

4. AUMENTO DE CONTRASTE

4.1 Introdução

As imagens de sensoriamento remoto são adquiridas pelos sistemas sensores com uma determinada resolução radiométrica, que é normalmente de 6 ou 8 bits. Neste último caso, as imagens possuem, teoricamente, 256 valores de cinza, entre o preto e o branco. Contudo, dificilmente os dados contidos numa imagem de satélite espalham-se por todo o intervalo possível de níveis de cinza, sendo o mais comum a concentração em uma pequena faixa. O principal motivo disso é que os sistemas sensores são concebidos para registrar toda uma gama possível de valores de reflectância, originada por todos os tipos de materiais naturais e sob as mais diversas condições de iluminação. Desse modo, o ideal é que objetos cinza escuros não apareçam totalmente pretos e objetos claros não desapareçam devido à saturação do sensor. Por outro lado, dificilmente um local da superfície da Terra apresenta esses dois extremos ao mesmo tempo e, por esse motivo, a distribuição de DN's de quase todas as imagens fica comprimida em uma porção relativamente reduzida do intervalo 0-255. Outras causas para o baixo contraste das imagens de satélite incluem a presença de bruma atmosférica, má iluminação solar da cena, performance deficiente do sensor e as próprias características da cena.

Uma vez que o sistema visual humano só consegue discriminar cerca de 30 tons de cinza, e assim mesmo só quando eles são bastante espalhados entre o preto e o branco (representados digitalmente pelo 0 e pelo 255, respectivamente), uma imagem de satélite vista da forma como é adquirida pelo sensor aparece visualmente com baixo contraste. Para que as informações nela contidas possam ser extraídas por um analista humano, o seu histograma comprimido tem então que ser expandido para ocupar todo o intervalo disponível. Esse conceito é a base do chamado **aumento de contraste** ("*contrast stretch*" em inglês).

O aumento de contraste é provavelmente uma das mais poderosas, importantes e sem dúvida a mais usada das técnicas de processamento para extração de informações de imagens de sensoriamento remoto. Apesar disso, ele é muitas vezes considerado (erroneamente) como um processo simples e aplicado usando-se "receitas" contidas no software de sistemas de

processamento de imagens. Por outro lado, deve-se enfatizar que o aumento de contraste não irá nunca revelar informação nova, que não esteja já contida na imagem original. A função dele é apenas apresentar a mesma informação contida nos dados brutos, porém de uma forma mais claramente visível ao intérprete. Outro ponto importante é que deve-se ter bem claros os motivos pelos quais vai-se aplicar o aumento de contraste em uma imagem, antes mesmo de fazê-lo, uma vez que esse processamento pode afetar o resultado de operações subsequentes. Ao se usar essa técnica em um estágio de pré-processamento, deve-se atentar para o fato de que parte da informação pode ser perdida, dependendo da forma como é feito o aumento de contraste!

O contraste de uma imagem é uma medida do espalhamento dos níveis de intensidade que nela ocorrem (Figura 4.1). Esse conceito é facilmente entendido ao se examinar o histograma de uma imagem: quanto mais espalhado for ele, maior o contraste da imagem e vice-versa. Deve ser lembrado que, em qualquer sistema sensor, esse intervalo de espalhamento é sempre positivo e limitado por um mínimo e por um máximo, sendo mais usual o intervalo de 0 a 256 níveis de cinza.

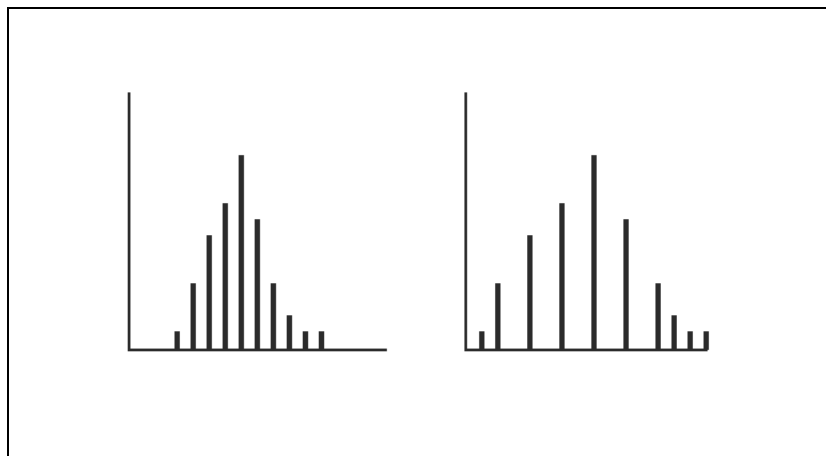


Figura 4.1 - A imagem cujo histograma está representada em A) possui menos contraste do que a imagem do histograma B), pois o espalhamento deste último é maior do que o primeiro.

Uma das aplicações mais comuns do aumento de contraste é na preparação de composições coloridas usando 3 bandas de um sensor. Para que seja obtida uma boa distribuição de cores nesse tipo de composição, é necessário

que as 3 bandas tenham primeiramente os seus contrastes aumentados. Desse modo, obtém-se uma maior variação de matizes nas 3 cores básicas (vermelho, azul e verde) às quais serão atribuídas as 3 bandas.

4.2 A função de transferência de contraste

Quando o contraste de uma imagem é modificado, o histograma da imagem resultante é diferente da imagem original, sendo a relação entre os dois histogramas especificado pela **função de transferência de contraste**. Essa função é em geral uma curva plotada em relação a dois eixos (**X** e **Y**) representando as intensidades da imagem original e modificada. A função de transferência especifica a transformação de contraste e é aplicada na imagem da seguinte maneira: para se achar a intensidade transformada de um pixel da imagem, toma-se a intensidade original desse mesmo pixel, plotando-a no eixo X. Em seguida traça-se uma linha vertical a partir daquele ponto até encontrar-se a curva da função de transferência. A intensidade transformada do pixel é determinada traçando-se uma linha horizontal a partir dessa intersecção, até o eixo Y. A ação da função de transferência de contraste não depende das intensidades dos pixels ao redor do pixel considerando, isto é, ela é uma **operação pontual**.

Uma função de transferência pode ter qualquer formato, sempre obedecendo algumas limitações. Um vez que as intensidades de ambas, as imagens original e final, são limitadas a um determinado intervalo a curva é limitada à área definida pelos eixos X e Y (cada um variando geralmente de 0 a 255). Considerando-se um pequeno intervalo de valores de intensidade na imagem original, esse intervalo é modificado para um novo intervalo de intensidades na imagem final, o qual vai depender da **altura** da função de transferência sobre o eixo X. Esse intervalo será expandido ou comprimido de acordo com a **inclinação** da função de transferência. Se a inclinação for maior do que 45° o contraste será expandido; se for menor do que 45° o contraste será comprimido. Deve ser lembrado que a função de transferência no caso de dados digitais não é contínua, mas sim formada por uma série de degraus, devido à

própria natureza discreta dos dados digitais.

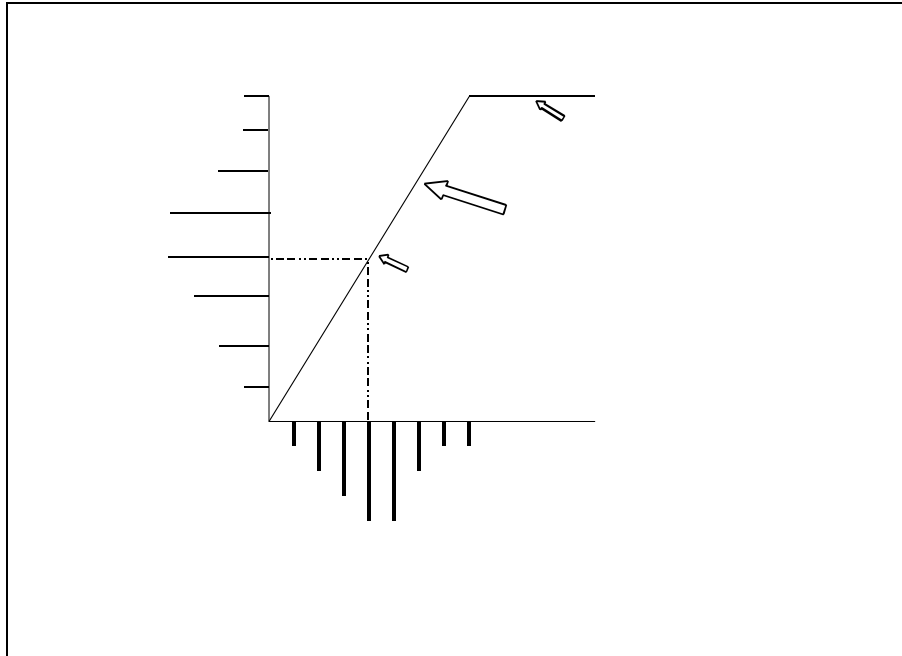


Figura 4.2 - Uma imagem tendo o histograma mostrado no eixo **X**, quando submetida à função transferência de contraste representada pelos dois segmentos de reta do gráfico acima, irá produzir uma imagem cujo histograma está plotado ao longo do eixo **Y** do gráfico. Pixels com DN igual à **N** na imagem original vão ter seu novo nível de cinza igual à **N'** na imagem transformada. Notar que, quando a curva de transferência de contraste possui uma inclinação maior do que 45° o contraste é expandido, ao passo que quando a inclinação é menor do que 45° , ele é comprimido.

A forma como os sistemas de processamento digital de imagens implementam a função de transferência chama-se "*Look-up Table (LUT)*". Através desse artifício, evita-se especificar a função de transferência matematicamente e aplicá-la a cada um dos pixels da imagem para calcular as novas intensidades, o que seria extremamente vagaroso. O fundamento desse processo é o seguinte: uma imagem digital de 8 bits contém apenas 256 valores possíveis de intensidade e pode-se então fazer o cálculo apenas uma vez para cada um desses valores, antes de se modificar a imagem, armazenando os resultados numa tabela. Essa tabela vai conter a função de transferência. Para aumentar o contraste da imagem, toma-se cada intensidade de pixel da imagem de entrada, usando-a como um "endereço" para procurar ("*look-up*" em inglês) na LUT o valor correspondente para a imagem de saída. Esse processo é geralmente

implementado através de "*hardware*", é extremamente rápido e dispensa cálculos complexos, uma vez que somente 256 cálculos são realizados, no lugar dos 1.048.576 necessários para uma imagem de 1.024 por 1.024 pixels.

4.3 Aumento linear de contraste

A forma mais simples de se aumentar o contraste de uma imagem é através do **aumento linear de contraste (ALC)**. Nele, a função de transferência é uma reta e apenas 2 parâmetros são controlados: a inclinação da reta e o ponto de intersecção com o eixo X (Figura 4.3). A inclinação controla a quantidade de aumento de contraste e o ponto de intersecção com o eixo X controla a intensidade média da imagem final.

A principal característica do ALC é que as barras verticais que formam o histograma da imagem de saída são espaçadas igualmente, uma vez que a função de transferência é uma reta. Além disso, o histograma final será idêntico em formato ao histograma inicial, exceto que ele terá um valor médio e um espalhamento diferentes.

O ALC pode, dependendo do software usado, ser implementado de forma interativa. Nesta, a inclinação e o ponto de intersecção são controlados pelo usuário, através de um "*mouse*", tablete gráfico ou "*trackball*" e o usuário pode acompanhar o resultado da operação visualmente, através do monitor de vídeo, na própria imagem de saída.

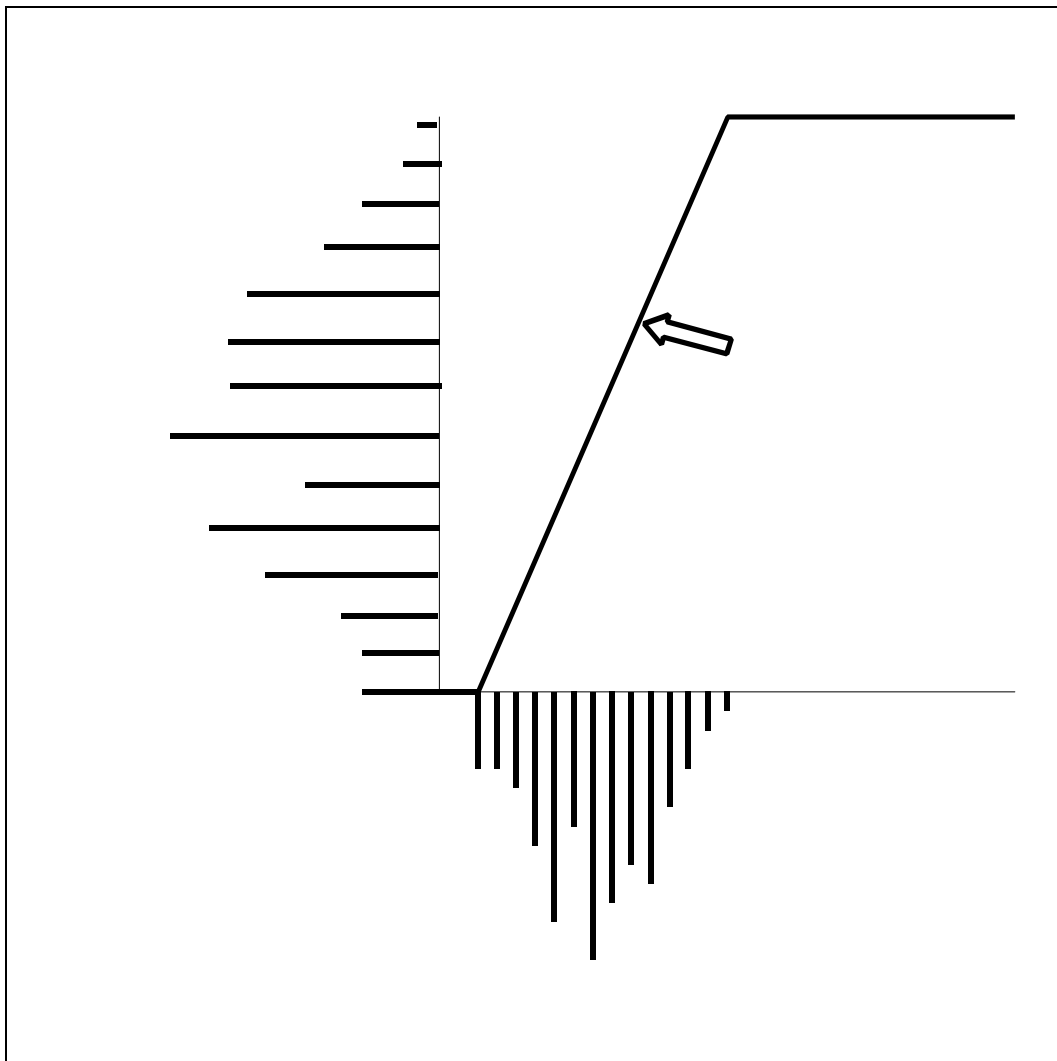


Figura 4.3 - Histograma de uma imagem e de sua versão com aumento linear de contraste (ALC), aplicado segundo a função de transferência linear acima. Notar que o espaçamento entre as populações se mantiveram constantes e que a forma do histograma não se alterou.

É importante notar o que ocorre ao se aumentar a inclinação da reta de transferência: a inclinação controla a quantidade de expansão das intensidades da imagem original e uma inclinação exagerada pode fazer com que as intensidades na imagem contrastada excedam os limites permitidos. Isso deve ser evitado a todo custo pois, uma vez que as intensidades atinjam o limite, ocorre um "overflow" e as colunas correspondentes do histograma são "presas" no valor preto ou branco (dependendo de qual extremidade ocorreu o "overflow"). Isso representa uma perda de informação, uma vez que pixels de colunas vizinhas do histograma, que originalmente podiam ser diferenciados com base no seu DN,

serão fundidos numa só coluna e passarão a ter o mesmo DN (0 ou 255), conforme mostrado na Figura 4.4.

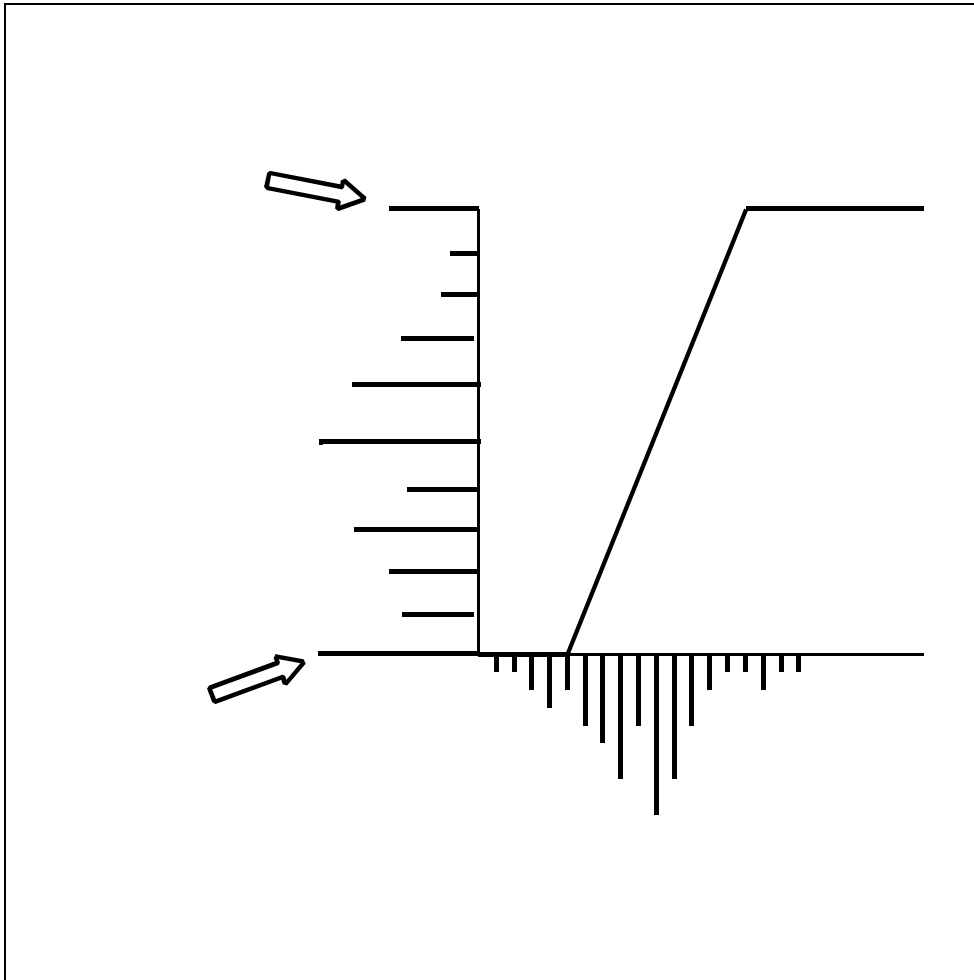


Figura 4.4 - Um aumento exagerado de contraste pode causar perda de informação na imagem resultante, conforme mostrado acima. As duas extremidades do histograma da imagem contrastada (0 e 255) mostram populações altas, o que não ocorria na imagem original. Isso denota a ocorrência de "overflow", o que modifica a forma do histograma original.

No caso de um aumento excessivo de contraste linear, a forma do histograma será modificada em relação à imagem original, conjuntos de pixels passarão a ocupar valores incorretos de cinza e o processo é irreversível: não há nenhuma maneira de redistribuir os pixels de uma coluna do histograma em duas ou mais colunas após ter ocorrido o "overflow". A informação que é "prêsa" nesse processo é **permanentemente perdida**. Por outro lado, pode-se desejar que isso ocorra, de forma não intensa e controlada, nos casos em que interessa expandir

bastante apenas um pequeno intervalo de intensidades. Deve ficar claro, porém, que isso pode afetar seriamente qualquer outro tipo de processamento subsequente. Como regra geral, pode-se dizer que o ALC deve ser aplicado de preferência após outros tipos de processamento, no sentido de produzir uma melhor distribuição de intensidades, apenas para a visualização ou impressão do produto final.

4.4 Aumento bilinear de contraste

Existem situações em que a informação que se deseja realçar por aumento de contraste não está contida em apenas uma região do histograma. Para melhor se entender isso, tomemos um exemplo: para uma determinada aplicação, necessita-se aumentar o contraste de dois intervalos de DNs, um localizado na parte mais escura, digamos no intervalo 0-100, e a outra localizada no intervalo mais claro, digamos 101-255. Existe uma maneira de se aplicar aumento linear de contraste apenas nesses dois intervalos, deixando o restante dos DNs originais sem contraste. A forma de se fazer isso é através do **aumento bilinear de contraste** (ou mesmo multi-linear), em que uma alta inclinação é atribuída a pequenos segmentos de reta da curva de transferência (Figura 4.5). O aumento bilinear de contraste é bastante poderoso, mas requer muito cuidado e uma boa dose de reflexão anterior à sua aplicação, para que sejam definidas cuidadosamente as regiões em que se quer realçar o contraste. Muitos sistemas de processamento de imagens permitem que ele seja aplicado interativamente, escolhendo-se graficamente os segmentos da função de transferência e observando-se os resultados simultaneamente.

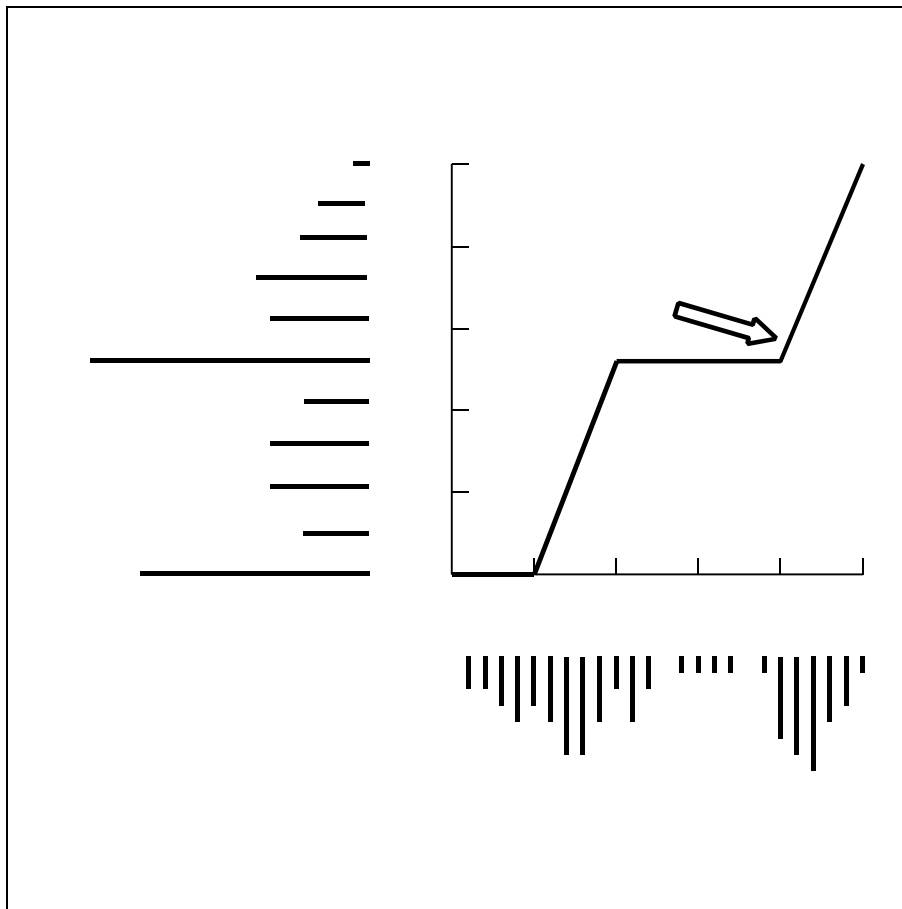


Figura 4.5 - Aumento bilinear de contraste, onde os intervalos de níveis de cinza entre 50-100 e 200-250 possuem seus contrastes aumentados linearmente, enquanto que os demais níveis de cinza são comprimidos.

Uma das aplicações mais comuns do aumento bilinear de contraste é para produzir uma imagem com histograma aproximadamente simétrico, a partir de um histograma assimétrico. Neste caso, especifica-se uma média para a distribuição e segmentos de inclinação diferente na função de transferência para os dois lados do histograma, sendo maior a inclinação quanto menos espalhado for o histograma, conforme mostrado na Figura 4.6.

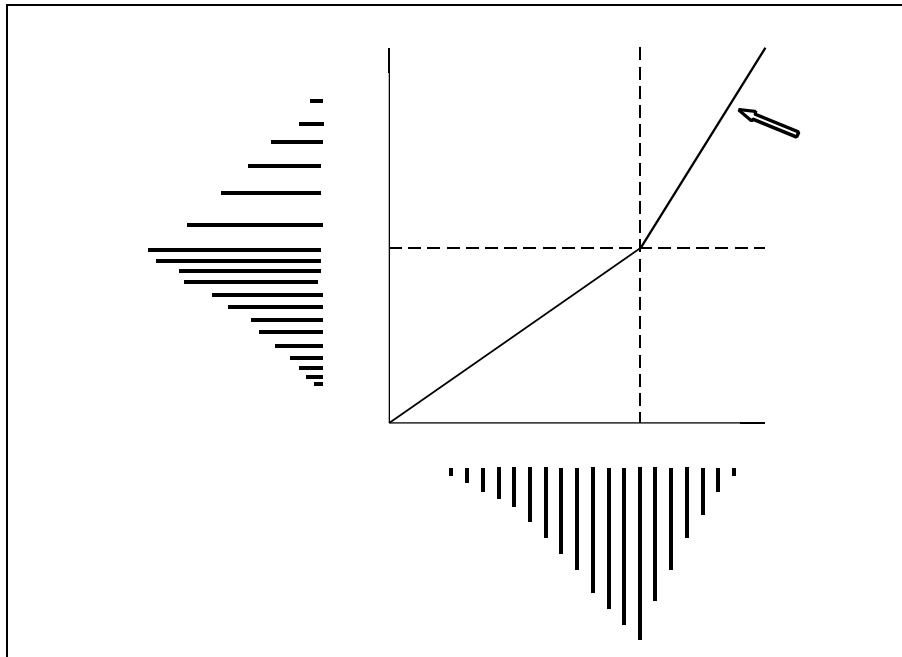


Figura 4.6 - O aumento bilinear de contraste é usado neste caso para remover a assimetria da distribuição de níveis de cinza da imagem original, produzindo uma imagem com um histograma simétrico.

Da mesma forma como um aumento de contraste pode ser definido por dois segmentos de reta, ele pode da mesma forma ter uma função de transferência definida por vários segmentos de reta. Neste caso, eles são chamados de **aumentos multi-lineares de contraste**, embora seu uso não seja comum, requerendo uma definição cuidadosa dos intervalos a serem realçados e das inclinações dos vários segmentos, feita de preferência interativamente.

4.5 Aumentos não-lineares de contraste

O ALC possui a vantagem de ser simples de se especificar e calcular, além de apresentar resultados que são de fácil compreensão e interpretação. Todavia, existem situações em que o ALC não consegue revelar tipos específicos de informação em uma imagem. Para esses casos, existem inúmeros tipos de funções de transferência não-lineares e trataremos aqui de algumas mais comuns.

A **equalização de histograma** (ou **achatamento**) parte do princípio que o contraste de uma imagem seria otimizado se todos os 256 possíveis níveis de intensidade fossem igualmente utilizados ou, em outras palavras, todas as barras verticais que compõem o histograma fossem da mesma altura. Obviamente isso não é possível devido à natureza discreta dos dados digitais de uma imagem de sensoriamento remoto. Contudo, uma aproximação pode ser conseguida ao se espalhar os picos do histograma da imagem, deixando intocadas as partes mais "chatas" do mesmo. Esse processo é obtido através de uma função de transferência que tenha uma alta inclinação toda vez que o histograma original apresentar um pico e uma baixa inclinação no restante do histograma, conforme mostrado na Figura 4.7. Uma vez que um pico alto requer mais espalhamento do que um pico mais baixo, isso implica que a inclinação da curva deverá ser proporcional à altura do pico do histograma. O histograma cumulativo neste caso vai tender a se aproximar de uma reta ascendente (motivo pelo qual ele é chamado em inglês de "*ramp stretch*"). A utilidade de um aumento de contraste tipo equalização é que imagens com extensas áreas de intensidade uniforme, as quais produzem histogramas com um largo pico central, serão bastante realçadas, com a possibilidade de que sejam revelados detalhes de contraste previamente não perceptíveis. Por outro lado, a informação representada por pixels com intensidade localizada nas extremidades do histograma será bastante comprimida em termos de contraste e, conseqüentemente, prejudicada.

A **normalização de histograma** (ou aumento Gaussiano de contraste) obedece às leis Gaussianas de distribuição estatística, produzindo um histograma em que a média e o desvio padrão da distribuição são especificados e que possui a forma aproximada de um sino (Figura 4.8). A sua vantagem é que a informação contida nas extremidades do histograma é realçada. Ao se produzir composições coloridas de 3 bandas, o uso da normalização é desejável pois as 3 bandas poderão ter seus histogramas com a mesma média e desvio-padrão, obtendo-se assim um balanceamento de cores na composição.

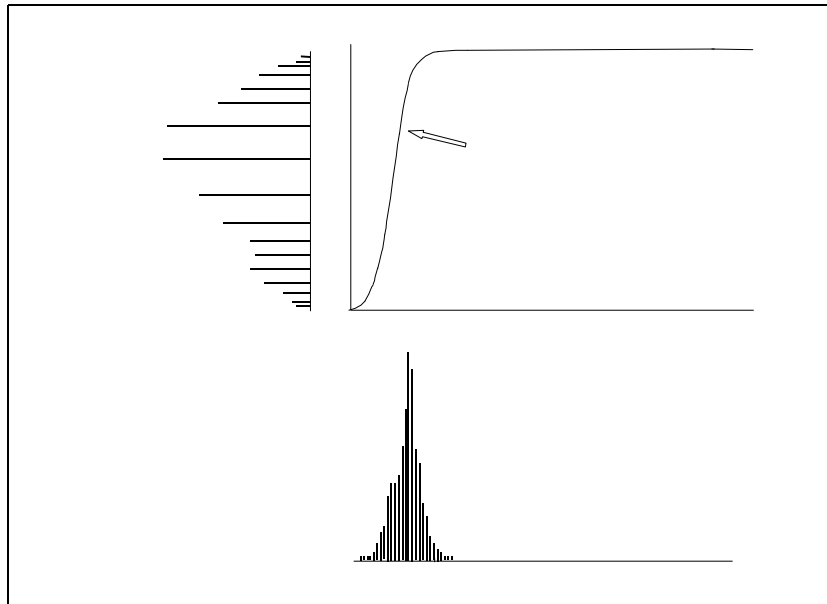


Figura 4.7 - Aumento de contraste por equalização de histograma. Deve ser notado que a curva de transferência é tanto mais inclinada quanto maior for a população de um determinado nível de cinza.

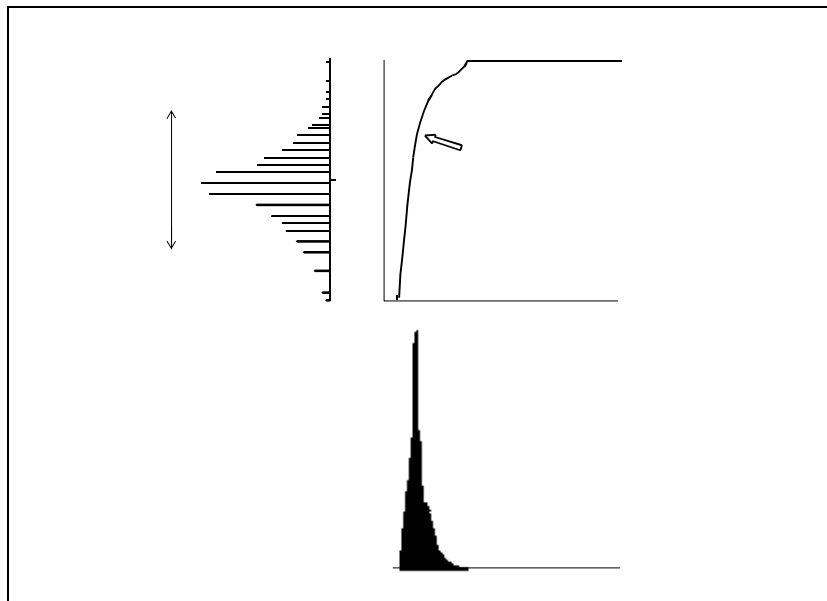


Figura 4.8

Aumento Gaussiano de contraste, com a média igual a 128. Cerca de 67% dos pixels estão incluídos no intervalo de 1 desvio-padrão (σ) em torno da média.

Quando se deseja realçar a informação contida na porção mais escura de uma imagem, a qual apresenta também porções claras, o uso de um **aumento logarítmico de contraste** é indicado. Neste caso, a curva de transferência é uma função logarítmica, com uma inclinação maior na porção relativa às baixas intensidades, a qual vai progressivamente tendendo à horizontal nas intensidades mais elevadas (Figura 4.9). De modo inverso, quando se tem uma imagem com porções claras e escuras na qual se quer realçar as porções mais claras, usa-se um **aumento exponencial de contraste**, cuja curva de transferência é uma função exponencial, conforme ilustrado na Figura 4.10.

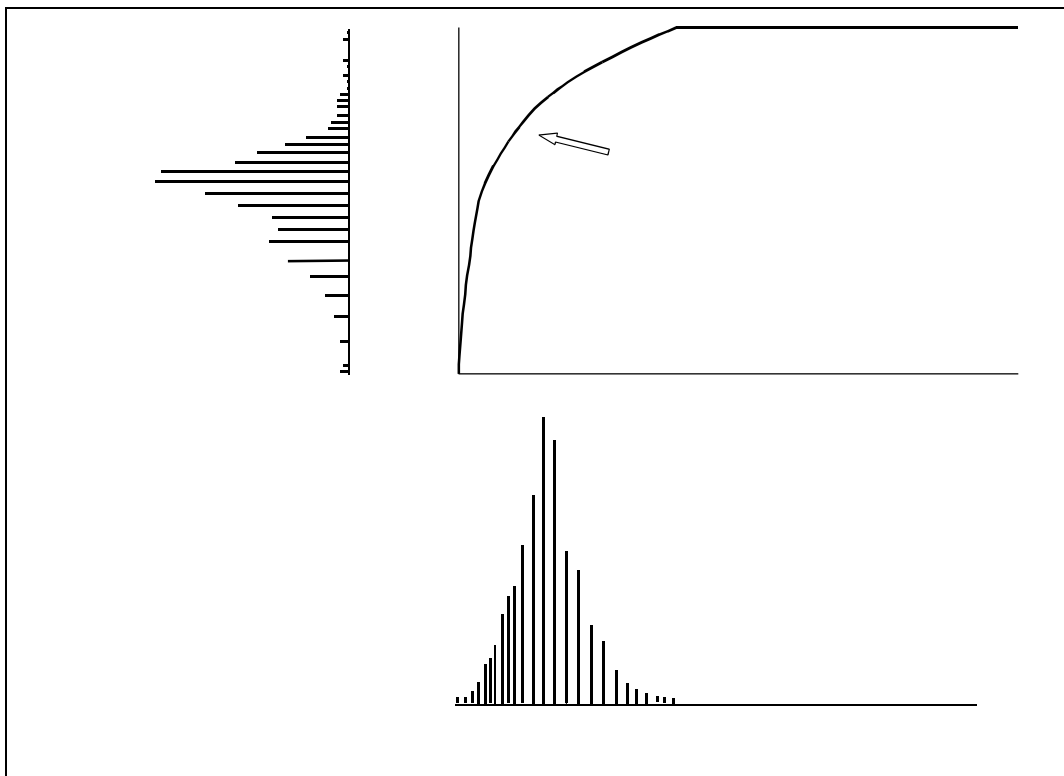


Figura 4.9 - Aumento logarítmico de contraste, que permite realçar os tons mais escuros de cinza de uma imagem, às custas dos tons mais claros, os quais serão comprimidos.

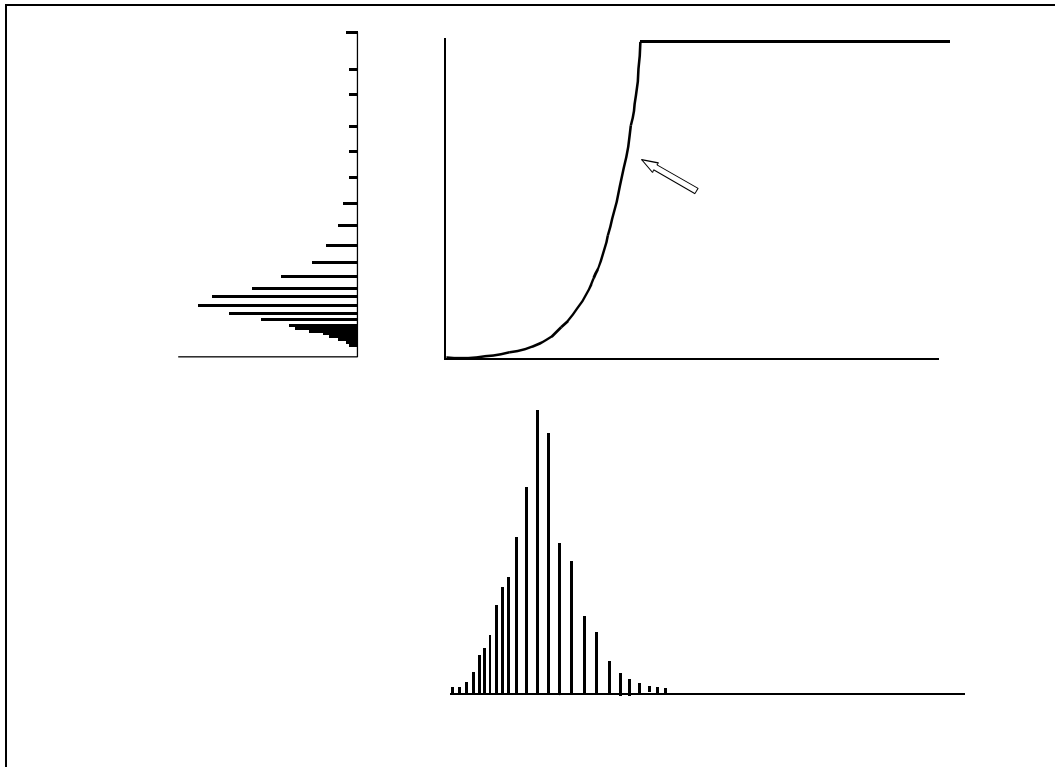


Figura 4.10 - Aumento exponencial de contraste, utilizado para realçar os tons mais claros de uma imagem, às custas dos tons mais escuros, os quais sofrerão uma compressão no contraste.

4.6 Aumento "quase-linear" de contraste

Existem vantagens e desvantagens em ambos os tipos de técnicas de aumento de contraste, lineares e não-lineares. Como já mencionado, as técnicas lineares são mais simples, fáceis de implementar e de interpretar; por outro lado, elas não são capazes de lidar eficientemente com distribuições de DN's mais complexas. As técnicas não-lineares possuem essa capacidade, mas oferecem uma maior complexidade de implementação e de interpretação dos seus resultados; além disso, elas afetam intensamente a forma original do histograma de uma imagem, causando uma consequente mudança na estrutura de informação da imagem e, por vezes, uma perda parcial de informação.

Uma maneira intermediária de buscar as vantagens de ambos os tipos, sem contudo ter que incorrer nas desvantagens, é oferecida por um tipo de aumento "quase-linear" de contraste. Este é chamado "**Balance Contrast**

Enhancement" (Realce de Contraste Balanceado) e é implementado matematicamente através de uma função parabólica ou cúbica, no sentido de obter uma curva de transferência de contraste que se aproxima de uma reta, embora não o seja. Essa técnica permite que o usuário tenha um total controle sobre os 5 parâmetros que controlam o processo de aumento de contraste: DN mínimo e máximo, média e valores máximo e mínimo de corte. Por outro lado, ela preserva o formato original do histograma, evitando portanto perda de informação. Seu uso principal é para produzir imagens com o contraste balanceado, para posterior combinação de tripletes a cores, evitando qualquer tendenciosidade na distribuição de cores. É necessário porém que o "software" de processamento utilizado tenha essa função em sua biblioteca, o que não é o caso de nenhum dos atualmente existentes.

4.7 Conclusões

Procurou-se nesta seção esboçar os conceitos básicos e processos relativos ao aumento de contraste de imagens digitais. A base conceitual reside na relação entre o contraste de uma imagem e o seu histograma de intensidades, bem como no entendimento da função de transferência de contraste.

Do ponto de vista do usuário, é importante saber que existe uma variedade de tipos de aumento de contraste e que cada um deles se aplica de forma mais eficaz a determinadas situações. Na imensa maioria das vezes, o uso de um aumento linear de contraste bem dimensionado resolverá a questão e produzirá uma imagem com boas características visuais de interpretação. Por outro lado, para algumas situações não-convencionais, e que por vezes são mais comuns do que se pensa em sensoriamento remoto, é indispensável que o usuário pense cuidadosamente sobre qual o tipo de técnica de aumento de contraste terá melhor possibilidade de sucesso na solução de seu problema.