

USO DA LACUNARIDADE NO CONTROLE DE QUALIDADE VISUAL DE PADRÕES INDUSTRIAIS

João Luiz Fernandes

Pós-Graduação em Ciência da Computação, Universidade Federal Fluminense.
Rua Passos da Pátria, 156, Niterói, RJ, Brasil. E-mail: ccmjlf@vm.uff.br

Aura Conci

Pós-Graduação em Ciência da Computação, Universidade Federal Fluminense.
E-mail: aconci@ic.uff.br

Resumo. Atualmente, a garantia da qualidade do produto final, na maior parte das indústrias, é feita ou por inspeção visual humana ou por testes de funcionalidade do produto. Por exemplo, o controle de qualidade nas indústrias têxteis é feito usualmente por processos manuais, e não por processos automatizados como seria desejável. A grande maioria dos trabalhos encontrados com objetivo de detecção automatizada de falhas industriais são voltados para produções discretas. Em uma produção contínua, como a produção têxtil, não há produtos individuais que devam ser inspecionados separadamente e sim, metros de produto. Embora já existam métodos de detecção de falhas em produções contínuas usando técnicas baseadas na Geometria Fractal (em especial o conceito de Dimensão Fractal), uma nova metodologia é proposta neste trabalho: o uso também da Lacunaridade como uma medida adicional da caracterização dos padrões em teste. A Lacunaridade se relaciona fortemente com a distribuição e tamanho de espaços vazios em um conjunto e o objetivo deste trabalho é verificar o uso dessa medida como mais um parâmetro decisório no controle de qualidade têxtil, viabilizando o desenvolvimento de um sistema automático de inspeção, voltado para indústrias de produções contínuas, acessível e de baixo custo. A função do sistema é detectar variações nos tecidos, que configurem um defeito, auxiliando a decisão apropriada sobre a qualidade do produto em análise.

Palavras-chave: controle de qualidade, inspeção visual, qualidade do produto.

1. INTRODUÇÃO

A garantia da produtividade e da qualidade é fundamental para a indústria. Esta garantia é obtida através do acompanhamento das informações sobre a produção e o produto e, nos dias de hoje, a metodologia de controle é feita, na maior parte das indústrias, por inspeção visual humana ou por testes de funcionalidade do produto. Recentemente, as imagens vêm se apresentando como importantes ferramentas para aplicações industriais, principalmente com a utilização de Sistemas de Inspeção Visual Automatizada, que são sistemas de informação orientados ao controle e gerenciamento de dispositivos de captura e processamento de imagens, implementados para proporcionar eficiência nas análises e obtenção de dados relacionados a algum tipo de produção.

Uma das muitas razões para se automatizar a inspeção visual é resguardar o trabalho humano, livrando o homem de tarefas rotineiras e desgastantes. Além disso, a automatização é uma alternativa eficaz para melhorar a precisão na inspeção de falhas. A grande maioria dos trabalhos encontrados com o objetivo de detecção de falhas industriais são voltados para produções discretas; neste caso, os sistemas visuais desenvolvidos têm o objetivo de analisar a imagem de cada produto

e extrair suas características geométricas. Já em uma produção contínua não há produtos individuais que devam ser inspecionados separadamente e sim, metros de produtos. Este tipo de produção pode ser encontrada, por exemplo, na indústria têxtil.

Em uma linha de produção têxtil, as peças de tecido, que têm em média 250 a 300 metros de comprimento, passam, em alguns casos, por uma limpeza superficial e em seguida para a etapa de revisão onde são inspecionados. Essa inspeção, na maioria das vezes feita através de processos visuais humanos, objetiva extrair, dentre outros dados, informações sobre a quantidade e o tipo de defeitos encontrados. Assim, a peça produzida é qualificada de acordo com o número de defeitos presentes.

Em (Conci e Proença, 2000) estuda-se a aplicação de vários métodos visando a detecção automática de falhas têxteis, através de imagens. Nesse tipo de aplicação, o objetivo é detectar variações nos padrões produzidos que configurem um defeito, para que a decisão apropriada seja tomada por um funcionário qualificado. No referido trabalho avaliou-se a utilização de processos clássicos de segmentação de imagens e a introdução de uma nova metodologia usando o conceito de Dimensão Fractal. Como demonstrado, o processo baseado neste último método mostrou-se bastante eficiente em um sistema visual automatizado de inspeção, ligado a produções contínuas.

Neste trabalho, propomos a utilização de mais uma medida relacionada à Geometria Fractal para a detecção de falhas têxteis: a Lacunaridade, que se relaciona fortemente com a distribuição e o tamanho de espaços vazios em um padrão qualquer. Inicialmente definida para estruturas fractais, ela pode ser utilizada como uma forma de caracterização de diferentes texturas, já que permite a análise das flutuações da função de distribuição de massa ao longo de uma imagem. Assim, a Lacunaridade pode substituir ou complementar a Dimensão Fractal, como forma de caracterizar espacialmente um padrão. A seguir, introduzimos alguns conceitos referentes à Geometria Fractal e detalhamos o cálculo para a Lacunaridade, bem como sua utilização em um processo de detecção automática de falhas têxteis.

2. GEOMETRIA FRACTAL

A palavra *fractal* foi primeiramente utilizada por Mandelbrot (1983) para descrever um objeto geométrico que nunca perde sua estrutura qualquer que seja a distância de visão (*fractal* deriva do adjetivo *fractus*, verbo *frangere*, do latim, que significa “quebrar”). Fractais podem ser definidos como objetos que apresentam auto-semelhança e complexidade infinitas, ou seja, têm sempre cópias aproximadas de si mesmo em seu interior e sua geometria pode ser utilizada para descrever diversos fenômenos da natureza, onde não podem ser empregadas as geometrias tradicionais (Azevedo e Conci, 2003).

A propriedade de auto-similaridade é o ponto central da geometria fractal e está associada ao conceito de dimensão. Numa visão Euclidiana, definições para dimensão são plenamente conhecidas e aceitas, no entanto, quando se pensa nas formas na natureza, como o contorno de uma folha, do litoral, de uma montanha ou mesmo de um fragmento de uma rocha, esta geometria se mostra deficiente. Para descrever as formas da natureza, Mandelbrot foi além das dimensões inteiras 0,1,2,3, chegando a dimensões fracionárias, como $1/2$ ou $3/4$, por exemplo. As dimensões fracionárias tornaram-se uma forma de quantificar qualidades que, de outro modo, permaneceriam imprecisas: o grau de irregularidade ou tortuosidade de um objeto.

Através da Fig.1 podemos visualizar a forma conhecida como Curva de Koch, construída a partir de uma reta dividida em 3 partes iguais, cuja parte central é substituída por dois outros pedaços de mesmo comprimento, em um procedimento repetido indefinidamente. Observamos que o conceito euclidiano de dimensão é insuficiente para descrever essa estrutura; além disso notamos de forma bem característica sua auto-semelhança e complexidade .

A Dimensão Fractal é uma medida que quantifica a densidade dos fractais no espaço métrico em que são definidos e serve para compará-los. Uma das noções mais intuitivas de dimensão está associada à escala e auto-semelhança. Em (Nunes e Conci, 2001) mostra-se que a Dimensão Fractal (DF), por auto-semelhança, é dada por:

$$DF = \log N_p / \log (1/r_f) \quad (1)$$

onde N_p indica o número de partes auto-semelhantes necessárias para reconstruir a figura original e r_f representa o fator de escalamento utilizado. No exemplo da Fig. 1, podemos dizer que: $DF = \log 4 / \log 3$. Já que a Dimensão Fractal é um número associado à densidade das figuras, ele pode ser utilizado como uma medida na caracterização espacial de texturas, inclusive como parâmetro de comparação entre imagens e detecção de falhas.

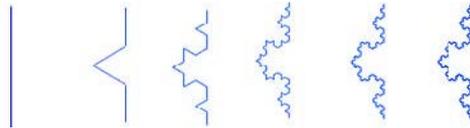


Figura1. Curva de Koch (Nunes e Conci, 2001).

3. LACUNARIDADE

Um tema de extrema importância em muitas ciências naturais (tais como ecologia, epidemiologia, geologia, etc..) é a quantificação de padrões espaciais. No entanto, esses padrões, frequentemente, são complexos, ou seja, exibem características que dificultam sua identificação e representação. A Geometria Fractal têm sido utilizada como uma poderosa ferramenta nesse sentido, principalmente através da Dimensão Fractal (Plotnick *et al*, 1996). É inegável a relevância dessa medida, no entanto, através de simples inspeção visual podemos constatar a existência de estruturas, principalmente monofractais¹, com mesma dimensão fractal e padrões espaciais bem diferentes. Um exemplo é mostrado na Fig. 1, onde detalhamos variações para o famoso Conjunto de Cantor. Em (a), representa-se o Conjunto Triádico tradicional; já em (b), o conjunto assume um comportamento randômico. Em ambas as estruturas, cada reta no processo iterativo é dividida em 3 partes iguais, removendo-se um dos terços resultantes; no entanto, em (a) remove-se sempre o terço central, já em (b) escolhe-se randomicamente, a cada iteração, a parte a ser removida. Deve-se observar que o aspecto “bloqueado” mostrado na figura é meramente ilustrativo, objetivando garantir melhor visualização e análise das partes que compõem o conjunto na iteração mostrada.

Pela forma como os conjuntos da Fig. 2 (a) e (b) foram construídos é imediato calcularmos sua Dimensão Fractal: $DF = \log 2 / \log 3$. Podemos perceber que as duas estruturas possuem a mesma Dimensão Fractal, embora tenham diferentes distribuições espaciais de massa. Esse fato pode ser observado para uma infinidade de figuras, o que indica a necessidade de uma outra medida complementar.

Em 1983, Mandelbrot introduziu o conceito de Lacunaridade como uma medida que se relaciona fortemente com a distribuição e tamanho de espaços vazios em um fractal. A Lacunaridade mede a divergência de um fractal para um invariante translacional, ou seja, o quanto uma estrutura se afasta de uma distribuição mais uniforme (Plotnick *et al*, 1996). Assim, em uma dada escala, baixa Lacunaridade pode significar que a distribuição de vazios em uma textura é bastante homogênea, fazendo que essa imagem se aproxime de uma estrutura translacionalmente invariante. Por outro lado, alta Lacunaridade implica uma faixa grande de tamanhos para os espaços vazios, o que pode indicar a heterogeneidade geométrica do objeto. É interessante acrescentar que a distribuição de espaços vazios depende essencialmente da escala considerada. Assim, objetos que são heterogêneos em escalas menores, podem ser bastante homogêneos em grandes escalas ou vice-versa. Dessa forma, é fácil concluir que a Lacunaridade é, ao contrário da Dimensão Fractal, uma medida de textura extremamente dependente da escala considerada (Plotnick *et al*, 1993).

¹ Um fractal é chamado de monofractal quando apresenta uma estrutura homogênea e sua auto-similaridade pode ser completamente descrita por uma única regra. Um monofractal é geometricamente auto-similar (Ferrara e Prado, 1995).

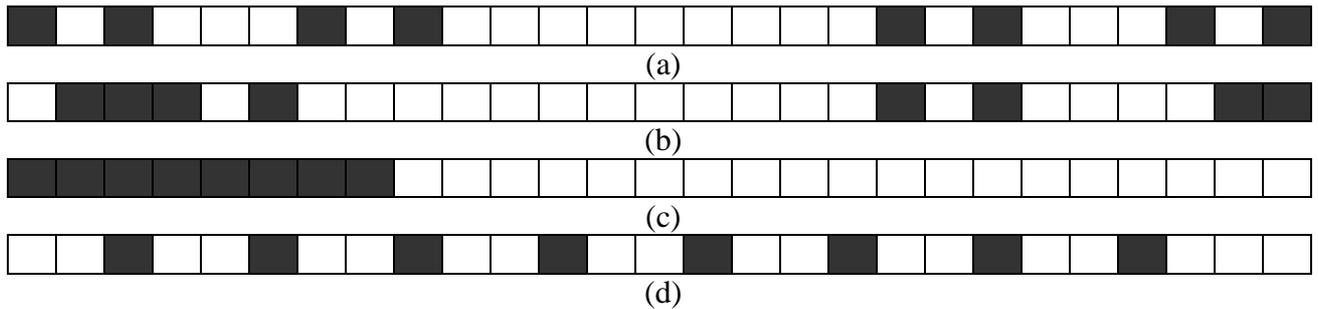


Figura 2 . (a) Conjunto Triádico de Cantor, (b) Conjunto de Cantor Randômico, (c) Conjunto Compacto e (d) Conjunto uniforme. Figura extraída de (Parteli, 2002).

Analisando a literatura disponível, podemos perceber que a Lacunaridade, assim como a Dimensão Fractal, não é apenas empregada em estruturas fractais, é também útil como uma forma de análise de diferentes texturas. Dependendo da aplicação, as duas medidas podem ser utilizadas complementarmente, no sentido de melhor caracterizar espacialmente um padrão.

3.1. Cálculo da Lacunaridade

Um processo bastante simples para quantificar a Lacunaridade em uma imagem foi desenvolvido em (Allain e Cloitre, 1991). Esse processo, denominado “*Gliding Box Algorithm*”, analisa as flutuações da função de distribuição de massa ao longo da imagem. Para isso, utiliza janelas, de tamanhos variáveis, que “percorrem” o conjunto em análise, posicionando-se em cada ponto deste. A partir das diferentes translações das janelas, calculamos os momentos de distribuição de massa, que são usados na expressão de Lacunaridade. De forma geral, para cada tamanho da janela utilizada no algoritmo teremos um valor diferente que quantifica uma distribuição lacunar na imagem, e todos esses valores podem ser plotados em um gráfico log-log que mostra a Lacunaridade do conjunto como uma função do tamanho da janela. A curva derivada nesse processo vai apresentar características que refletem as propriedades geométricas do padrão em estudo.

Na Fig. 2, podemos ver, além das estruturas já mencionadas, em (c) uma distribuição compacta e em (d) um conjunto uniforme. É imediato notar que todas as figuras possuem a mesma quantidade total de massa (representados pelos 8 espaços preenchidos), no entanto, distribuições de espaços vazios bem diferentes (Parteli, 2002). Deve-se notar ainda que, inicialmente, estamos discutindo o caso de imagens em preto e branco, onde a definição de “lacuna” é bastante intuitiva (espaços em branco na figura).

O método descrito em (Allain e Cloitre, 1991) pode ser aplicado a objetos do espaço Euclidiano de dimensão n ($n = 1,2,3..$). Logicamente a janela que será transladada pela imagem é definida com a mesma dimensão do objeto; no caso dos conjuntos da Fig. 2, teremos uma janela de dimensão Euclidiana 1, posicionando-se em cada ponto. Tendo em vista a discretização utilizada no conjunto, podemos dizer que ele possui 27 unidades ao todo. Se T é o número total de unidades da imagem e r é o tamanho da janela, então, o número total de translações da janela que “percorre” todo o objeto é dado, no caso unidimensional, por: $R(r) = T - r + 1$.

Vamos agora estudar a distribuição de massa ao longo das translações. Denominando s o número de sítios ocupados em uma determinada posição da janela e $n(s,r)$ o número de janelas de tamanho r com s sítios ocupados, temos que, se assumirmos que todos os pontos do conjunto são equivalentes e com igual probabilidade, dentro das $R(r)$ translações da janela de tamanho r ao longo da figura, a probabilidade de encontrarmos s sítios ocupados será:

$$p(s,r) = \frac{n(s,r)}{R(r)} \quad (2)$$

Podemos definir os momentos de probabilidade de ordem n (M_n) relacionados ao conjunto ou imagem, como o somatório dos momentos de cada um dos seus pontos de massa. Assim, utilizando-se uma janela de tamanho r :

$$M_n = \sum_{s=1}^r s^n p(s, r) \quad \text{para } n = 1, 2, \dots \quad (3)$$

De forma que, os momentos de primeira e segunda ordem são escritos como:

$$M_1 = \sum_{s=1}^r s p(s, r) \quad \text{e} \quad M_2 = \sum_{s=1}^r s^2 p(s, r) \quad (4)$$

A relação para cálculo da Lacunaridade apresentada em (Allain e Cloitre, 1991) usa os momentos de probabilidade de ordem um e dois, ou seja:

$$\Lambda(r) = \frac{M_2(r)}{(M_1(r))^2} \quad (5)$$

Por esta definição é possível concluir que a Lacunaridade ($\Lambda(r)$) pode ser interpretada como uma medida de distribuição de massa em uma imagem.

3.2. Análise dos Resultados

Pode-se perceber pelas relações desenvolvidas que a Lacunaridade, como a Dimensão Fractal, é um número adimensional. Os elementos necessários para cálculo dessa medida são, normalmente, tomados em conjunto com os diversos valores obtidos pela variação do tamanho das janelas que são transladadas.

Temos que, se T é o tamanho total do conjunto (onde “tamanho” é entendido em um sentido amplo e que, dependendo do caso, pode ser área ou volume) e N é o número total de sítios ocupados, para uma janela de tamanho r igual a T , vamos obter $R(T) = 1$, $n(s, T) = 1$ (se $s=N$) ou $n(s, T) = 0$ (se $s \neq N$). Assim,

$$M_1(T) = N \times \frac{n(N, T)}{R(T)} = N \quad \text{e} \quad M_2(T) = N^2 \times \frac{n(N, T)}{R(T)} = N^2 \quad (6)$$

A partir de (5) e (6) vamos obter $\Lambda(T) = 1$, que é o menor valor para a Lacunaridade. Devemos notar ainda que o valor encontrado independe da distribuição e da dimensão euclidiana do conjunto.

De forma análoga temos que, se $r = 1$, ou seja, para um tamanho unitário da janela, o valor de $n(s, 1) = N$ (se $s = 1$) ou $n(s, 1) = T - N$ (se $s = 0$). Nesse caso, $R(1) = T$ e os momentos de primeira e segunda ordem são calculados pelas expressões:

$$M_1(1) = 1 \times \frac{n(1, 1)}{R(1)} = \frac{N}{T} \quad \text{e} \quad M_2(1) = 1^2 \times \frac{n(1, 1)}{R(1)} = \frac{N}{T} \quad (7)$$

e, a partir de (5) e (7), $\Lambda(1) = T / N$.

Na Fig. 3, visualiza-se um gráfico log-log que mostra a Lacunaridade, calculada para as estruturas da Fig. 2, como função do tamanho da janela de translação utilizada.

Pelas relações apresentadas e examinando as curvas na Fig. 3, podemos concluir que a Lacunaridade, para dados binários (imagens em preto e branco), é uma função dos seguintes parâmetros (Plotnick *et al*, 1996):

a) **Fração N/T de sítios ocupados.** À medida que a número médio de sítios ocupados tende a zero, a Lacunaridade tende para infinito. Conjuntos esparsos apresentam maiores valores para a Lacunaridade do que conjuntos densos, para um mesmo tamanho da janela.

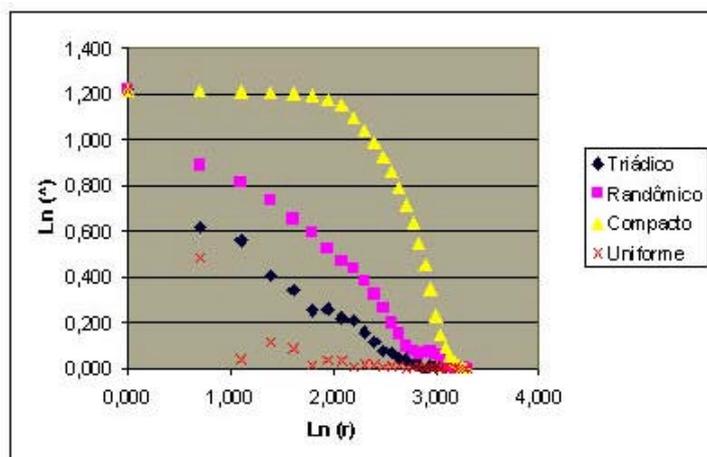


Figura 3. Lacunaridade (Λ) em função do tamanho da janela (r) para os conjuntos da Fig. 2.

b) **Tamanho da janela (r).** Em geral, exceto para conjuntos com sítios ocupados muito agrupados (por exemplo, o conjunto compacto da Fig. 2), janelas maiores apresentarão mais invariância translacional do que as menores, ou seja, o mesmo conjunto terá Lacunaridades mais baixas à medida que o tamanho da janela aumenta.

c) **Geometria do conjunto.** Para uma dada taxa N/T e um dado r , um valor alto para a Lacunaridade indica maior agrupamento dos sítios. O conjunto compacto da Fig. 2 é muito agrupado, com apenas um grande espaço vazio no centro. Para todo valor de r muito menor do que T , a maioria das janelas estão cheias ou totalmente vazias; como resultado, a variância da quantidade de massa, e portanto a Lacunaridade, é bem alta para grande parte dos tamanhos de janelas. Deve-se notar que, quando o tamanho da janela alcança o tamanho total do “vazio”, a curva declina rapidamente.

Os pontos de massa no conjunto uniforme (Fig. 2 (d)) estão regularmente distribuídos em espaços de T/N . Para valores de r maiores do que essa taxa, os valores de s serão constantes, então a variância da distribuição será zero. Assim, a Lacunaridade para um conjunto totalmente regular é 1 para qualquer tamanho de janela maior do que o padrão unitário que se repete.

A Lacunaridade para um conjunto auto-similar, como o Triádico de Cantor (Fig. 2 (a)) apresenta um comportamento bem próximo do linear. A curva de Lacunaridade (plotada em um gráfico log-log) para monofractais auto-similares deve ser uma reta com inclinação igual a $(DF - E)$, onde DF e E são as Dimensões Fractal e Euclidiana, respectivamente (Allain e Cloitre, 1991). Os desvios em relação à linearidade na figura são devido ao pequeno comprimento amostrado para o conjunto.

3.3. Conjuntos Bidimensionais

Todas as conclusões obtidas em relação à análise para o caso unidimensional podem ser estendidas a conjuntos de dimensões euclidianas maiores. Para conjuntos bidimensionais o método descrito é aplicado da mesma forma, ou seja, calculando-se a distribuição de sítios ocupados através de janelas de translação ao longo do conjunto. Nesse caso, o número total de janelas que “percorrem” a imagem pode ser dado por: $R(r) = (T - r + 1)^2$; onde consideramos uma imagem quadrada de $T \times T$ sítios, e janelas de translação, também quadradas, de tamanho $r \times r$ (embora não haja impedimentos em definir janelas retangulares, por exemplo).

De forma análoga ao caso unidimensional, para um tamanho de janela igual a $T \times T$, ou seja, igual ao tamanho da própria imagem, temos que a Lacunaridade é mínima (valor 1). Já para uma janela unitária, o valor da Lacunaridade é dado pela relação entre o número total de sítios e a quantidade

ocupada (T^2/N). Variando o tamanho da janela, vamos obter números que caracterizam a distribuição de massa ao longo da imagem.

4. CONTROLE DE QUALIDADE

Nosso objetivo, nesse trabalho, é estudar a utilização da Lacunaridade como parâmetro decisório na caracterização de padrões industriais, como, por exemplo, a produção têxtil. De forma semelhante ao trabalho desenvolvido em (Conci e Proença, 2000), empregando a Dimensão Fractal, nossa técnica consiste na comparação de imagens para a detecção automática de falhas, a partir de índices numéricos, cuja interpretação indique a presença de um defeito. Existem cerca de 50 defeitos característicos de tecidos planos catalogados (Conci e Proença, 2000) e a informação sobre a quantidade de imperfeições encontradas em um produto é decisiva para sua caracterização em termos de qualidade

Através da Fig. 6 pode-se notar imagens de tecidos, onde (a) é uma amostra boa e em (b) nota-se o mesmo tipo de tecido apresentando um defeito. Já que definimos a Lacunaridade a partir de dados binários, propomos que as imagens sejam binarizadas, a partir de um limiar (*threshold*) adequado, de forma a viabilizar o cálculo para as amostras. Essa operação consiste em separar uma imagem, originariamente em tons de cinza (ou em diversas cores), em pixels, por exemplo, pretos e brancos. A decisão da nova cor que terá o pixel da imagem é feita a partir do valor de *threshold* considerado. Assim, na Fig. 6 (c) e (d), apresentamos as imagens obtidas depois da operação de limiarização. Na Fig. 7, visualizamos, em um gráfico log-log, a variação de Lacunaridade, para as duas imagens, considerando diferentes tamanhos das janelas de translação. Pode-se perceber que a presença do defeito mudou completamente os valores calculados para as diferentes janelas.

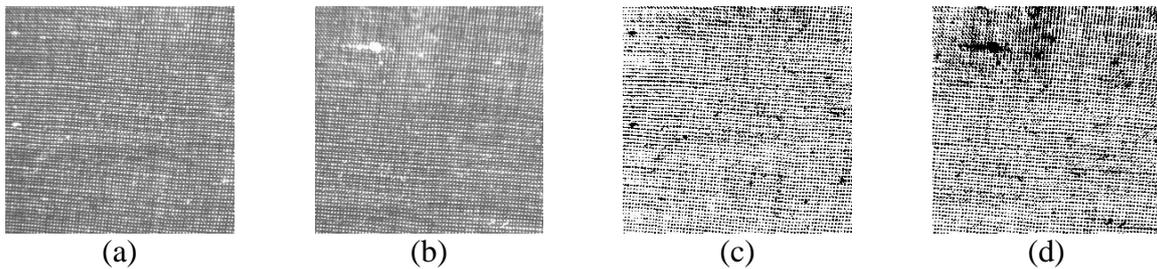


Figura 6. (a) Padrão de tecido considerado “bom”. (b) Tecido com falhas. (c) Imagem binária de (a). (d) Imagem binária de (b).

Nas aplicações, o sistema automático já deve conhecer previamente os valores característicos da Lacunaridade para amostras boas de um mesmo padrão. Dessa forma, os valores calculados para o produto em teste, seriam comparados e, dependendo dos resultados, denunciariam, ou não, a presença de uma falha. Para esse processo, propomos que as diferenças absolutas entre os valores da Lacunaridade das amostras, para um mesmo tamanho de janela, sejam somadas e o resultado não deverá ser superior a um limite conhecido, para que o procedimento automatizado não detecte um defeito. Assim,

$$D_t = \sum_{r_{\text{mínimo}}}^{r_{\text{máximo}}} |\Lambda_b(r) - \Lambda_t(r)| \quad (8)$$

onde D_t é o valor característico calculado para uma determinada amostra t , quando comparada à amostra b (boa); Λ_t e Λ_b são os respectivos valores para a Lacunaridade, deduzidos utilizando-se uma janela de tamanho r pixels. Através da aplicação prática do algoritmo, é possível definir o limiar para binarização das imagens, o intervalo de variação do tamanho das janelas de translação ($r_{\text{mínimo}}$ e $r_{\text{máximo}}$) e ainda o valor limite de D_t .

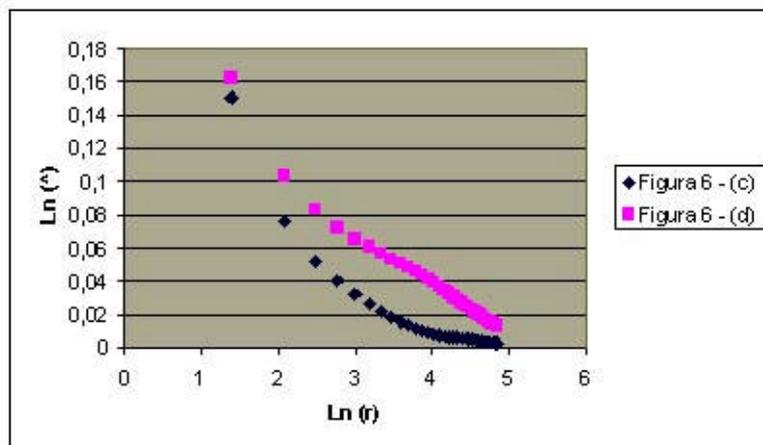


Figura 7. Lacunaridade (Λ) em função do tamanho da janela de translação (r) para as imagens da Fig. 6

5. EXPERIMENTOS

Através da experimentação, percebemos que a faixa de variação do tamanho das janelas de translação é fundamental para agilizar o processo. É desnecessário utilizarmos valores de r muito grandes, já que, independente do padrão, a Lacunaridade tende a 1 nesses casos, contribuindo, dessa forma, muito pouco para o valor de D_f . Já a taxa de incremento de r é um fator relevante no método; é importante aliar precisão e rapidez. Para imagens de 256x256 pixels, utilizamos, com sucesso, valores de r múltiplos de 4, até um limite igual a 128. Da mesma forma, o limite para detecção de um tecido com falhas foi avaliado praticamente, nos testes que efetuamos, em 0.1. Assim, todas as amostras defeituosas apresentaram um valor para D_f acima desse limite.

Acreditamos que os valores anteriormente definidos, bem como o limiar a ser utilizado na binarização das imagens, fazem parte de uma fase de calibração do processo e podem ser avaliados, até mesmo pelo usuário, processando inicialmente algumas imagens de tecidos com falhas, de forma a determinar os parâmetros de funcionamento ótimo do método.

As imagens visualizadas na Fig. 8 denotam padrões de tecidos, apresentando falhas ou não. Note-se que algumas imagens são apenas variações para o padrão considerado “bom” (rotações ou deslocamentos) e, para essas imagens, espera-se que o valor de D_f seja nulo ou bem pequeno, já que padrões desse tipo são perfeitamente esperados, em decorrência do posicionamento das amostras em teste e da câmera, no processo de captura das imagens. Através da Tab. (1), visualizamos os resultados para D_f calculados para as amostras observadas anteriormente. Assim, a presença de um defeito de produção fica bem caracterizada pelo alto valor de D_f .

6. OBSERVAÇÕES FINAIS

Os métodos relacionados ao cálculo da Dimensão Fractal já são utilizados em grande escala para análise e caracterização de padrões espaciais; no entanto, esses processos podem ser inadequados em uma grande variedade de problemas. Padrões que apresentam a mesma Dimensão Fractal, podem ter texturas bem diferentes e a identificação dessa diferença pode ser importante para diversas aplicações. A Lacunaridade surge como uma técnica mais geral, que pode substituir ou complementar a Dimensão Fractal, caracterizando texturas de forma simples e direta. Além disso, pode ser aplicada a dados de qualquer dimensionalidade, fractais ou não; permitindo, através da análise dos resultados encontrados, a identificação de faixas de auto-similaridade e/ou mudanças de escala.

Acreditamos que a Lacunaridade pode ser utilizada em diversas aplicações práticas, como por exemplo, em processos relacionados ao controle de qualidade de padrões, servindo como parâmetro na detecção de defeitos em linhas de produção industrial. Conforme demonstramos, a utilização dessa medida a produções contínuas relacionadas a indústria têxtil é bastante viável, podendo ser

facilmente incorporada a um Sistema Automático de Inspeção Visual. Aplicações ligadas a imagens de radar já podem ser encontradas na literatura disponível (Henebry, 1995).

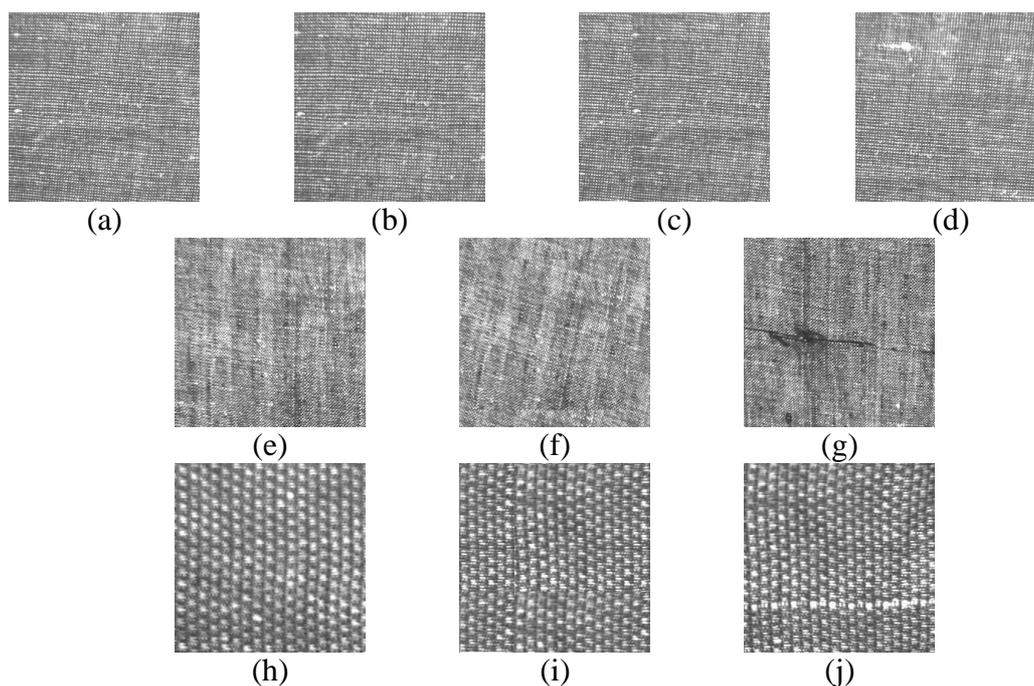


Figura 8. (a),(e),(h) Tecidos sem falhas. (b),(c),(f),(i) Variações para o padrão sem falhas. (d),(g),(j) Tecidos com falhas.

Tabela 1. Valores de D_t calculados para as imagens da Fig. 8. As linhas sombreadas na tabela indicam padrões defeituosos ($D_t > 0.1$).

Imagens		D_t
Amostra boa (<i>b</i>)	Amostra em teste (<i>t</i>)	
(a)	(b)	0.03483
(a)	(c)	0.05393
(a)	(d)	0.79126
(e)	(f)	0.06975
(e)	(g)	0.28999
(h)	(i)	0.08895
(h)	(j)	0.43460

Como continuação do presente trabalho sugerimos estender o conceito de Lacunaridade à imagens coloridas e/ou tons de cinza, no sentido de verificar sua aplicabilidade ao problema de detecção de falhas têxteis; bem como a realização de um estudo comparativo referente às vantagens e desvantagens da utilização dessa medida, em relação aos métodos já consagrados.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Allain, C. and Cloitre, M., 1991, "Characterizing the lacunarity of random and deterministic fractal sets", *Physical Review A* 44: (6) 3552-3558, September 15.
- Azevedo E. e Conci A., 2003 "Computação Gráfica – Teoria e Prática", Editora Campus, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 353 p.
- Conci A. and Proença, C. B., 2000 "A Comparison Between Image Processing Approaches on Textile Inspection", *Journal of the Textile Institute* Vol. 91 Part One - Fibre Science and Textile

- Technology, No. 2, pp.317-323, Manchester.
- Ferrara, N. F. and Prado, C. P. C., 1995, "Caos. Uma introdução", Editora Edgard Blücher, São Paulo, SP, Brasil.
- Henebry, G. M. and Kux, H. J. H., 1995, "Lacunarity as a texture measure for SAR imagery", International Journal of Remote Sensing 16, pp. 565-571.
- Mandelbrot B.B., 1983, "The Fractal Geometry of Nature", W. H. Freeman, New York.
- Nunes, E.O. e Conci, A., 2001, "Determinação da Dimensão Fractal de Conjuntos de Pontos à Imagens de Satélites", palestra convidada para o Applicon 2001, Anais do Applicon, Sao Carlos, SP, 30/07 a 03/08/2001.
- Parteli, E. J. R., 2002, "Aspectos estatísticos de séries temporais de deslizamentos", Dissertação de Mestrado – Departamento de Física/ Universidade Federal de Pernambuco, Recife, PB, Brasil.
- Plotnick, R.E., Gardner, R.H. and Oneill, R.V., 1993, "Lacunarity indexes as measures of landscape texture", Landscape Ecology 8: (3), September, pp. 201-211.
- Plotnick, R.E., Gardner, R.H., Hargrove, W.W., Prestegard, K. and Perlmutter, M., 1996, "Lacunarity analysis: a general technique for the analysis of spatial patterns", Physical Review E. Statistical Physics, Plasmas, Fluids, & Related Interdisciplinary Topics, vol.53, No.5, pt.B, May, pp.5461-8.

8. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.

USE OF THE LACUNARITY IN THE VISUAL QUALITY CONTROL OF INDUSTRIAL PATTERNS

João Luiz Fernandes

Universidade Federal Fluminense

Passos da Pátria, 156, Niterói, RJ, Brasil. E-mail: ccmjlf@vm.uff.br

Aura Conci

Universidade Federal Fluminense. E-mail: aconci@ic.uff.br

Abstract. *Nowadays, the warranty of the final product quality, in most of the industries, is done either through human visual inspection or through tests of functionality of the product. For instance, the quality control in the textile industries is usually done by manual processes, and not through automated processes as it would be desirable. The great majority of the works found with objective of automated detection of industrial flaws are returned for discreet productions. In a continuous production, as the textile production, there are no individual products that should be inspected separately, but meters of product. Although techniques of visual inspection based on the Fractal Geometry already exist, especially using the Fractal Dimension concept, a new methodology is proposed in this work: the use also of the Lacunarity as an additional measure for the characterization of the patterns in test. Lacunarity measure is related with the distribution and size of empty spaces in a set. The objective of this work is to verify the use of Lacunarity as one more ruling parameter in the texture quality control for the development of an automatic inspection system, for industries with continuous productions, accessible and with low cost. The function of the system is to detect textile variations that configure a defect, by image analysis of the production.*

Keywords. *Quality control, visual inspection, product quality*