Control of A Digital Plotter*. *IBM Systems Journal*, v. 4, n. 1, p.25-30, 1965.
- CARRASCO, M.; PIZARRO, L.; MERY, D. *Manufacturing Visual inspection of glass bottlenecks by multiple-view analysis*. *International Journal of Computer Integrated*. 2008.
- CASTELLS, M. A Era da Informação: economia, sociedade e cultura. In: **A sociedade em rede**. São Paulo: Paz e Terra, p. 620, 1999.
- CEBRACE, Indústria de Vidro Plano. **O Vidro**. Disponível em: <http://www.cebrace.com.br/v2/vidro>. Acessado em: 05 de out. 2012.
- COLTRO, A. A gestão da qualidade e suas influências na competitividade empresarial. **Caderno de pesquisas em administração**, v.1, n.2, 1º sem. 1996.
- CONCI, A.; AZEVEDO, E.; LETA, F. R. **Computação Gráfica. Vol. 2 - Processamento de Imagens Digitais**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2008.
- CRUZ, T. **Sistemas de Informações Gerenciais: Tecnologias de Informação e a Empresa do Século XXI**. 3ª ed. São Paulo: Atlas, 2003.

DAVIES, E. R. *Image Space Transform for Detecting Straight Edges in Industrial Images*. **Pattern Recognition Letters**, n. 4, p. 185-192, 1986 .

DOMINGO, M.; MEDINA, O. *Automated visual inspection of glass bottles using adapted median filtering*. **International Conference ICIAR 2004**, Porto, Portugal, 29/setembro a 1/outubro, 2004.

FAPESP. Falta integração com a indústria vidreira. **Revista Pesquisa On-Line**. Disponível em: <http://revistapesquisa2.fapesp.br/?art=1845&bd=1&pg=1&lg>. Acessado em: 10 de set. 2012.

FAWCETT, T. An introduction to ROC analysis. **Pattern Recognition Letters**, v. 27, n. 8, p. 861-874, 2006.

FENG D., YAO-NAN W., HUAN-JUN L., YANG-GUO L. *A machine vision inspector for beer bottle*. **Direct Science Engineering Applications of Artificial Intelligence**, n. 20, p. 1013–1021, 2007.

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2009.

GONZALEZ, R. C.; WOODS, R. E. **Digital Image Processing**. Massachusetts: Addison-Wesley, 2002.

HASSAN, M. H.; DIAB, S. L. *Visual inspection of products with geometrical quality characteristics of known tolerances*. **Mechanical Engineering**. Novembro de 2010.

HOUGH, P. V. C. *Method and Means for Recognizing Complex Patterns*. **U.S. Patent 3069654**, Dec. 18, 1962.

INTEL, OPENCV - Open Source Computer Vision Library. Disponível em: <<http://www.intel.com/technology/computing/opencv/>>. Acessado 05 de out. 2011

KIM, H. Y. **ProEikon - Routines and Programs in C/C++ for Image Processing and Computer Vision**. Disponível em: <http://www.lps.usp.br/~hae/software>. Acessado em 05 mar. 2010.

LAFIS, Informação de Valor. Construção e materiais: vidros. **Relatório Setorial**, 26 de março de 2004. Disponível em: <http://www.lafis.com.br/s4/Ctemp/5CN055158P.PDF>. Acessado em: 09 set. 2012.

NISHU & AGRAWAL, S. *Glass Defect Detection Techniques using Digital Image Processing - A Review*. **Special issues on IP Multimedia Communications**, n. 1, p. 65-67, 2011.

O'BRIEN, J. A. **Sistemas de Informação e as Decisões Gerenciais na Era da Internet**. 2ª ed. São Paulo: Saraiva, 431 pp. 2006.

REZENDE, D. A. A.; ABREU, A. F. **Tecnologia da informação aplicada a sistemas de informação empresariais: o papel estratégico da informação e dos sistemas de informação nas empresas**. São Paulo: Atlas, 2000.

- TE-SHENG, L. *Applying wavelets transform and support vector machine for copper clad laminate defects classification. Computers & Industrial Engineering*, n. 56, p. 1154–1168. 2009.
- TURBAN, E. et al. **Tecnologia da informação para a gestão**. Porto Alegre: Bookman, 2010.
- VERNON, D. *Machine Vision: Automated Visual Inspection and Robot Vision*. Great Britain: Prentice Hall. 1991.
- WANG, J.; ASUNDI, A. K. A. *Computer Vision System for Wineglass Defect Inspection via Gabor-filter-based Texture Features. Information Sciences*, n. 127, p. 157-171, 2000.
- YEPENG, Z.; YUEZHEN, T.; ZHIYONG, F. *Application of Digital Image Process Technology to the Mouth of Beer Bottle Defect Inspection. 8th International Conference on Electronic Measurement & Instruments*. Xian, China, p. 905-908. 2007.
- YONG, F. C.; NIANNIAN, G.; LINGLING, J.; YUAN, W.; JUNBO, C.; XIAOFENG, C. *Digital detection system of surface defects for large aperture optical elements. High Power Laser and Particle Beams*, n. 21, p. 1032-1036. 2009.
- YOUNG-GEUN, Y.; SEOK-LYONG, L.; CHIN-WAN, C.; SANG-HEE, K. *An effective defect inspection system for polarized film images using image segmentation and template matching techniques. Computers & Industrial Engineering*, n. 55, p. 567-583. 2008.
- ZHANG, D. & LU, G. *Review of shape representation and description techniques. Pattern Recognition*, v. 37, n.1, p. 1-19, 2004.
- ZHAO, J.; ZHAO, X.; LIU, Y. A. *Method for Detection and Classification of Glass Defects in Low Resolution Images. Sixth International Conference on Image and Graphics*, Hefei, China, p. 642-647. 2011.

# Computer Vision System for Automatic Quality Inspection of Glass Products Used for Food Packaging

João David D. Cabral\*, Sidnei A. Araújo\*

\* Industrial Engineering Post Graduation Program, Universidade Nove de Julho (UNINOVE), São Paulo, Brazil

Email: joaodavid@uninove.br, saraujo@uninove.br

## Abstract

An important aspect in the process of glass production is the difficulty to predict all possible problems or defects before finalizing the product, being necessary a continuous inspection process of products to ensure their qualities. In addition, in the glass industry some defects transcend the product quality issues. It is the case of glass products to be used in food packaging, which can bring some risk to consumers such as a loose shard of glass or a sharp edge that can cause an injury. Despite the importance of the visual inspection processes of glass products, many of them are still performed manually. The problem is that human inspection presents some drawbacks such as the time consuming, high cost and the fact that the efficiency of human labor can be easily affected by environmental and personal factors. In this context, automated inspection processes are desirable. In this paper we proposed a computer vision system to identify a defect known as glass particle in glass products used for food packaging. Experiments using a low cost apparatus to simulate a real line of production were conducted to evaluate the efficiency of the proposed system.

**Keywords:** computer vision system; visual quality inspection; glass products; glass particle; glass sparkle.

## 1 Introduction

The production of glass, due to its characteristics of foundry and temperature, requires a constant production. Another relevant aspect in the process of glass production is that is not possible to predict all possible problems (defects) before finished product. Thus, it is necessary to keep an inspection process to improve the quality of the final product.

Many manufacturers are concerned about the appearance of their products since customers often assign the appearance of product with its functional quality. Thus, to ensure the success of a product in a long time market, it is desirable to perform a visual inspection of its appearance before packing and shipping (Vernon, 1991).

In the glass industry, the preoccupation with defects transcends the issue of product quality, mainly in the case of glass products used for food packaging, which can bring some risk to consumers such as a loose shard of glass or a sharp edge that can cause an injury.

Nowadays many products of the glass industry are inspected by manual process, which presents the inconvenience of time consuming and high cost (Nishu & Agrawal, 2011). Besides, the efficiency of human work is affected by environmental and personal factors (Pesante-Santana & Woldstad, 2000).

In most manual inspection processes in the glass industry, the incidence of defective products that are rejected usually is related to the fact that there is an incompatibility between the velocity of production and the analysis capacity of human workers. In these cases, the parameter that can be changed to human inspection is the number of workers, based on the speed of production, but this action is not interesting because of involved costs and necessity of adaptation in the production lines. In this context, automatic inspection machines arise as an alternative to improve quality of products and reduce costs (Vernon, 1991; Wang & Asundi, 2000; Batchelor & Whelan, 2002; Nishu & Agrawal, 2011).

Nevertheless, it is observed that many of automatic processes need a dedicated machine with many pre-established settings, which requires adjustments in the whole production line, such that only products that are constantly produced and in large scale justify these agreements and investments.

In the last years many computer vision systems (CVS) for quality inspection of glass products have been reported in the literature. Among them, we can find a system for detection of foreign materials included in LCD Panels proposed by Shimizu et al. (2000); a CVS for inspection of defect in wineglass developed by Wang & Asundi (2000); an application for inspection of defect in mouth of beer bottle developed by Yepeng et al. (2007); a method for automatic inspection of float glass fabrication proposed by Peng et al. (2008); a low-cost inspection system for online defects assessment in satin glass presented by Adamo et al. (2009); a system for glass defect detection developed by Nishu & Agrawal (2011) and a method for detection and recognition of glass defects in low resolution images proposed by Zhao et al. (2011). However, none of these works consider glass products used for food packaging.

The objective of this paper is to propose a CVS to identify a specific defect in glass products used for food packaging, called glass particle or glass sparkle. In the performed experiments a low cost apparatus including a conveyor belt and a camera controlled by a PC were used to simulate a real line of production.

## 2 Glass Products Defects

For glass products used as packaging there are different types of defects that are classified in the norm NBR 14910:2002 by Brazilian Association of Technical Norms – ABNT.

Among the main types of defects are: Calcined fund, Sewing salient, Bubble, Stuck, Sewing mismatch, Fold, Hammered and Micro bubbles, as can be seen in Figure 1.

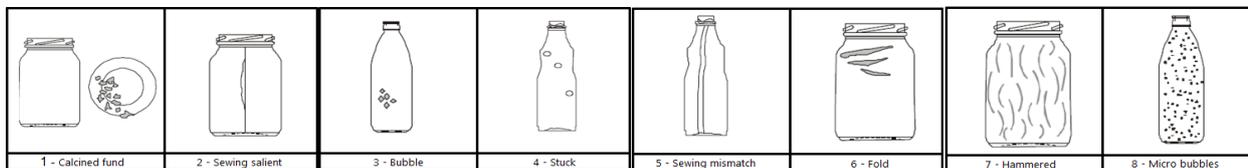


Figure 1: Examples of defects in glass products (ABNT, 2002).

The defects shown in Figure 1 represent only aesthetic problems. The CVS proposed in this paper is specific to deal with defect particle of glass, illustrated in Figure 2, which constitutes a risk to the final consumer since the particles can be detached and incorporated into food product, causing injury or be accidentally ingested.

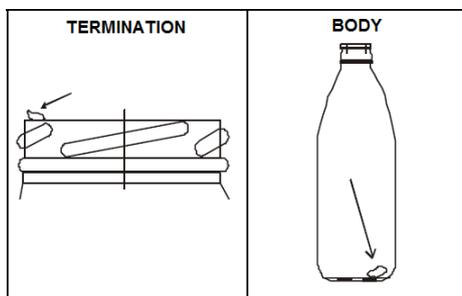


Figure 2: Defect particle of glass (ABNT, 2002).

As glass packages are not inspected by food industry before the food product packaging, there is the possibility of a consumer to purchase a food product in a package with glass fragments.

### 3 Computer Vision System Techniques

Computer Vision could be defined as a sub area of image processing whose main goal is the study and development of methods and techniques that allow machines to interpret digital images, imitating some capabilities of the human visual system (Conci et al., 2008). An efficient CVS must be able to accurately describe the scene with a processing time that makes feasible the development of practical applications such as robot vision systems, surveillance systems, automatic license plate recognition, industrial inspection and biometrics patterns recognition (Araújo, 2009). Some of computer vision techniques well as the definition of digital image are described throughout this section.

#### 3.1 Representation of Digital Images

Mathematically, an image can be defined as a bidimensional function  $f(x, y)$  with  $(x, y) \in R^2$ , where  $x$  and  $y$  are spatial coordinates that identify a point and the value of  $f$  at any point  $(x, y)$  indicates the intensity of the gray level value at that point.

A digital image is an image  $f(x, y)$  discretized both in spatial coordinates and gray level values and may be represented by a matrix in which the index of lines and columns identify an image element (pixel) and element value identifies the gray level (Gonzalez & Woods, 2002; Conci et al., 2008).

In binary images the values of  $f \in \{0,1\}$ , while in grayscale images typically the values of  $f \in [0,255]$ . For color images, each pixel is represented by a set of three or four values depending on the considered color system. In RGB (Red, Green and Blue), for example, a color image can be viewed as a set of three grayscale images, each one representing one of the color components (Araújo, 2009).

#### 3.2 Edge Detection

In an image, the edge of an object can be defined by an abrupt change in grayscale, that is, a discontinuity in the intensity of grayscale. Derivative-based operators are sensitive to these changes and are widely used as edge detectors. Based on the value of the gradient magnitude at a given point of the image it is possible to determine if that point belongs to the edge of an object. The gradient of an image point  $f(x, y)$  is defined as:

$$\nabla f(x, y) = \left[ \frac{\partial f}{\partial x}, \frac{\partial f}{\partial y} \right] \quad (1)$$

where  $\partial f/\partial x$  and  $\partial f/\partial y$  is the discrete partial derivatives in  $x$  and  $y$  directions, which can be defined by:

$$\frac{\partial f(x, y)}{\partial x} \approx f(x+1, y) - f(x, y) \quad (2)$$

$$\frac{\partial f(x, y)}{\partial y} \approx f(x, y+1) - f(x, y) \quad (3)$$

The magnitude and gradient direction (perpendicular to the edge) can be obtained by equations 4 and 5.

$$\|\nabla f(x, y)\| = \sqrt{\left(\frac{\partial f(x, y)}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial f(x, y)}{\partial y}\right)^2} \quad (4)$$

$$\theta(x, y) = \tan^{-1}\left(\frac{\partial f(x, y)}{\partial y} / \frac{\partial f(x, y)}{\partial x}\right) \quad (5)$$

Using a threshold  $L_m$  we can determine that every point where  $\|\nabla f(x, y)\| \geq L_m$  is a point belonging to an edge. It is valid to remember that the equations 2 and 3 can be replaced by known and widely used gradient operators such as Roberts, Prewitt and Sobel (Gonzalez & Woods, 2002).

### 3.3 Binarization

The binarization (equation 6) consists in converting a grayscale image into a binary image, in which pixels with value 1 (white) represent the objects and pixels with value 0 (black) represent the background or vice versa (Gonzalez & Woods, 2002).

$$b(x, y) = \begin{cases} 1, & \text{if } f(x, y) > L_b \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (6)$$

where:  $b$  is the output binary image,  $f$  is the input grayscale image and  $L_b$  is the threshold selected as reference for the grouping of pixels.

### 3.4 Connected Components

The concept of connectivity between pixels is largely explored in the characterization of regions in an image. Two pixels  $p$  and  $q$  are connected if they have any adjacency relation and their gray levels satisfy some criterion of similarity (Gonzalez & Woods, 2002). The two most common ways to define connectivity between pixels are connectivity-of-4 (Figure 3a) and connectivity-of-8 (Figure 3b).

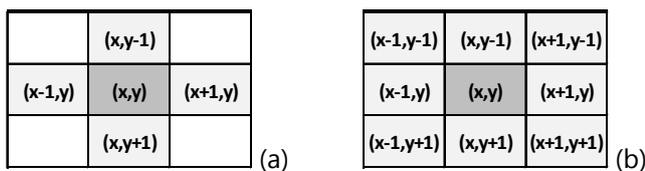


Figure 3: Neighborhood between pixels.

In connectivity-of-4 are considered the four neighboring pixels connected horizontally and vertically, in terms of coordinates, i.e.  $(x+1, y)$ ,  $(x-1, y)$ ,  $(x, y+1)$  e  $(x, y-1)$ . In connectivity-of-8, pixels connected horizontally, vertically and diagonally are considered, i.e.  $(x+1, y+1)$ ,  $(x+1, y-1)$ ,  $(x-1, y+1)$  e  $(x-1, y-1)$ . A set of connectivity-of-4 or connectivity-of-8 pixels is called connected component.

### 3.5 Hough Transform for Detecting Circles

The Hough Transform (HT), proposed by (Hough, 1962), is a method widely used in image processing and computer vision for detecting parameterized shapes such as lines, circles and ellipses. HT is usually used after the detection of edges in images you want to detect shapes.

For detection of circles, which is the shape of interest in this paper, they may be parameterized by  $(x, y, r)$ , where  $(x, y)$  indicates the central position of the circle and  $r$  the length of its radius, as shown in Figure 4.

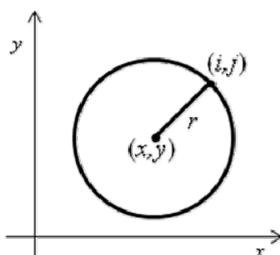


Figure 4: Parameters of the circle.

The radius of the circle is defined as follows:

$$r = \sqrt{(i - x)^2 + (j - y)^2} \quad (7)$$

where:  $(i, j)$  denote spatial coordinates of any edge pixel and  $(x, y)$  coordinates of the pixel that represents the center of the circle.

Assuming you want to find circles in the image  $I$  of size  $M \times N$ , with maximum radius  $(r_{max}) = \sqrt{M + N}$ , the HT algorithm can be described by the following steps:

1) For each pixel  $(x, y)$  of image  $I$ , an accumulator vector with size  $r_{max}$  is created and all elements are initialized with value zero.

2) For each pixel  $(i, j)$  classified as edge in the image  $I$ , is calculated its distance  $r$  (equation 7) for all other pixels of the same image, increasing 1 in the element value of the vector assigned with the pixel  $(x, y)$ , located at position  $r$ .

At the end of these two steps, the maximum values of the vectors indicate the centers and radii of the detected circles. For example, if a value above the threshold  $L_c$  is found at position 30 of the vector associated with pixel  $(50, 50)$ , this indicates the occurrence of a circle with radius 30 centered at position  $(50, 50)$  of image  $I$ .

Clearly, the implementation of the described algorithm becomes its use prohibitive in most cases. Thus, some authors like (Ballard, 1981) and (Davies, 1986) proposed enhancements to the method. However, the HT algorithm for circles can be accelerated when you have some prior information. For example, location of possible regions of center of circles, minimum and maximum radius.

## 4 Methodology

This paper is based on a case study from a real problem of a Brazilian industry, in which were considered defects in glass products used for food packaging, the deficiency in the manual inspection process and the difficult adaptability of automated equipment for visual inspection in some lines of production.

The considered company currently produces around 10 thousand tons of finished products per month, including glass products for domestic use and packaging.

To choose the product to be inspected (cup of 405ml,  $\varnothing$  97 mm), we took into account the speed of production and variety of glass products for packaging produced by the company, based on historical information.

In the implementation of the proposed CVS it was used the C/C++ programming language and the libraries for image processing and computer vision ProEikon (Kim, 2010) and OpenCV (Intel, 2007).

For the experiments described in this paper we used a low cost apparatus composed by a conveyor belt and a camera controlled by PC (Figure 5), to acquire and process 80 images of glass packages varying the amounts of particles inside them.

The acquisition of images was conducted considering a focal length of approximately 40cm from glass product placed on the conveyor belt.

The exact moment for acquiring the image of the product placed on the conveyor belt is computed by analyzing the signature generated by gradient variation along the columns in each frame. This technique is widely used by systems of license plate vehicles recognition, to determine the plate position.

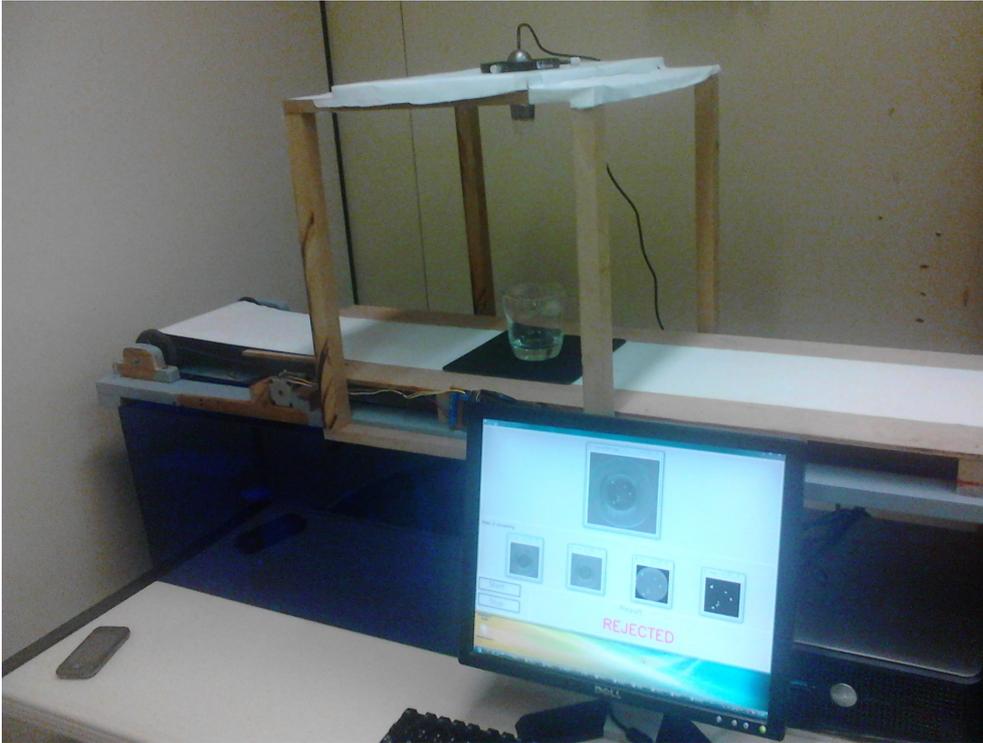


Figure 5: Apparatus used to simulate the production line.

## 5 The Proposed Computer Vision System

The input of the proposed CVS, whose the interface is illustrated in Figure 6, is an RGB color image acquired by using the apparatus previously described.



Figure 6: Interface of the proposed CVS.

The working of the system can be described by following steps of processing:

The first step is responsible to convert the acquired color image to grayscale one, by averaging the RGB components of each pixel, as showed in Figure 7.

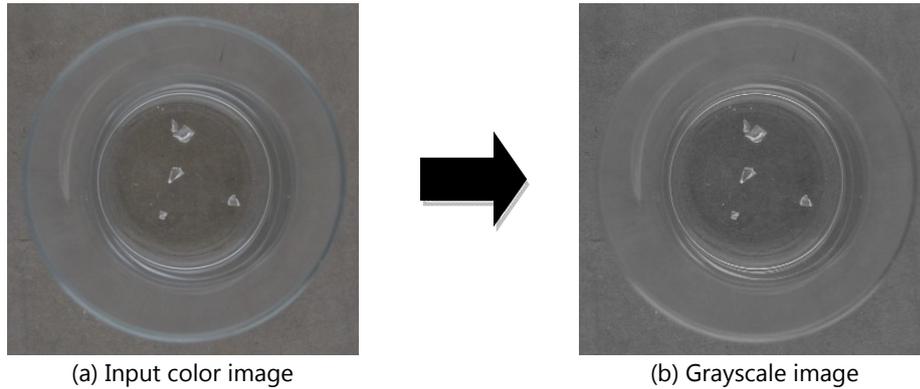


Figure 7: Conversion of the input image to grayscale.

In the sequence, it is performed the edge detection using the information of the gradient magnitude (equation 4) and, based on the found edges, the detection of the circle that represents the bottom of the glass package (Figure 8) using HT algorithm.

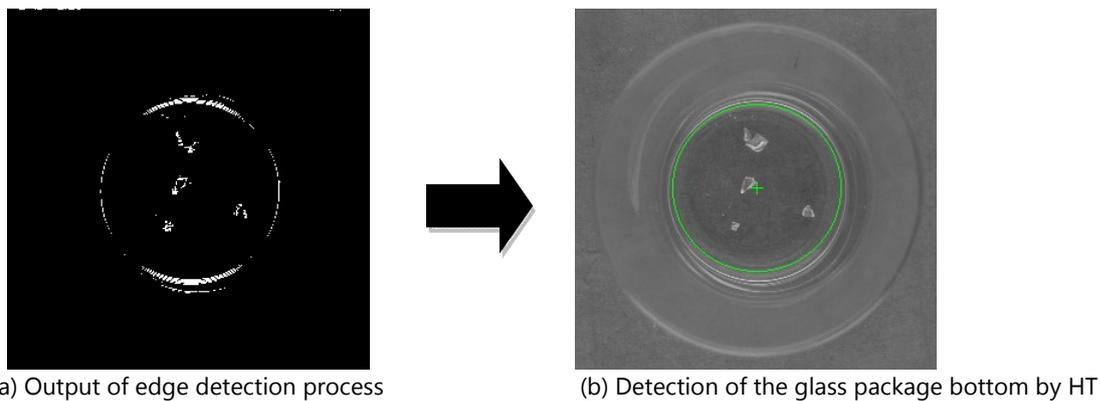


Figure 8: Steps to detect edges and the bottom of glass package.

For these two steps it was determined  $L_c = L_m = 128$ . To accelerate HT algorithm it was determined that only pixels within a region of  $20 \times 20$  pixels in the center of the image could represent the circle center. Moreover, in all cases the radius should be approximately  $\frac{1}{4}$  of the width of the image with a standard deviation of 10 pixels.

In the following steps, illustrated in Figure 9, the region of interest (ROI) is finally segmented (Figure 9a) and binarized (Figure 9b).

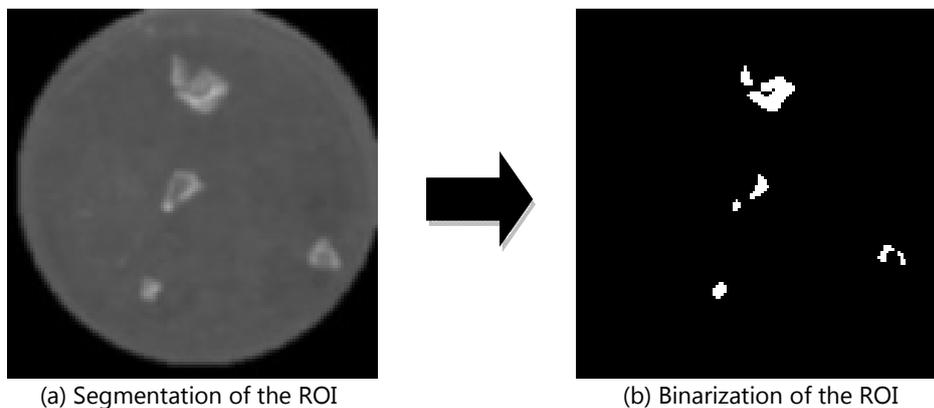


Figure 9: Segmentation and binarization of the bottom of the glass.

In the last step of the algorithm, the connected components considered too small or too large are removed since that these components probably represent noise. Then, the reminder components indicate the existence of sparks.

If the final output image contains white pixels, there is the incidence of sparks and the CVS print a red message on the screen indicating the rejection of the product, as depicted in Figure 6. In the contrary case, a green message is displayed to indicate that the product was accepted.

## 6 Results

The experiments were conducted as follows: for each product put on the conveyor belt, the algorithm should acquire the best frame (when the product was positioned in the center of the image), perform the analysis of the acquired image and indicate if the product was accepted or rejected, as illustrated in Figure 6.

In the performed tests the hit rate was 90.0%. The cases of false positives (Figure 10) and false negatives (Figure 11) were originated, in general, by errors of circle detection and the low contrast between pixels representing the particle and others representing the bottom of the glass, due lighting conditions.

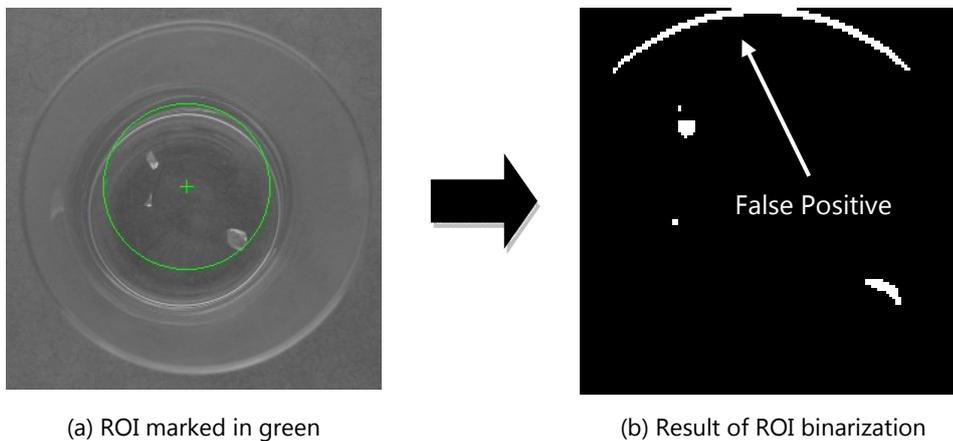


Figure 10: Example of false positive case.

As can be seen in Figure 10, because of lighting problems, false circles are originated decreasing the robustness of HT algorithm and affecting the proposed CVS output. The false negative example, illustrated in Figure 11, is a typical case of low contrast problem. However, the results show that even in non-ideal lighting conditions, the CVS presented a good hit rate validating the proposed approach.

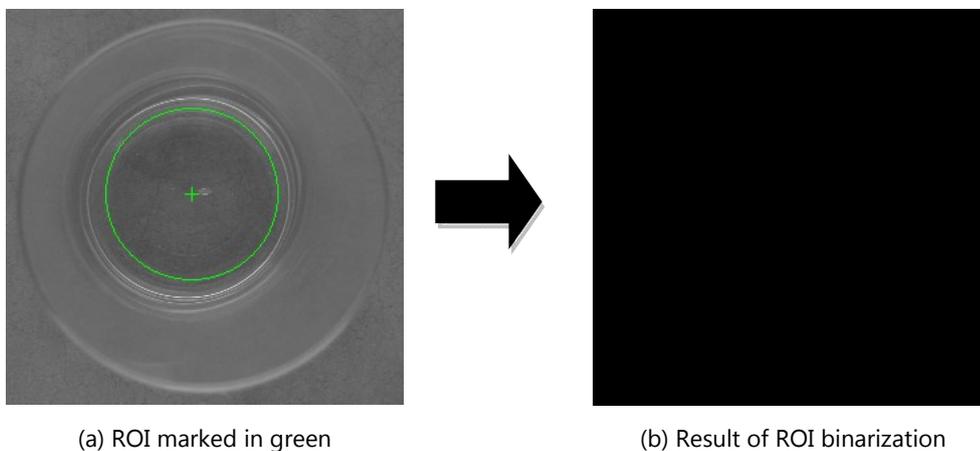


Figure 11: Example of false negative case.

Concerning the time processing the proposed CVS took, in average, 1.5 seconds to process each acquired image. It is valid to remember that this time can be accelerated by adjusting some parameters such as location of possible regions of center of circles, amount of candidate pixels to compute HT, minimum and maximum radius, among others.

## 7 Conclusion

In this paper, it was proposed a CVS to identify a defect called glass particle in glass products used as food packaging. Based on the experiments, we can conclude that the proposed CVS can be used for the investigated purpose, considering its hit rate (90%) and the cost in time to process an image. Unfortunately, as we did not find other methods with the same goal than the proposed CVS, we could not compare the obtained results.

It was observed that lighting conditions and the choice of some parameters may affect drastically the performance of the CVS. Thus, we are currently working to improve its robustness, mainly regarding lighting conditions.

Concerning the apparatus used to conduct the experiments, since we used controlled conditions such as velocity of the conveyor belt and the position to put the glass product in the belt, no problems were detected.

In future works we intend to adapt the proposed approach to deal with other glass products such as dishes and bottles, investigate a way for automating some CVS configuration parameters, conduct a set of exhaustive experiments and, finally, apply the proposed CVS in a real situation in the company used as case study.

## References

- Adamo, F., Attivissimo, F., Di Nisio, A. & Savino M. A Low-cost Inspection System for Online Defects Assessment in Satin Glass, *Measurement*, v. 42, n. 9, p. 1304-1311, 2009.
- Araújo, S. A. Segmentation-free Template Matching for Digital Images Invariant to Similarity Transformations. Ph.D. Thesis, USP, São Paulo
- Ballard, D. H. Generalizing the Hough Transform to Detect Arbitrary Shapes. *Pattern Recognition*, v. 13, n. 2, p. 111-122, 1981.
- Batchelor, B. G. & Whelan, P. F. *Intelligent Vision Systems for Industry*. UK: Springer, 2002.
- Conci, A., Azevedo, E & Leta, F. R. *Computação Gráfica. Vol. 2 - Processamento de Imagens Digitais*. Rio de Janeiro: Elsevier, 2008.
- Davies, E. R. Image Space Transform for Detecting Straight Edges in Industrial Images, *Pattern Recognition Letters*, 4, 185-192; 1986 .
- Gonzalez, R. C. & Woods, R. E. *Digital Image Processing*. Massachusetts: Addison-Wesley, 2002.
- Hough, P.V.C. Method and Means for Recognizing Complex Patterns. U.S. Patent 3,069,654, Dec. 18, 1962.
- Intel. OpenCV - Open Source Computer Vision Library. Available in: <<http://www.intel.com/technology/computing/opencv/>>. accessed at 05 out. 2007.
- Kim, H. Y. ProEikon - Routines and Programs in C/C++ for Image Processing and Computer Vision. Available in: <http://www.lps.usp.br/~hae/software>. accessed at 05 mar. 2010.
- NBR 14910:2002. *Glasss Packaging for Food Products*. Brazilian Association of Technical Norms (ABNT).
- Nishu & Agrawal, S. Glass Defect Detection Techniques using Digital Image Processing - A Review. *Special issues on IP Multimedia Communications*, n. 1, p. 65-67, 2011.
- Peng, X., Chen, Y, & Yu, W. An Online Defects Inspection Method for Float Glass Fabrication Based on Machine Vision, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, v. 39, n. 11-12, p. 1180-1189, 2008,
- Pesante-Santana, J. A. & Woldstad, J. C. The Quality Inspection Task in Modern Manufacturing, In: *International Encyclopedia of Ergonomics*, W. Karwowski (ed.), Taylor and Francis, London, 2000.
- Shimizu, M. Ishii, A. & Nishimura, T. Detection of Foreign Material Included in LCD Panels, In: *26th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*, Nagoya, Japan, p. 836-841, 2000.
- Vernon, D. *Machine Vision: Automated Visual Inspection and Robot Vision*. Great Britain: Prentice Hall, 1991.

- Wang, J. & Asundi, A. K. A. Computer Vision System for Wineglass Defect Inspection via Gabor-filter-based Texture Features, *Information Sciences*, n. 127, p. 157-171, 2000.
- Yepeng, Z., Yuezhen, T. & Zhiyong, F. Application of Digital Image Process Technology to the Mouth of Beer Bottle Defect Inspection, In: *8th International Conference on Electronic Measurement & Instruments*, Xian, China, p. 905-908, 2007.
- Zhao, J., Zhao, X. & Liu, Y. A. Method for Detection and Classification of Glass Defects in Low Resolution Images, In: *Sixth International Conference on Image and Graphics*, Hefei, P.R.China, p. 642-647, 2011.

# Visual Pattern Recognition System for Automatic Quality Inspection of Glass Plates

João David D. Cabral and Sidnei A. Araújo

Industrial Engineering Post Graduation Program, Universidade Nove de Julho (UNINOVE), São Paulo, Brazil

Emails: joaodavid@uninove.br, saraujo@uninove.br

## Abstract

In this paper we have proposed a visual pattern recognition system to identify geometrical defects, known as warped, in glass plates for domestic use. Experiments using a low cost apparatus to simulate a real line of production were conducted to evaluate the efficiency of the proposed system. The results demonstrate that the system can detect investigated defects with hit rate above 95% and could be used in the process of quality inspection of glass plates.

**Keywords:** computer vision, pattern recognition, visual quality inspection, glass, plates.

## 1 Introduction

The process of glass production presents some characteristics of foundry and temperature that requires a constant production. In addition, it is not possible to predict all possible problems (defects) before finished the product. Thus, it is necessary to keep a continuous inspection process to improve the quality of final products.

Many manufacturers are concerned about the appearance of the products, since customers often assign the appearance of product with its functional quality. Thus, to ensure the success of a product in a long time market, it is desirable to perform a visual inspection of its appearance before packing and shipping (Vernon, 1991).

Currently many products from glass industry are inspected in manual way, which presents the inconvenience of time consuming and high cost (Nishu & Agrawal, 2011). Besides, the efficiency of human work is affected by environmental and personal factors (Pesante-Santana & Woldstad, 2000).

In many manual inspection processes, the incidence of defective products that are rejected is, in most cases, related to the fact that there is an incompatibility between the production velocity and the analysis capacity of human workers. In these situations, the parameter that can be changed to human inspection is the number of workers, based on the speed of production, but this action is not interesting because involved costs and adaptation necessity in the production lines. In this context, the automatic inspection machines arise as an alternative to improve quality of products and reduce costs (Vernon, 1991; Wang & Asundi, 2000; Batchelor & Whelan, 2002; Nishu & Agrawal, 2011).

Nevertheless, in general, automatic processes need a dedicated machine with many pre-established settings, which requires adjustments in the whole production line, such that only products that are constantly produced and in large scale justify the investments.

In the last decades many visual pattern recognition systems (VPRS) for quality inspection of glass products have been proposed in the literature. Among them, we can found a system for detection of foreign materials included in LCD (liquid crystal display) panels proposed by Shimizu et al. (2000); a VPRS for inspection of defect in wineglass developed by Wang & Asundi (2000); computer vision applications for defect inspection in glass bottle developed by Mery & Medina (2004), Yepeng et al. (2007) and

Carrasco et al. (2010); a method for automatic inspection of float glass fabrication proposed by Peng et al. (2008); a low-cost inspection system for online defects assessment in satin glass presented by Adamo et al. (2009); a system for glass defect detection developed by Nishu & Agrawal (2011) and a method for detection and recognition of glass defects in low resolution images proposed by Zhao et al. (2011). However, none of these works consider glass products used for food packaging.

In this paper it was proposed a VPRS to identify a specific defect in glass plates for domestic use, called warped. In the performed experiments a low cost apparatus including a conveyor belt and a camera controlled by a PC was used to simulate a real line of production.

## 2 Glass Products Defects

For glass products used as packaging there are different types of defects that are classified in the norm NBR 14910:2002 Brazilian Association of Technical Norms – ABNT. These norms can be applied to glass products for domestic use since they can present the same defects.

Among the main types of defects are: Calcined fund, Sewing salient, Bubble, Stuck, Sewing mismatch, Fold, Hammered and Micro bubbles, as can be seen in Figure 1.

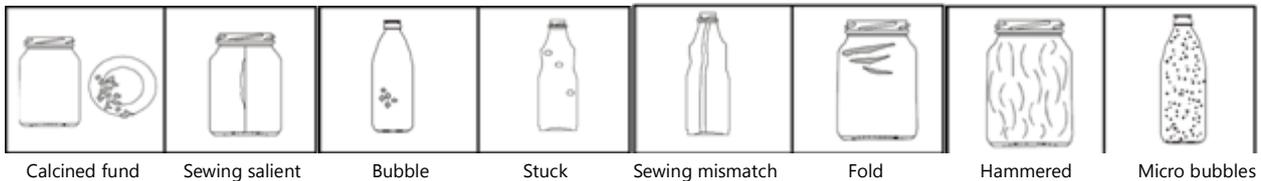


Figure 1: Examples of defects in glass products (ABNT, 2002).

In addition to aesthetic defects shown in Figure 1, there is a defect known as warped that consists in a change in format ideal product, highlighted in Figure 2, which occurs in plates for domestic use and is handled by VPRS proposed in this paper.

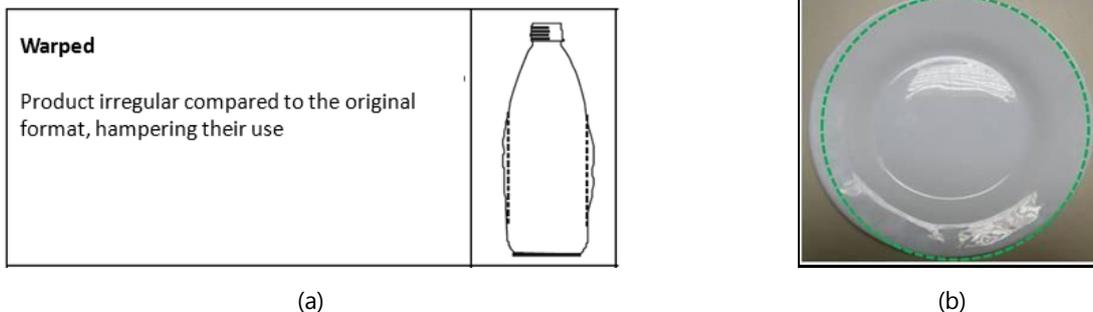


Figure 2: Examples of glass products with warped defect. (a) Defective glass packaging (ABNT, 2002), (b) Defective glass plate.

## 3 Visual Pattern Recognition Techniques

Visual Pattern Recognition or Computer Vision can be understood as a sub area of digital image processing in which the main goal is the study and development of methods and techniques that allow machines to recognize patterns in digital images, imitating some capabilities of the human visual system (Conci et al., 2008).

To be efficient, a VPRS must be able to accurately describe the scene with a processing time that makes feasible its application in practical situations such as robot vision systems, surveillance systems, automatic

license plate recognition, industrial inspection and biometrics patterns recognition. Some of visual pattern recognition techniques well as the definition of digital image are described throughout this section.

### 3.1 Representation of Digital Images

Mathematically, an image can be defined as a bidimensional function  $f(x, y)$ , with  $(x, y) \in R^2$ , where  $x$  and  $y$  are spatial coordinates that identify a point and the value of  $f$  at any point  $(x, y)$  indicates the intensity of the gray level value at that point.

A digital image is an image  $f(x, y)$  discretized both in spatial coordinates and gray level values and may be represented by a matrix in which the index of lines and columns identify an image element (pixel) and element value identifies the gray level (Gonzalez & Woods, 2002; Conci et al., 2008).

In binary images the values of  $f \in \{0,1\}$ , while in grayscale images typically the values of  $f \in [0,255]$ . For color images, each pixel is represented by a set of three or four values depending on the considered color system. In RGB (Red, Green and Blue), for example, a color image can be viewed as a set of three grayscale images, each one representing one of the color components (Araújo, 2009).

### 3.2 Edge Detection

In an image, the edge of an object can be defined by an abrupt change in grayscale, that is, a discontinuity in the intensity of grayscale. Derivative-based operators are sensitive to these changes and are widely used as edge detectors. Based on the value of the gradient magnitude at a given point of the image it is possible to determine if that point belongs to the edge of an object. The gradient of an image point  $f(x, y)$  is defined as:

$$\nabla f(x, y) = \left[ \frac{\partial f}{\partial x}, \frac{\partial f}{\partial y} \right] \quad (1)$$

where  $\partial f/\partial x$  and  $\partial f/\partial y$  is the discrete partial derivatives in  $x$  and  $y$  directions, which can be defined by:

$$\frac{\partial f(x, y)}{\partial x} \approx f(x+1, y) - f(x, y) \quad (2)$$

$$\frac{\partial f(x, y)}{\partial y} \approx f(x, y+1) - f(x, y) \quad (3)$$

The magnitude and gradient direction (perpendicular to the edge) can be obtained by equations 4 and 5.

$$\|\nabla f(x, y)\| = \sqrt{\left(\frac{\partial f(x, y)}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial f(x, y)}{\partial y}\right)^2} \quad (4)$$

$$\theta(x, y) = \tan^{-1}\left(\frac{\partial f(x, y)}{\partial y} / \frac{\partial f(x, y)}{\partial x}\right) \quad (5)$$

Using a threshold  $L_m$  we can determine that every point where  $\|\nabla f(x, y)\| \geq L_m$  is a point belonging to an edge. It is valid to remember that the equations 2 and 3 can be replaced by known and widely used gradient operators such as Roberts, Prewitt and Sobel (Gonzalez & Woods, 2002).

### 3.3 Connected Components

The concept of connectivity between pixels is largely explored in the characterization of regions in an image. Two pixels  $p$  and  $q$  are connected if they have any adjacency relation and their gray levels satisfy

some criterion of similarity (Gonzalez & Woods, 2002). The two most common ways to define connectivity between pixels are connectivity-of-4 (Figure 3a) and connectivity-of-8 (Figure 3b).



Figure 3: Neighborhood between pixels.

In connectivity-of-4 are considered the four neighboring pixels connected horizontally and vertically, in terms of coordinates, i.e.  $(x+1, y)$ ,  $(x-1, y)$ ,  $(x, y+1)$  e  $(x, y-1)$ . In connectivity-of-8, pixels connected horizontally, vertically and diagonally are considered, i.e.  $(x+1, y+1)$ ,  $(x+1, y-1)$ ,  $(x-1, y+1)$  e  $(x-1, y-1)$ . A set of connectivity-of-4 or connectivity-of-8 pixels is called connected component.

### 3.4 Hough Transform for Detecting Circles

The Hough Transform (HT) was proposed by (Hough, 1962) and consists in a method widely used in pattern recognition tasks for detecting parameterized shapes such as lines, circles and ellipses. HT is usually used after the detection of edges in images you want to detect shapes.

For circle detection, which is the interest shape in this paper, it can be parameterized by  $(x, y, r)$ , where  $(x, y)$  indicates the central point of the circle and  $r$  the length of its radius, as shown in Figure 4.

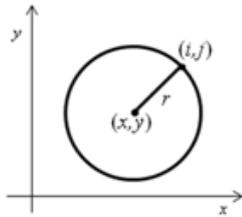


Figure 4: Parameterization of the circle.

The circle radius is defined as follows:

$$r = \sqrt{(i - x)^2 + (j - y)^2} \tag{7}$$

where:  $(i, j)$  denote spatial coordinates of any edge pixel and  $(x, y)$  coordinates of the pixel that represents the center of the circle.

Assuming that we are searching for circles in the image  $I$  of size  $M \times N$ , with maximum radius  $(r_{max}) = \sqrt{M + N}$ , the HT algorithm can be described by the following steps:

- 1) For each pixel  $(x, y)$  of image  $I$ , an accumulator vector with size  $r_{max}$  is created and all elements are initialized with value zero.
- 2) For each pixel  $(i, j)$  classified as edge in the image  $I$ , is calculated its distance  $r$  (equation 7) for all other pixels of the same image, increasing 1 in the element value of the vector assigned with the pixel  $(x, y)$ , located at position  $r$ .

At the end of these two steps, the maximum values of the vectors indicate the centers and radii of the detected circles. For example, if a value above the threshold  $L_c$  is found at position 30 of the vector associated with pixel  $(50, 50)$ , this indicates the occurrence of a circle with radius 30 centered at position  $(50, 50)$  of image  $I$ .

Clearly, the implementation of the described algorithm becomes its use prohibitive in most cases. Thus, some authors like (Ballard, 1981) and (Davies, 1986) proposed enhancements to the method. However,

the HT algorithm for circles can be accelerated when you have some prior information. For example, location of possible regions of center of circles, minimum and maximum radius.

## 4 Methodology

The experiments described in this paper are based on a case study from a real problem of a Brazilian industry, in which were considered defects in glass plates, the deficiency in the manual inspection process and the difficult adaptability of automated equipment for visual inspection in some lines of production.

The considered company nowadays produces around 10 thousand tons of finished products per month, including glass products for packaging and domestic use.

To choose the product to be inspected (plate of 18.4 mm thick,  $\varnothing$  190 mm), we took into account the speed of production and variety of glass products produced by the company, based on historical information.

In the implementation of the proposed VPRS the C/C++ programming language was used together with the libraries for image processing and computer vision ProEikon (Kim, 2010) and OpenCV (Intel, 2007).

In the performed experiments we used a low cost apparatus composed by a conveyor belt and a camera controlled by PC (Figure 5), to acquire and process 70 images of plates, with size of 640×480 each one.

For the acquisition of images it was considered a focal distance of approximately 40 cm from the plate placed on the conveyor belt.

The exact moment for acquiring the image of the product placed on the conveyor belt is computed by analyzing the signature generated by gradient variation along the columns in each frame. This technique is widely used by systems of license plate vehicles recognition, to determine the plate position.

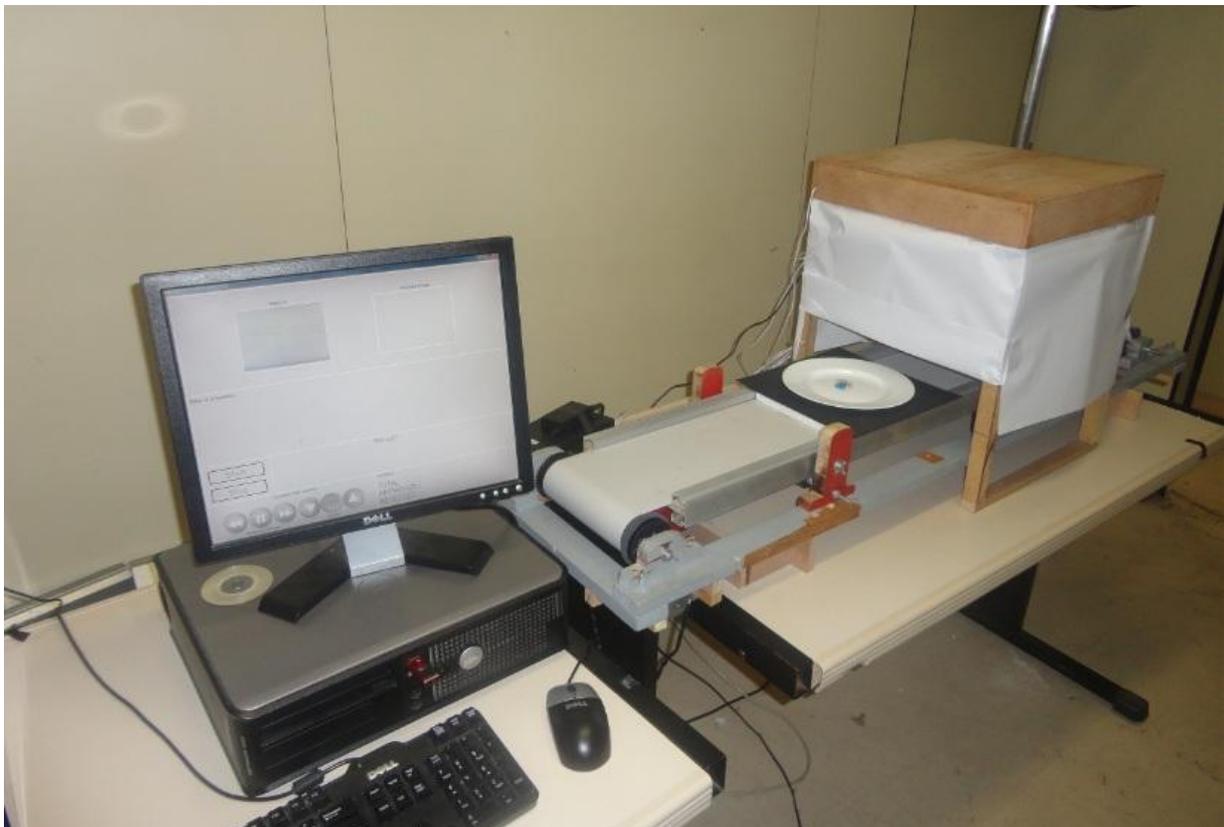


Figure 5: Apparatus used to simulate the production line.

The experiments were conducted as follows: for each plate put on the conveyor belt, the algorithm should acquire the best frame (when the plate was positioned at the center of the webcam image), perform the analysis of the acquired image and indicate if the plate was accepted or rejected, as illustrated in Figure 6.

## 5 Results with the Proposed Visual Pattern Recognition System

The input of the proposed VPRS, whose the interface is illustrated in Figure 6, is an RGB color image acquired by means of the apparatus previously described.

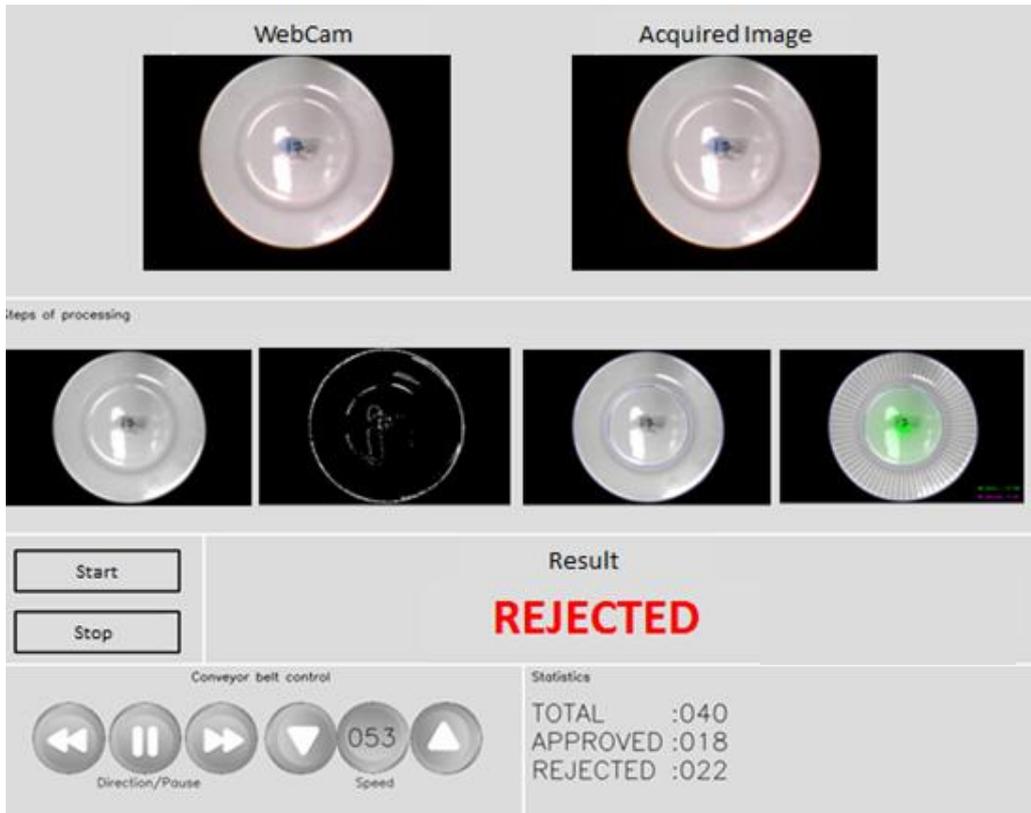


Figure 6: Interface of the proposed VPRS.

The working of the system can be described by following steps of processing:

In the first step is performed a conversion of the acquired color image into grayscale one, by averaging the RGB components of each pixel, as showed in Figure 7.

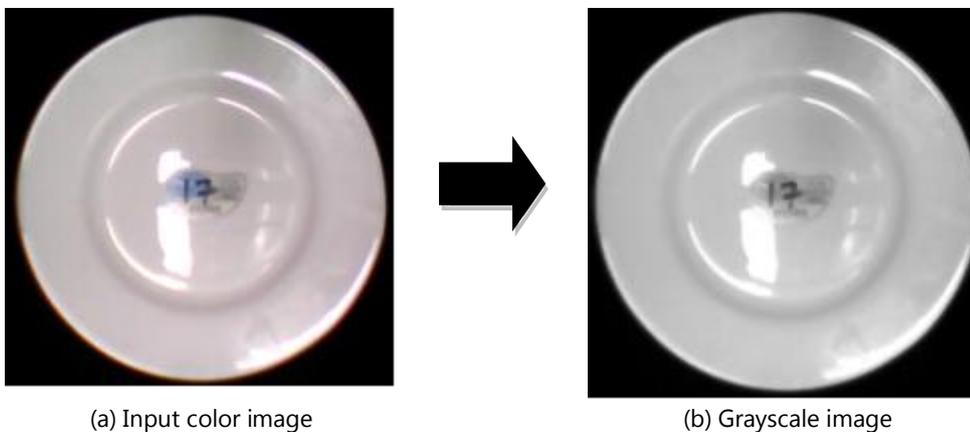


Figure 7: Conversion of the input image to grayscale.

In the sequence, it is performed the edges detection using the information of the gradient magnitude (equation 4) and, based on the found edges, it is performed the detection of the circles that represents the bottom and the border of the plate (Figure 8) using HT algorithm.

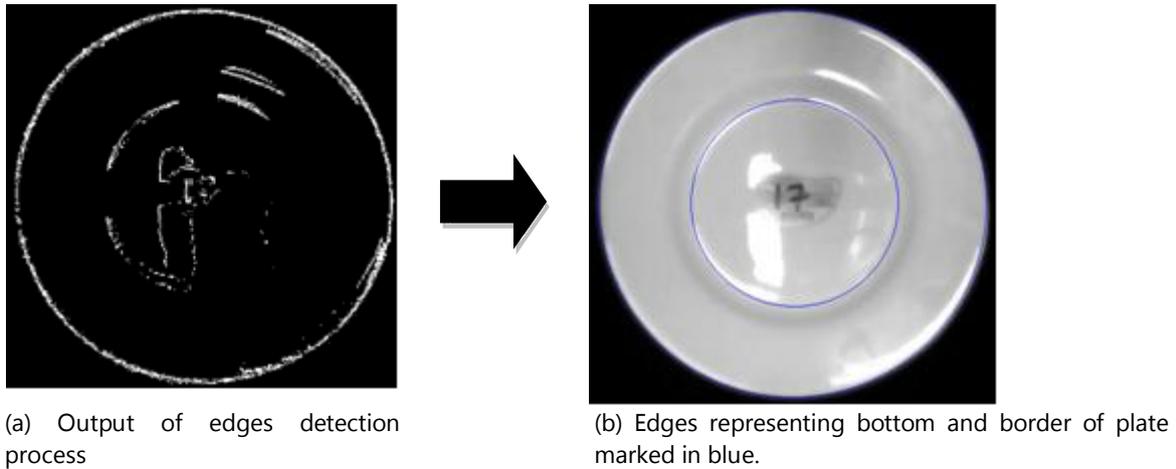


Figure 8: Steps for detection bottom and border of the plate using HT.

To accelerate HT algorithm it was determined that only pixels within a region of  $20 \times 20$  pixels in the center of the image could represent the circles center. Moreover, in all cases the radius of the bottom plate should be approximately  $\frac{1}{4}$  of the height of the image with a standard deviation of 15 pixels. This information is also used for detection of the circle representing the border of the plate.

After the process of circle detection, 72 radii from the center of the bottom to the border of plate are inspected. In each radius, two distances are verified: one from the center of bottom to the border of the plate (drawn in green in Figure 9) and another from the circle that represents the bottom to the second circle next to the border of the plate (drawn in magenta in Figure 9).

The values of investigated distances are stored in two vectors  $V_c$  and  $V_d$ . The first vector is used to calculate how circular is the plate while the second vector is used to calculate the displacement of the bottom with respect to the border of the plate.

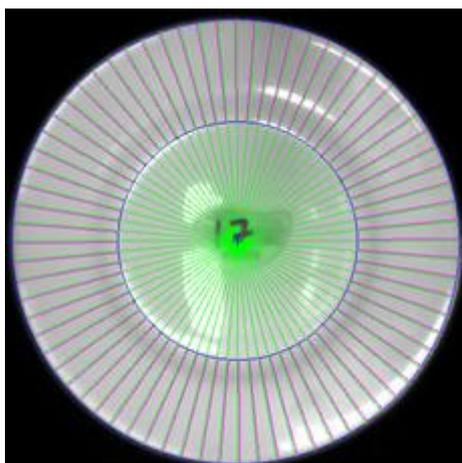


Figure 9: Analyzed radii in the image of plate.

In the last step we calculate the standard deviations of two vectors  $V_c$  and  $V_d$  and, based on with these information you can check if they are within acceptable ranges, based on measures of a standard plate. It was determined that the standard deviation of circularity should be less or equal 5 pixels while the standard deviation of displacement of the bottom should not be greater than 2.5 pixels. Thus, if both rules are not satisfied the plate is considered reprocessed.

If the final output image both values of the standard deviations are shown in the image as well, if the product has been approved or rejected, as can be seen in bottom right of Figure 10.

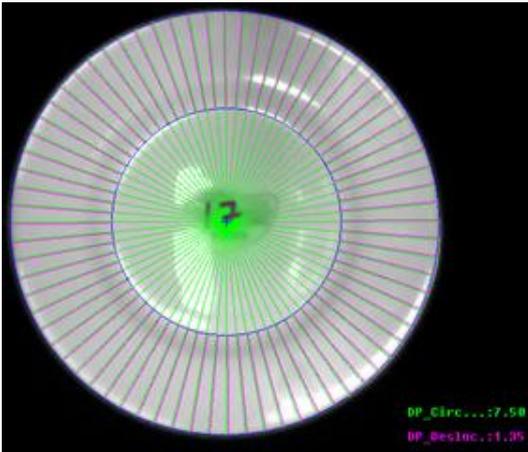


Figure 10: Final image showing calculated standard deviations.

In the performed tests considering 70 plates the hit rate was 95.71%. The cases of false positives (see an example in Figure 11) were originated, in general, by errors of circle detection and the low contrast due to variations in illumination.

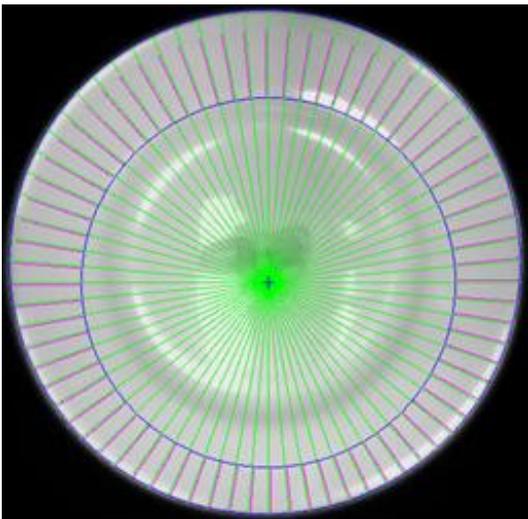


Figure 10: Example of false positive case.

As can be seen in Figure 11, because of lighting problems, the system detected incorrectly the circles that represent the bottom and the border of plate.

Concerning the time processing the proposed VPRS took, in average, 1.5 seconds to process each acquired image. It is valid to remember that this time can be accelerated by adjusting some parameters such as location of possible regions of center of circles, amount of candidate pixels to compute HT, minimum and maximum radius, among others.

## 6 Conclusion

In this paper, it was proposed a VPRS to identify a defect called warped in glass plates for domestic use. Based on the experiments, we can conclude that the proposed VPRS can be used for the investigated purpose, considering its hit rate (above 95%) and the cost in time to process an image (in average 1.5

seconds). Unfortunately, as we did not find other methods with the same goal than the proposed VPRS, we could not compare the obtained results. It was observed that lighting conditions and the choice of some parameters may affect drastically the performance of the VPRS. Thus, we are currently working to improve its robustness, mainly regarding lighting conditions. Concerning the apparatus used to conduct the experiments, since we used controlled conditions such as velocity of the conveyor belt and the position to put the glass product in the belt, no problems were detected. In future works we intend to adapt the proposed approach to deal with other glass defects, investigate a way for automating some VPRS configuration parameters and, finally, apply the proposed VPRS in a real situation in the company used as case study.

## Aknowlodgment

The authors would like to thank FAPESP (Foundation for Research Support of the State of São Paulo) and Universidade Nove de Julho for financial support.

## References

- Adamo, F., Attivissimo, F., Di Nisio, A. & Savino M. (2009) A Low-cost Inspection System for Online Defects Assessment in Satin Glass, *Measurement*, v. 42, n. 9, p. 1304-1311.
- Araújo, S. A. (2009) Segmentation-free Template Matching for Digital Images Invariant to Similarity Transformations. Ph.D. Thesis, USP, São Paulo.
- Ballard, D. H. (1981) Generalizing the Hough Transform to Detect Arbitrary Shapes. *Pattern Recognition*, v. 13, n. 2, p. 111-122.
- Batchelor, B. G. & Whelan, P. F. *Intelligent Vision Systems for Industry*. UK: Springer, 2002.
- Carrasco, M., Pizarro, L., Mery, D. (2008) Manufacturing Visual inspection of glass bottlenecks by multiple-view analysis. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*. v. 23, n. 10, p. 925-941.
- Conci, A., Azevedo, E & Leta, F. R. (2008) *Computação Gráfica. Vol. 2 - Processamento de Imagens Digitais*. Rio de Janeiro: Elsevier.
- Davies, E. R. (1986) Image Space Transform for Detecting Straight Edges in Industrial Images, *Pattern Recognition Letters*, 4, 185-192.
- Gonzalez, R. C. & Woods, R. E. (2002) *Digital Image Processing*. Massachusetts: Addison-Wesley.
- Hough, P.V.C. (1962) Method and Means for Recognizing Complex Patterns. U.S. Patent 3,069,654.
- Intel. (2007) OpenCV - Open Source Computer Vision Library. Available in: <<http://www.intel.com/technology/computing/opencv/>>. accessed at 05 out.
- Kim, H. Y. (2010) ProEikon - Routines and Programs in C/C++ for Image Processing and Computer Vision. Available in: <http://www.lps.usp.br/~hae/software>. accessed at 05 mar.
- Mery, D. and Medina, O. (2004) Automated visual inspection of glass bottles using adapted median filtering. *International Conference, ICIAR 2004, Porto, Portugal. September 29 - October 1*.
- NBR 14910:2002. *Glasss Packaging for Food Products*. Brazilian Association of Technical Norms (ABNT).
- Nishu & Agrawal, S. (2011) Glass Defect Detection Techniques using Digital Image Processing - A Review. *Special issues on IP Multimedia Communications*, n. 1, p. 65-67.
- Peng, X., Chen, Y, & Yu, W. (2008) An Online Defects Inspection Method for Float Glass Fabrication Based on Machine Vision, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, v. 39, n. 11-12, p. 1180-1189.
- Pesante-Santana, J. A. & Woldstad, J. C. (2000) The Quality Inspection Task in Modern Manufacturing, In: *International Encyclopedia of Ergonomics*, W. Karwowski (ed.), Taylor and Francis, London.
- Shimizu, M. Ishii, A. & Nishimura, T. (2000) Detection of Foreign Material Included in LCD Panels, In: *26th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, Nagoya, Japan*, p. 836-841.
- Vernon, D. (1991) *Machine Vision: Automated Visual Inspection and Robot Vision*. Great Britain: Prentice Hall.
- Wang, J. & Asundi, A. K. A. (2000) Computer Vision System for Wineglass Defect Inspection via Gabor-filter-based Texture Features, *Information Sciences*, n. 127, p. 157-171.
- Yepeng, Z., Yuezhen, T. & Zhiyong, F. (2007) Application of Digital Image Process Technology to the Mouth of Beer Bottle Defect Inspection, In: *8th International Conference on Electronic Measurement & Instruments, Xian, China*, p. 905-908.
- Zhao, J., Zhao, X. & Liu, Y. A. (2011) Method for Detection and Classification of Glass Defects in Low Resolution Images, In: *Sixth International Conference on Image and Graphics, Hefei, P.R.China*, p. 642-647.