



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

INPE-5571-TDI/542

**AVALIAÇÃO GLOBAL DO SISTEMA FOTOGRÁFICO PARA
GERAÇÃO DE IMAGEM LANDSAT TM DO INPE**

Luís Geraldo Ferreira

Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto, orientada pelo
Dr. Roberto Pereira Cunha, aprovada em março de 1994

INPE
São José dos Campos
1994

528.8.042

FERREIRA, L.G.


Avaliação global do sistema fotográfico para geração de imagem Landsat TM do INPE. / Luiz Geraldo Ferreira. -- São José dos Campos : INPE, 1994.

130p. - (INPE-5571-TDI/542)

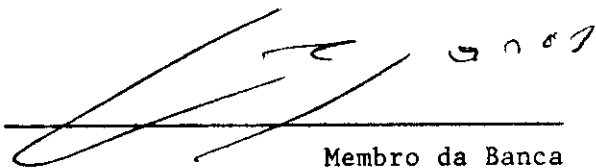
1. Fotografia aérea. 2. Mapeador temático (Landsat). 3. Satelites Landsat. 4. Controle de qualidade. I. Título.

Aprovada pela Banca Examinadora
em cumprimento a requisito exigido
para a obtenção do Título de Mestre
em Sensoriamento Remoto

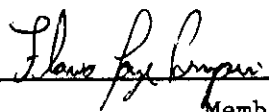
Dr. Roberto Pereira da Cunha


Orientador/Presidente


Dr. Gerald Jean Francis Banon


Membro da Banca

Dr. Flávio Jorge Ponzoni


Membro da Banca

Dr. Valdir Francisco Veronese


Membro da Banca
- Convidado -

Candidato: Luís Geraldo Ferreira

São José dos Campos, 10 de março de 1994

Aos meus filhos Rodrigo e Juninho,
agradeço por existirem

À minha esposa Nadir,
agradeço pela compreensão

À minha mãe e ao meu falecido pai
agradeço por minha formação

AGRADECIMENTOS

A todos que de forma direta ou indireta contribuíram com este trabalho. E em especial ao Dr. Roberto Pereira da Cunha o qual com visão empreendedora na orientação, tornou este trabalho possível. Ao Dr Flávio Ponzone, com quem pude muitas vezes trocar idéias, as quais enriqueceram esta dissertação. Ao Eng. Paulo Roberto Martins Serra gerente do Centro Espacial de Cachoeira Paulista, pelo incentivo.

Aos Eng^{os} Sérgio Pereira, Miguel Dragomir Zanic Cuellar e Luiz Augusto Sorrenti, que contribuíram através de inúmeras e frutíferas discussões, apoio técnico e revisão do material. À Soraya Porto Rigo Lima, pelos excelentes desenhos. À Sônia Cristina Cavalheiro Gomes, pelo suporte na edição. Às bibliotecárias Eunice de Fátima Nogueira e Deicy Farabello pelo apoio substancial na biblioteca. Aos amigos Antônio Cláudio de Oliveira, Nelson Fernando Mendez Correa, Leopoldo M. Parada, Rosana Tereza de Castilho e Rosângela de Andrade Guedes, pela disposição e interesse em colaborar.

Agradeço a todos da Divisão de Geração de Imagem do INPE, nas pessoas do Eng^o José Borges Escada Jr., chefe desta Divisão, Vanderlim Araújo Bastos, chefe do Laboratório Fotográfico, Maristela Pereira de Amorim, chefe do Controle de Qualidade, pois acho que este trabalho é um pouco de cada um de vocês. E finalmente, à minha esposa Nadir, pelo apoio e compreensão, a renúncia de muitos finais de semana juntos, e aos meus filhos Juninho e Rodrigo, pelo amor e felicidade do convívio. O amor de vocês me impulsionou.

Obrigado

RESUMO

Este trabalho contém um estudo direcionado à qualidade do produto fotográfico orbital no que diz respeito às interferências do processamento fotográfico nos valores radiométricos registrados no produto final. Foi feita uma avaliação do fluxo de produção fotográfico de imagem Landsat TM do INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), e discutido o processo por etapas de produção. Foram feitas comparações de procedimentos e parâmetros de controle de qualidade com os principais centros de distribuição Landsat do mundo. Foram discutidas as condições de processamento, através de avaliação densitométrica e do levantamento da Função de Transferência de Modulação. Foi proposta nova curva de produção no "master" do fotográfico e a reavaliação dos parâmetros densitométricos para o produto de transparência preto e branco. Também foi sugerido material fotográfico para gerar imagens em papel adequando melhor à condição de retenção de informações no produto.

**THE PHOTOGRAPHIC SYSTEM GLOBAL EVALUATION FOR GENERATION OF
INPE TM LANDSAT IMAGE**

ABSTRACT

This paper includes a study turned to the quality of the orbital photographic product related to interferences of the photographic processing on radiometric value recorded on the final product. The proposal was to perform the following items: to evaluate the photographic Landsat image production flow of INPE (Brazilian Institute for Space Research); to discuss the whole production process stage by stage; to compare proceedings and quality control parameter of the most significant Landsat data distribution centers of the world; to discuss the processing conditions by means of densitometric evaluations and measurements of Modulation Transfer Function (MTF); to recommend a new production on densitometric curve of the photographic master and a new evaluation of the densitometric parameters for monitoring the Black and White Film Transparency product; to recommend photographic materials and supplies to form images on photographic papers aiming better records of information and details.

SUMÁRIO

	<u>pág.</u>
LISTA DE FIGURAS	xvii
LISTA DE TABELAS	xix
CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO	1
CAPÍTULO 2 - CONSIDERAÇÕES GERAIS	5
2.1 - FLUXO GERAL DOS DADOS	5
2.1.1 - Recepção e Gravação dos Dados	7
2.1.2 - Processamento dos dados	7
2.1.2.1 - Correção Geométrica	8
2.1.2.2 - Correção Radiométrica	10
2.1.2.3 - Tratamentos Especiais	11
2.2 - PRINCIPAIS CAUSAS DE PROBLEMAS EM IMAGENS	
ORBITAIS.....	12
2.2.1 - Satélite.....	12
2.2.2 - Recepção/Gravação.....	13
2.2.3 - Processamento Eletrônico	13
2.2.4 - Processamento Fotográfico	13
2.3 - VARIÁVEIS ASSOCIADAS AO PROCESSAMENTO	
FOTOGRAFICO.....	14
2.3.1 - Processo de Revelação	14
2.3.2 - Definição de Características Fotográfica	17
2.3.3 - Estágios de Controle de Qualidade	25
2.4 - SENSITOMETRIA E DENSITOMETRIA	27
2.4.1 - Importância da Exposição em Relação	
à Revelação.....	28
2.5 - FUNÇÃO DE TRANSFERÊNCIA DE MODULAÇÃO	29
2.5.1 - Dificuldades na Determinação da FTM	30
2.5.1.1 - Alguns Fatores de Interferência na Reprodução	
da Imagem.....	30
2.5.2 - Conceito de FTM (Função de Transfência de	
Modulação).....	36

CAPÍTULO 3 - METODOLOGIA	39
3.1 - TESTES DA FUNÇÃO DE TRANSFERÊNCIA DE MODULAÇÃO...	42
3.1.1 - Materiais.....	42
3.1.2 - Método.....	43
3.2 - TESTES SENSITOMÉTRICOS.....	44
3.2.1 - Materiais.....	44
3.2.2 - Método.....	44
3.3 - PARÂMETROS DE AVALIAÇÃO DE QUALIDADE DE IMAGENS ORBITAIS FOTOGRÁFICAS.....	45
3.3.1 - Densidade	46
3.3.1.1 - Densidade Máxima	46
3.3.1.2 - Densidade Mínima	47
3.3.1.3 - Faixa de Densidade (D.range)	47
3.3.1.4 - Uniformidade da Densidade	48
3.3.1.5 - Linearidade da Escala de Cinza	48
3.3.2 - Foco	49
3.3.3 - Microbandeamento - "Microbanding"	49
3.3.4 - FTM - Função de Transferência de Modulação	49
3.3.5 - Tamanho da Imagem	50
3.3.6 - Poder de Resolução	50
3.4 - PARÂMETROS E CRITÉRIOS PARA CONTROLE DE QUALIDADE ADOTADOS EM PRODUTOS LANDSAT TM EM DIVERSOS PAÍSES	51
CAPÍTULO 4 - AVALIAÇÃO GLOBAL DO SISTEMA FOTOGRÁFICO PARA GERAÇÃO DE IMAGENS ORBITAIS.....	55
4.1 - 1ª ETAPA DE PRODUÇÃO - MASTER FOTOGRÁFICO.....	56
4.1.1 - Avaliação da Curva de Produção.....	56
4.1.1.1 - Importância da Curva de Produção.....	56
4.1.1.2 - Gamma Digital de Produção no INPE.....	58
4.1.2 - Avaliação Comparativa com outros Países.....	63
4.1.2.1 - Intervalo de Nível de Cinza Aproveitado.....	63
4.1.2.2 - Linearidade da Escala de Cinza.....	65
4.1.2.3 - Gammas Digitais Disponíveis	69
4.1.2.4 - Tamanho do Pixel - Ampliação e Cópia por Contato.....	70

4.1.2.5 - Contraste e Densidade Ótica.....	72
4.2 - 2ª ETAPA DE PRODUÇÃO - ETAPA INTERMEDIÁRIA.....	73
4.2.1 - Fluxo de Produção Transparência Preto e Branco.	74
4.2.1.1 - Comportamento Sensitométrico da Curva de Produção.....	76
4.2.1.2 - Avaliação Comparativa com outros Países.....	78
4.2.1.3 - Grau de Subjetividade na Avaliação da Qualidade da 2ª e 3ª Geração	81
4.2.1.4 - Alternativas para Produção em Duas Etapas e suas Conseqüenciais Operacionais	82
4.2.1.5 - Função de Transferência de Modulação (FTM) do Fluxo de Produção de Transparência de Positiva Preto e Branco	85
4.3 - 3ª ETAPA DE PRODUÇÃO - PRODUTO FINAL.....	87
4.3.1 - Densitometria e FTM do Fluxo de Produção - Transparência P/B.....	89
4.3.1.1 - Considerando a Variação de Exposição.....	96
4.3.1.2 - Considerando a Variação no Tempo de Revelação.....	99
CAPÍTULO 5 - CONCLUSÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES.....	100
5.1 - CONCLUSÕES - 1ª ETAPA DE PRODUÇÃO.....	100
5.2 - CONCLUSÕES - 2ª ETAPA DE PRODUÇÃO.....	103
5.3 - CONCLUSÕES - 3ª ETAPA DE PRODUÇÃO.....	105
5.4 - SUGESTÕES E RECOMENDAÇÕES.....	109
 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	 113

LISTA DE FIGURAS

	<u>pág.</u>
2.1 - Fluxo do Sinal Landsat TM.....	6
2.2 - Curva Característica.....	22
2.3 - Diagrama Ilustrativo da Dispersão da Luz pelos Grãos de Haletos de Prata.....	31
2.4 - Efeitos Adjacentes na Revelação.....	33
2.5 - Influência do Valor da Densidade na FTM	34
2.6 - Influência das Condições do Processamento Químico na FTM	35
2.7 - Alvo Tipo Senoidal.....	36
2.8 - Definição de Modulação.....	38
3.1 - Fluxo de Produção dos Produtos Preto e Branco no INPE.....	41
4.1 - Correlação dos Valores Digitais na 1ª Geração do Laboratório Fotográfico do INPE.....	59
4.2 - Comportamento da Curva de Produção do INPE.....	61
4.3 - Intervalo de Níveis de Cinza Aproveitado no "Master" de Produção Fotográfica	62
4.4 - Efeito da LUT na Saída de Imagem Monocromática..	64
4.5 - Curva Característica	65
4.6 - Curva Característica SO-219.....	68
4.7 - Respostas Densitométricas dos Gammas Digitais no Filme SO-219.....	69
4.8 - Comportamento da Curva de Produção em Relação ao Gamma 0.....	70
4.9 - Resolução Espacial das Imagens TM.....	72
4.10 - Alternativas Produção para Transparência Positiva Preto e Branco.....	75
4.11 - Resposta Densitométrica entre 1ª, 2ª e 3ª Geração Preto e Branco.....	77
4.12 - Comportamento Densitométrico da 1ª e 2ª Geração do Fluxo Preto e Branco	79

4.13 - FTM por Etapa de Produção Transparência Positivas Preto e Branca.....	86
4.14 - Transparência Positiva em 2 Etapas x 3 Etapas de Produção	87
4.15 - FTM do Fluxo de Produção de Transparência Preto e Branco.....	90
4.16 - Oscilação da Função de Transferência de Modulação na 1ª Geração.....	91
4.17 - Oscilação da Função de Transferência de Modulação na 2ª Geração	92
4.18 - Oscilação da Função de Transferência de Modulação na 3ª Geração.....	92
4.19 - Oscilação da Função de Transferência de Modulação Variando a Exposição na 1ª Geração.....	93
4.20 - Oscilação da Função de Transferência de Modulação Variando a Exposição na 2ª Geração	94
4.21 - Oscilação da Função de Transferência de Modulação Variando o Tempo de Revelação do Filme 2421	94
4.22 - Oscilação da Função de Transferência de Modulação Variando da Exposição na 3ª Geração	95
4.23 - Oscilação na Função de Transferência de Modulação Variando o Tempo de Revelação do Filme SO219	95
4.24 - Variação da Exposição na 3ª Geração.....	96
4.25 - Variação da Exposição na 2ª Geração.....	97
4.26 - Variação da Exposição na 1ª Geração.....	98
4.27 - Alterações no Tempo de Revelação no Processamento do Filme 2421	98
4.28 - Alteração no Tempo de Revelação no Filme SO-219..	99
5.1 - Interação Densitométrica entre as Etapas de Produção Preto e Branco.....	104
5.2 - Aumento do Intervalo de Cinza Aproveitado.....	108
5.3 - Comportamento da Curva de Produção atual em Relação a Proposta pelo Trabalho	110
5.4 - Densidade x Intervalo de Nível de Cinza	111

LISTA DE TABELAS

	<u>pág.</u>
3.1 - Produtos TM P&B: Equipamentos, Metodologia, Material Fotográfico, Processamento	52
3.2 - Especificação dos Produtos P&B Masters	53
3.3 - Especificação dos Produtos Transparências P&B ...	54
4.1 - Gammas Digitais do Laboratório Eletrônico.....	60
4.2 - Tamanho do Pixel Impresso no "Master".....	71
4.3 - Comportamento Densitométrico da 1ª Geração em Relação a Cópia por Contato P/B	80
4.4 - Padrões Densitométricos para Produção de Transparência Preto e Branco	82
5.1 - Padrão Densitométrico Proposto para 1ª Geração do Fotográfico Considerando a Resposta Linear	109

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO

Os produtos do satélite americano Landsat, principalmente os obtidos pelo sensor TM ("Thematic Mapper"), têm liderado a preferência na comunidade de usuários em relação aos produtos de novos satélites na área de sensoriamento remoto como os satélites SPOT ou o ERS-1.

Há predominância de produtos analógicos em relação aos produtos digitais no Brasil, quando se considera o número de pedidos de imagens no INPE. Hoje cerca de 70 % dos trabalhos desenvolvidos usam produtos em papel ou filme e apenas os 30% restantes usam produtos na forma digital, diferentemente de outros países como nos Estados Unidos da América, onde a relação é aproximadamente inversa, isto deve-se ter em mente ao longo deste trabalho.

A linha de produção das imagens TM-Landsat, no Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE), possui diferentes tipos de produtos analógicos: imagens em papel ou filme (positivo ou negativo), produtos coloridos ou preto e branco e imagens em diversas escalas, podendo ser imagens inteiras, quadrantes ou cenas subquadrante, em níveis diversos de correção geométrica e diferentes projeções (UTM e SOM). A linha de produção de imagens no INPE tem trabalhado apenas no modo de correção de erros de sistema a partir de informações fornecidas através do satélite pela Earth Observation Satellite Company (EOSAT). As correções dos valores radiométricos, são feita a partir de dados de pré-lançamento do Landsat para equalização e calibração dos dados dos sensores e sofrem ajustes, realces e compressões durante o processo de transformação de seus dados na forma analógica fotográficas.

Os produtos fotográficos são gerados a partir de um "master" (1ª Geração) em filme de alta resolução após correções geométricas e radiométricas, que influenciam diretamente na qualidade do produto final em filme ou papel. É importante, por exemplo, que o contraste exposto no "master" esteja ajustado às condições sensitométricas do material fotográfico. Por sua vez, o processamento fotográfico possui flexibilidades que permitem uma certa variação do produto tais como: contraste, balanço de cor, densidade etc. A qualidade e a condição de informações retidas na imagem, está relacionada a eficiência dos equipamentos, mão de obra e os parâmetros de controle de qualidade adotados. A estes parâmetros, também cabem definir o produto e mantê-lo dentro de um certo nível de reprodutibilidade, facilitando a padronização de uniformização de procedimentos de uso das imagens.

Neste trabalho constatou-se parâmetros com valores distintos de controle em cada centro mundial de distribuição Landsat pesquisado. Isto provavelmente é devido a equipamentos, materiais e o tipo de demanda de seus países.

Este trabalho buscou comparações através de valores de parâmetros recolhidos pelo Landsat Technical Working Group (LTWG) no que diz respeito a discutir o que estes representam em termos de retenção de informações no produto fotográfico. Isto resulta em principal atenção, já que se trata de material direcionado a pesquisa, onde se busca a extração de informações.

O tema deste trabalho constituiu-se de uma avaliação do sistema de geração dos produtos orbitais fotográficos do INPE, mais especificamente, a transparência preto e branco, não deixando de abordar, dentro de uma

visão global, todas as etapas de produção e de controle de qualidade na geração dos produtos fotográficos do INPE.

Este trabalho justifica-se dentro de uma perspectiva de aprimoramento do produto, área ainda não aprofundada, mas que carece de atenção dos meios acadêmicos, com estudos adequados ao aprimoramento dos produtos utilizados em pesquisas científicas. Hoje os usuários e pesquisadores pouco conhecem sobre as condições de processamento das imagens fotográficas orbitais tão utilizadas e úteis nos trabalhos de sensoriamento remoto. Acredita-se que conhecendo melhor as condições de geração do produto, certamente contribui-se para o aprimoramento das pesquisas como um resultado da adequação do produto.

O objetivo geral deste trabalho é o aprimoramento dos produtos fotográficos orbitais particularmente os gerados através dos dados dos sensores TM do satélite Landsat. E quanto ao objetivo específico é avaliar como cada etapa de processamento interfere no produto final, considerando a metodologia e os parâmetros densitométricos, comparando com outras agências que produzem imagens Landsat TM e medindo a Função de Transferência de Modulação (FTM) do sistema.

A abordagem foi empregada observando a resposta sensitométricas das curvas de produção, para cada etapa da geração de transparência positiva preto e branco, não deixando de discutir o processo de produção como um todo. O levantamento da FTM do sistema de produção da transparência preto e branco, possibilita o questionamento de alternativas, e as mudanças das variáveis de processamento fotográfico (tempo de processamento e de exposição), permitem uma avaliação do sistema quanto a flexibilidade de alterações dos valores dos parâmetros

densitométricos de controle da qualidade dos produtos analógicos orbitais.

O trabalho teve como aliado o estímulo de abrir um canal de comunicação entre as necessidades do usuário e o produto. Buscou a pesquisa acadêmica direcionada ao aprimoramento do sistema, mesmo enfrentando as dificuldades da carência de trabalhos sobre o tema. O trabalho se bastou-se principalmente na literatura de material fotográfico, sensoriamento remoto, relatórios internos do INPE e documentos das reuniões do LTWG.

Este trabalho, como pioneiro, não pretende ser infalível. Mas tem a pretensão de trilhar um novo e importante caminho, que sem dúvida contribuirá concretamente com todas as áreas de atividades que usam imagens analógicas orbitais em sensoriamento remoto.

CAPÍTULO II

CONSIDERAÇÕES GERAIS

2.1 - FLUXO GERAL DOS DADOS

Apenas dez meses após o lançamento do ERTS-1 (Earth Resources Technology Satellite - primeiro nome do Landsat-1) a estação de recepção de Cuiabá deu início às suas atividades. O local foi escolhido pela sua localização geográfica centralizada, que permite a recepção dos dados do satélite Landsat em todo território nacional, incluindo parte da América do Sul.

Diariamente são recebidos em Cuiabá e registrados em fitas magnéticas dados enviados pelos satélite Landsat durante sua passagem sobre o país. Ao longo dos anos esta estação veio sendo submetida a diversas adaptações com a finalidade de fazer frente às mudanças e aos aprimoramentos que tiveram lugar nos sensores e nos satélites da série. Hoje a mesma antena alterna a recepção do satélite Landsat-5, com o satélite SPOT-2 e ainda com ERS-1.

Em fins de 1987 os dados do sensor Multispectral Scanner (MSS) passaram a não ser mais gravados em Cuiabá, tendo em vista a redução da procura e o maior interesse da comunidade pelos dados TM.

O fluxo do sinal Landsat-TM desde sua recepção até o processamento de imagem fotográfica, está resumidamente apresentada na Figura 2.1.

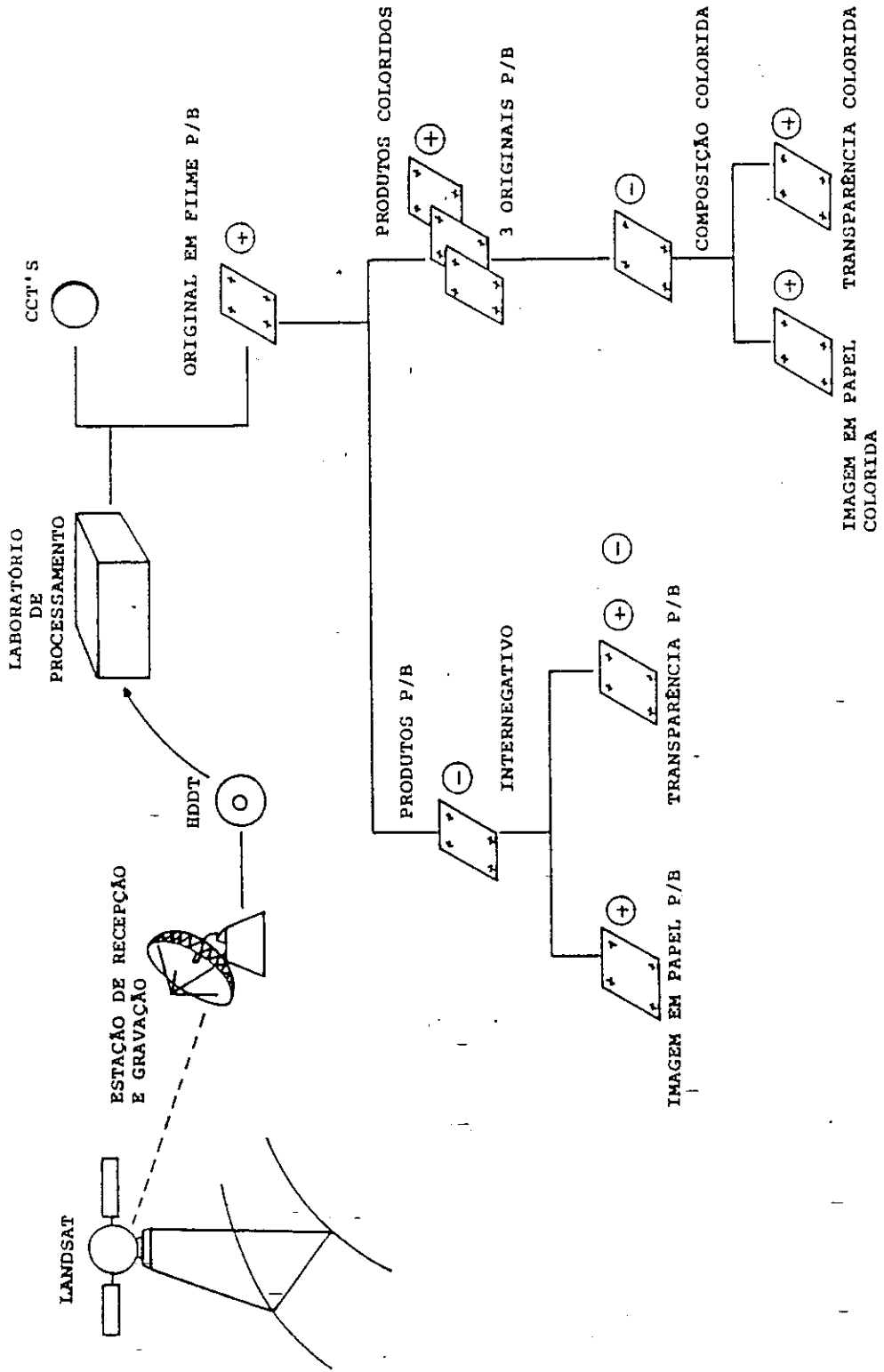


Fig. 2.1 - Fluxo de Produção Landsat TM.

2.1.1 - Recepção e Gravação dos Dados

A estação de gravação e recepção de Cuiabá, adquire dados brutos do sensor TM na passagem do satélite Landsat, e grava em fitas HDDT ("High Density Digital Magnetic Tape" - Fita Magnética de Alta Densidade). O posicionamento inicial da antena parabólica para rastreamento do satélite é feita a partir da utilização dos dados de efemérides (posição e velocidade do satélite), enviados por FAX pela National Aeronautics and Space Administration (NASA/EOSAT). A partir daí, a antena é capaz de acompanhar o satélite em sua órbita graças ao sistema de "auto-tracking" existente.

As fitas magnéticas onde são gravados os dados enviados pelos satélites são transportadas por avião até São Paulo (SP) e de lá seguem por transporte terrestre para Cachoeira Paulista (SP). Os dados contidos nestas fitas são reproduzidos e sofrem correções radiométricas e geométricas, transformando-se em imagens fotográficas ou cópias em fitas magnéticas compatíveis com computador.

Estas operações ocorrem no local chamado Laboratório Eletrônico. De especial relevância reveste-se neste laboratório, a geração do "master" Fotográfico ou Primeira Geração do Fotográfico, que tem lugar em um gravador especial de imagens a feixe eletrônico, fabricado pela IGI (Image Graphics Inc.), modelo EBR-2127, e que utiliza filme especial sensível a elétrons. Este "master" dará origem a todos os demais produtos fotográficos, tanto preto e branco, como coloridos, nas suas diversas escalas.

2.1.2 - Processamento dos Dados

Os dados brutos TM gravados em fita magnética, e enviados ao Laboratório de Processamento do

INPE em Cachoeira Paulista (SP), após decodificados, e corrigidos geométrica e radiometricamente, são utilizados para geração, do "master" fotográfico em filme de alta resolução no gravador EBR ("Electron Beam Recorder"- Gravador a feixe de elétrons).

A correção radiométrica visa equalizar a resposta dos detectores de cada banda do imageador TM, evitando a ocorrência do chamado "stripping", que se caracteriza pelo aparecimento em áreas homogêneas de faixas ou grupos de linhas de diferentes densidades na imagem, causadas pela diferença de ganho e "off-set" dos vários detectores de uma mesma banda.

As correções geométricas devem ser efetuadas de forma a eliminar tanto quanto possível as distorções introduzidas na imagem por fatores inerentes à geometria do imageamento e do posicionamento do satélite, tais como: variação da atitude (movimentos nos eixos x , y , z), variação da velocidade, variação da altitude, efeito de rotação da Terra, efeito panorâmico, bem como ajustar a imagem, a um sistema de projeção cartográfica conveniente (MACHADO e SILVA, 1984).

2.1.2.1 - Correção Geométrica

O processo de correção geométrica de imagens de sensores remotos orbitais visa modelar os efeitos provocados pelas diversas fontes de distorções geométricas associadas ao sistema. Deve-se ter em mente, que neste processo a radiometria da imagem deve ser preservada ao máximo, para não deturpar aquilo que está representado na imagem (MACHADO e SILVA, 1989).

A qualidade geométrica da imagem fotográfica orbital depende fundamentalmente do nível de sofisticação

do modelo de correção adotado e dos parâmetros à ele confiados.

A avaliação da precisão interna pode ser efetuada através do levantamento de pontos de controle, que são observáveis simultaneamente nas imagens e em cartas topográficas.

Ao longo do processamento que ocorre no laboratório fotográfico, a precisão geométrica da imagem passa também a depender da precisão de escala, e das distorções do sistema ótico dos equipamentos utilizados.

Outro fator que interfere na precisão geométrica do produto fotográfico é o próprio material fotográfico. Por exemplo, o papel fotográfico está sujeito a deformações associadas à umidade e à temperatura, inclusive durante a própria revelação e secagem, e à própria estabilidade dimensional do material.

No INPE a correção geométrica das imagens TM não leva em conta o processo fotográfico, e é feita apenas para compensação, tanto quanto possível, dos erros de sistema. Para isso leva-se em conta o modelo de correção apropriado, os dados de efemérides, os dados de atitude e os parâmetros do satélite. Os dados de atitude são extraídos do fluxo de dados PCD ("Payload Correction Data" - Dados de Correção da Carga Útil), que alimentam um modelo de correção por cena (correção sistemática completa).

De acordo com os diferentes níveis de processamento, os seguintes parâmetros são levados em conta no modelo de correção geométrica adotado:

- 1) efemérides do satélite (posição e velocidade no tempo);

- 2) dados de atitude do satélite (posição de acordo com os eixos x, y, z);
- 3) "off-set" associado a banda (canal espectral);
- 4) velocidade do espelho;
- 5) frequência de amostragem de cada detector;
- 6) posição dos detectores;
- 7) parâmetros do corretor de linha de imageamento (varredura);
- 8) projeção (UTM ou SOM);
- 9) movimento de rotação da terra;
- 10) efeito panorâmico do imageamento e curvatura da terra.

2.1.2.2 - Correção Radiométrica

As correções radiométricas visam equalizar e calibrar a resposta dos detectores de cada canal espectral (banda) do imageador. Estas são aplicadas aos dados originais em forma de "look up table" (LUT). Estas LUTs são derivadas para cada um dos detectores de cada banda do sensor TM, a partir da utilização de valores de pré-lançamento de ganho e "off-set", fornecida pela EOSAT, que controla o satélite Landsat. Estas correções calibram os dados em relação à fonte de referência luminosa, e permite ainda a remoção ou minimização da estrutura de linhas, devido as diferenças de sensibilidade dos detectores. Em seguida, antes da transferência das imagens para o EBR, um programa seleciona a melhor condição através de um histograma, permitindo uma verificação do resultado no vídeo, caso haja interferência de áreas, como nuvens e água, no calculo do histograma, o operador terá a alternativa de correção manual de ganho e "off-set" para melhorar a qualidade da imagem. Somente após a avaliação individual de cada imagem pelo operador serem transferidos os dados para o gravador de imagem EBR.

As principais correções que são aplicadas aos dados originais são:

- 1) equalização: para evitar o efeito "stripping";
- 2) calibração: os dados originais lidos a partir das fitas HDDT são calibrados para alcançarem uma relação fixa entre os números digitais e a radiação incidente. Esta calibração é realizada através do uso de uma tabela ("look up table") derivada de dados de pré-lançamento e de dados de calibração interna;
- 3) histograma: o programa considera uma faixa de 160 níveis digitais mais significativos, para melhor se acomodar as condições do material fotográfico. O programa descosidera uma faixa de 3% em cada lado do histograma

2.1.2.3 - Tratamentos Especiais

Os seguintes tratamentos podem também ser aplicados as imagens se solicitados:

- 1) remoção de névoa: a faixa numérica digital referente aos níveis de brilho tipicamente associados a bruma atmosférica é removida da imagem;
- 2) ajuste de contraste: efetuado através da aplicação de um ganho (multiplicação de todos os níveis digitais por um fator pré-determinado) e de um "off-set" (soma ou subtração de um fator determinado aos números digitais). Este tratamento faz com que sejam realçados determinados detalhes da imagem, facilitando a percepção visual de alvos de interesse. Este processo é feito automaticamente para todas as imagens geradas em filme, considerando seu histograma

e as condições de latitude do material fotográfico utilizado;

3) realce de borda: é realizado através da convolução dos dados de imagem com uma "máscara digital". Neste processo, cada elemento de imagem (pixel) é computado e avaliado comparativamente em relação a seus "vizinhos mais próximos", dentro de uma determinada área de imagem. O resultado final é uma imagem com ênfases nas altas frequências espaciais;

4) outros tratamentos especiais podem ser aplicados aos dados de imagem, tais como: realce não linear, equalização de histograma, etc.

2.2 - PRINCIPAIS CAUSAS DE PROBLEMAS EM IMAGENS ORBITAIS

As causas que interferem na qualidade dos produtos fotográficos orbitais, podem estar relacionadas com o satélite (detectores, controle de atitude, instrumento); com os equipamentos de recepção e processamento, com o processamento eletrônico em si (tratamento dos dados) e com o processamento fotográfico.

2.2.1 - Satélite

Durante a gravação de uma cena o satélite sofre alterações dinâmicas de atitude ("roll"-rolamento, "pitch"-arfagem e "yaw"-guinada), de altitude e de velocidade. Estas variações dinâmicas, juntamente com a rotação e esfericidade da Terra, são responsáveis pelas distorções internas como: arraste da imagem durante uma varredura; não linearidade do movimento do espelho; variação do tempo útil de varredura, com a conseqüente variação no comprimento, em pixels, da varredura (MACHADO e SILVA, 1989), estas distorções durante o processamento

eletrônico deverão ser corrigidas ou amenizadas através de modelos de correção geométrica. Em certos casos estas variações excedem os níveis esperados pelo modelo e podem produzir alterações severas na qualidade geométrica e mesmo radiométrica da imagem.

2.2.2 - Recepção/Gravação

A recepção e a gravação dos dados estão sujeitos a interferências e a problemas nos equipamentos ou na fita de gravação que podem resultar na ocorrência de ruídos irrecuperáveis. Os problemas como "bit dropouts" (perda de bit), "bit slippage" (deslocamento de bit), ruídos e perda de varredura são considerados problemas irrecuperáveis associados, normalmente, ao estágio de recepção e gravação dos dados.

2.2.3 - Processamento Eletrônico

São problemas típicos do processamento eletrônico do "master": foco marginal na gravação da 1ª geração no EBR: falhas nas anotações, na estrutura de linhas, deslocamento do vídeo, interferência elétrica ou electromagnética, distorções radiométricas (excesso ou falta de contraste por exemplo), distorções geométricas, causadas por correções errôneas, desalinhamento ótico-mecânico, superposição de cenas, perda parcial ou total da imagem.

2.2.4 - Processamento Fotográfico

Os problemas típicos do processamento fotográfico estão ligados principalmente aos de operação, processo químico, do material fotográfico, tais como, manchas de processamento, ou do filme, riscos de

processamento ou manuseio, falha na emulsão do filme e ao controle densitométrico do produto.

2.3 - VARIÁVEIS ASSOCIADAS AO PROCESSAMENTO FOTOGRÁFICO

2.3.1 - Processo de Revelação

Para melhor entendimento dos diferentes problemas que interferem na qualidade fotográfica da imagem, serão feitas em seguida considerações técnicas sobre as variáveis mais comuns associadas ao processamento fotográfico:

Inicialmente são os seguintes passos requeridos para confecção de uma fotografia pelo processo a haleto de prata: (1) exposição do material sensível; (2) revelação do material exposto; (3) fixagem; (4) lavagem e secagem. Estas etapas básicas valem tanto para papel como para filmes fotográficos. Os filmes e papéis fotográficos possuem uma base e uma emulsão. A emulsão, assim chamada em fotografia, embora o termo não seja o mais adequado, é uma camada gelatinosa com um grande número de grãos de haletos de prata (cloreto de prata, brometo de prata, iodeto de prata ou ainda uma mistura deles). A emulsão está colocada sobre uma base apropriada, no caso de filmes fotográficos esta base é de plástico transparente como acetato de celulose ou poliéster (CARROL et al., 1980), sendo que no papel fotográfico, a emulsão está sobre a base de papel especial.

Quando o filme é exposto, à "luz" (ou elétrons no caso do "master" da 1ª Geração TM), eles afetam a estrutura básica dos haletos de prata (cada um dos grãos) existentes no interior da camada de gelatina. Quanto maior a quantidade de luz que atinge essa camada, maior o número de grãos afetados. Não são perceptíveis mudanças visíveis

no filme, necessitando-se de um agente químico (o revelador) para tornar visível a imagem latente, e ele atua transformando os haletos de prata afetados em prata metálica, que aparecerão na imagem na cor preta.

Após a revelação surge uma imagem em negativo no filme (negativo em virtude de a prata negra ter sido produzida pelas áreas claras). Mas é necessário "fixar" a imagem, isto é retirar os haletos de prata não revelados, tornando-os solúveis em água, para serem retirados na lavagem.

No processamento colorido o princípio é o mesmo, embora os processos químicos da fotografia em cores sejam bem mais complexos.

Os filmes coloridos compõem-se de três camadas de emulsão semelhantes à usada nos filmes preto e branco.

A cor é produzida por etapas distintas, sendo que a transformação da imagem latente em prata metálica, ativa os acoplantes para dar origem às cores de corantes contidos em cada uma das camadas da emulsão.

No filme reversível (positivo), quando ele é exposto, forma-se uma imagem latente nos haletos de prata das emulsões, de acordo com a cor sensível em cada camada (cada camada é sensível a um terço do espectro visível). O primeiro revelador transforma as imagens latentes em prata metálica negra. O filme então recebe uma segunda exposição (através de luz ou a produtos químicos) destinada a velar os haletos de prata não expostos. Esta segunda exposição torna-se necessária para formar uma imagem latente "invertida" da qual obtém-se um positivo. O filme é então

mergulhado em um segundo revelador, este revela os haletos de prata que acabam de ser expostos e, ao mesmo tempo, ativa os acoplantes corantes, situados no próprio filme ou revelador, formando as três cores de corantes. Por fim, o filme é branqueado, transformando a prata metálica negra em brometo de prata, sendo então fixado, para em seguida converter o brometo em um sal solúvel.

Nos filmes negativos coloridos, a revelação é uma só e não existe a segunda exposição e o revelador desempenha exatamente as mesmas funções do segundo revelador no processo reversível. Ele converte a imagem latente em prata metálica negra e, logo depois, ativa os acoplantes-corantes para dar origem às cores do corante, no estágio de negativo da revelação. Entretanto nesta etapa do processo não ocorreu nenhuma reversão e as cores são portanto, "negativas". Mais uma vez a prata é eliminada através do branqueamento, e os haletos não expostos e não-revelados são dissolvidos (como no processo de fixação de um negativo preto e branco) (BUSSELLE, 1988).

No papel, repetem-se todas essas seqüências. Forma-se corante nas camadas de emulsão, de modo absolutamente idêntico, tanto para papéis negativos ou positivos (reversível). No Brasil só é usado o papel negativo no processamento de imagens de satélite.

Pode-se considerar como variáveis do processamento fotográfico: o método adotado (preto e branco ou colorido, reversível ou negativo), tipo e concentração dos fotoquímicos, intervalo de variação da temperatura, agitação e a duração de cada etapa do processamento.

Normalmente imagens orbitais, principalmente o "master" e os produtos intermediários (por exemplo 2ª Geração), são processadas em processadoras automáticas que

permitem maior controle das variáveis, em especial da temperatura, da agitação e do tempo de processamento (velocidade), podendo-se controlar o fluxo de reposição do fotoquímicos em função da taxa de processamento. Com isto, é possível obter maior estabilidade no processamento com conseqüente melhoria da qualidade da imagem processada.

A escolha do revelador está ligada às condições de granularidade, de sensibilidade e do contraste esperado do material fotográfico, podendo-se ainda interferir (em casos específicos) na concentração e composição do mesmo na busca de um resultados final mais satisfatório, neste caso, uma vez alcançado o desempenho requerido, deve-se manter inalterada as alterações para lograr resultados repetitivos.

A agitação tem como finalidade remover da superfície da emulsão os subprodutos derivados da revelação e assim permitir que o revelado novo possa atuar sobre a parte halógena. O aumento da agitação afeta a revelação, aumentando a densidade, particularmente na altas densidades (EASTMAN KODAK, 1978).

A temperatura e o tempo de processamento são comumente as variáveis operacionais ajustáveis em um processamento automático. Alterando a temperatura ou o tempo de processamento haverá influência direta na resposta sensitométrica dos materiais fotográficos.

2.3.2 - Definição de Características Fotográficas

A qualidade de um produto fotográfico é dependente de uma série de parâmetros e de variáveis, associados ao processo ou material fotográfico e à exposição fotográfica que necessitam ser adequadamente controlados para se atingir um nível aceitável de qualidade

na saída. Não sendo adequadamente controlados, essas informações, que contidas nos dados ou nas imagens, não poderão ser satisfatoriamente recuperadas, o que caracterizará a má qualidade do produto.

Conforme já mencionado, as variáveis e parâmetros fotográficos estão intimamente ligados à emulsão (material fotográfico); ao processo fotográfico e as condições de exposição. A seguir, são descritas as variáveis e os parâmetros de maior importância:

a) CRIAÇÃO DA IMAGEM LATENTE/EXPOSIÇÃO

A imagem latente é um efeito fotográfico produzido por uma radiação absorvida por um material sensível. Na prática, este efeito fotográfico não é visível na emulsão a não ser que a exposição de luz tenha sido excessiva. A emulsão exposta, no entanto, contém uma imagem latente invisível do padrão de luz que pode ser transformado em imagem de prata visível através da ação de um agente revelador (CARROL et al., 1980). A correta exposição criará a imagem latente adequada à geração do produto final dentro da melhor resposta do material sensível. No caso de "master" no INPE, a exposição é obtida por feixe de elétrons capaz de sensibilizar rapidamente e em profundidade a emulsão fotográfica.

b) REVELAÇÃO

A revelação é o processo químico através do qual será possível tornar-se visível a imagem latente criada pela exposição. Isto ocorre a partir da transformação dos íons de prata sensibilizados em prata metálica. E só é possível porque os agentes redutores reagem com a prata exposta preferencialmente à não exposta,

reduzindo a prata exposta à prata metálica em um tempo mais curto. Ou seja o revelador é um agente redutor que diferencia a velocidade de reação proporcionalmente à quantidade de exposição necessária. Na solução do revelador existem, além do agente redutor, produtos químicos que mediam e facilitam a reação (CARROL et al., 1980). A intensidade de revelação afeta diretamente o nível de contraste e densidade da imagem.

c) VÉU QUÍMICO ("FOG")

É o efeito causado pelo processamento (a revelação) da prata não exposta. Isto ocorre quando o processo de revelação é mantido por um tempo suficientemente longo, para que todo o haleto de prata exposto, como também parte do não exposto, é convertido em prata metálica. Durante uma revelação normal, alguns grãos não expostos podem ser reduzidos ou alguns grãos de prata podem se depositar uniformemente na emulsão ou ainda podem ocorrer as duas situações (CARROL et al., 1980). Isto implica em uma densidade uniforme no material fotográfico que estará presente, mesmo nas áreas não expostas, e cujo efeito principal é reduzir o contraste do tema.

d) FIXAGEM

É a parte do processamento fotográfico pelo qual a prata não exposta e não reduzida é removida da emulsão. Ela ocorre após a revelação, interrompendo a redução e fixando a imagem através da eliminação dos haletos de prata não revelados, tornando-os solúveis em água. A fixação adequada contribuirá para a estabilidade da imagem processada, ao longo dos anos.

e) MATERIAL FOTOGRAFICO "NEGATIVO" E "POSITIVO"

Se o material fotográfico é negativo a exposição e a revelação descritos produzem uma imagem "negativa", ou seja, os níveis de luz e sombras estão invertidos na imagem. Isto ocorre devido ao próprio processo a haletos de prata que forma a prata metálica negra diretamente proporcional à quantidade de luz recebida. Se o material fotográfico (filmes e papéis) for "positivo" as imagens serão reveladas diretamente para o positivo, isto é, os níveis de luz e sombra serão preservados. Isto devido a alterações na emulsão e no processamento químico, que tornam a primeira reação uma ativadora de uma segunda reação de redução.

No caso do "master" (1ª Geração), deve-se salientar que o material fotográfico é negativo, a imagem que será convertida em exposição eletrônica é uma imagem também negativa, portanto concluído o processamento fotográfico a imagem final será positiva. Esta escolha permite que a 2ª Geração de trabalho seja negativa e portanto já diretamente utilizável na geração dos produtos de saída (3ª Geração), e com a vantagem de preservar a integridade do "master" (1ª Geração) contra possíveis danos físicos causados por excesso de manuseio na operação.

f) DENSIDADE ÓTICA

É o efeito fotográfico provocado no material sensível à luz após a revelação. A densidade pode ser avaliada diretamente pela transmitância ou pela opacidade. A fórmula da transmitância é definida pela razão I_t/I_0 , onde I_t é a intensidade de transmitância da luz e I_0 a luz incidente. Assim, a transmitância é uma fração da luz incidente transmitida pelo material. Opacidade é o inverso da transmitância, isto é I_0/I_t . Para efeito de avaliação da

revelação é usado o logarítmo da opacidade que é chamado de Densidade Ótica, Densidade Fotográfica ou simplesmente Densidade. A escolha da densidade correta do alvo é função do contraste que se deseja e do tipo de resposta do material sensível.

g) CURVA CARACTERÍSTICA

A curva característica, também chamada Curva Sensitométrica, consiste na representação gráfica da forma de resposta com que as densidades do filme reagem em função da exposição e do processamento. A forma desta curva varia de acordo com o tipo ou natureza da emulsão.

Mantendo-se constante a intensidade, o tipo e a temperatura da fonte de luz sobre determinada emulsão, o efeito fotográfico (densidade) cresce com o aumento do tempo de exposição; mantendo-se constante o tempo de exposição e ao tipo e temperatura da fonte de luz, o efeito fotográfico (densidade) aumenta com a intensidade de luz.

A exposição fotográfica é definida como:
 $\text{Exposição (E)} = \text{intensidade (I)} \times \text{tempo (t)}$, podendo-se alterar a exposição tanto variando a intensidade quanto o tempo de exposição.

A Curva Característica de uma emulsão fotográfica mostra que, dentro de certos limites, a densidade varia linearmente com o logarítmo da exposição e que existem regiões de alta não linearidade.

A curva pode ser obtida através da plotagem de valores de densidade obtidos a partir dos valores do logarítmo da exposição utilizados. Esta curva se divide em quatro partes: (I) pé da curva, (II) parte reta da curva, (III) ombro da curva, e a região de solarização (IV).

O pé da curva é região de sub-exposição, que se inicia com o chamado o nível de véu (FOG) e com o registro dos mais baixos níveis de exposição do material fotográfico. É uma região altamente não linear. A parte reta é a região onde ocorre uma resposta aproximadamente linear entre a densidade e o $\log E$. É a região de maior contraste. O ombro da curva é a região de resposta não linear correspondente à super-exposição, onde a imagem já existe perda significativa de contraste. Na região de solarização o aumento da exposição resulta em decréscimo ou estabilidade da densidade. A qualidade de reprodução dos alvos de interesse na imagem será tanto melhor ou fiel quanto mais as densidades respectivas estiverem localizadas na região linear da Curva Característica.

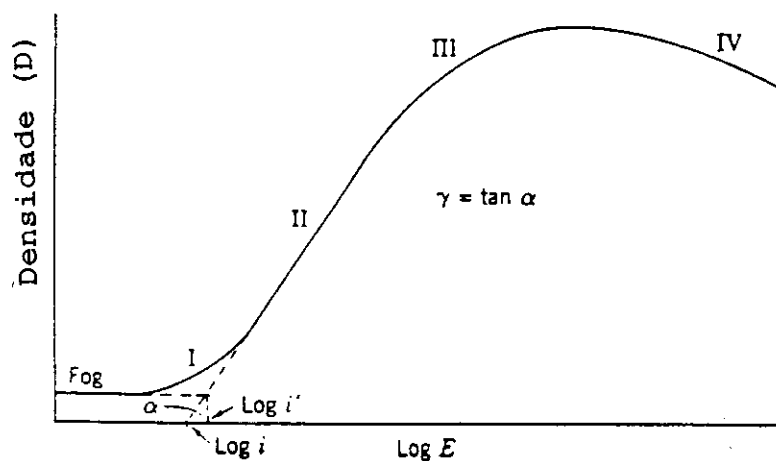


Fig. 2.2 - Curva Característica.

FONTE: CARROL et.al.(1980), p.4

É importante salientar que Curva Característica de uma determinada emulsão ou filme representa a resposta a energia luminosa total que atinge o filme e esta é o resultado do produto da intensidade e do tempo de exposição.

h) GAMA FOTOGRÁFICO

Gama Fotográfico é a medida da inclinação da região linear da curva característica.

Na região reta da curva característica, onde a mudança na densidade é proporcional à mudança logarítmica da exposição, a densidade é dada pela relação $D = \gamma (\log E - \log i)$, onde $\log i$ é o valor do logaritmo da exposição referente ao ponto onde o prolongamento da parte reta da curva característica corta o eixo de exposição, sendo $\log E$ a variável independente que representa o próprio eixo de exposição dentro da área linear, e gama (γ) é o fator de proporcionalidade, isto é, a inclinação da reta (Figura 2.2). Numericamente o valor de gama (γ) é igual a tangente do ângulo de inclinação alfa (\mathcal{L}) (Figura 2.2).

O Gama de uma curva é uma indicação do contraste típico do filme e é dependente tanto da natureza da emulsão quanto do grau de revelação a que ele foi submetido. Analisando-se várias curvas características obtidas em diferentes tempos de revelação, pode-se obter informações muito úteis com respeito ao tempo ótimo de revelação para determinada emulsão. Ressalta-se neste ponto que para o caso da emulsão utilizada no "master" (1ª Geração TM), pelo fato desta ser submetida a uma exposição a elétrons e portanto com alta capacidade de energia de sensibilização, o contraste decorrente é aproximadamente constante, independente do tempo de revelação.

i) GRADIENTE FOTOGRÁFICO

É a generalização da definição do gama fotográfico ($\gamma = \text{tang } \mathcal{L}$). O gradiente é definido como:

$$G = \frac{dD}{d \log E}$$

onde, G é o gradiente em qualquer ponto ao longo da curva. O gradiente fotográfico máximo é igual ao gama fotográfico (JAMES, 1977)

j) SENSIBILIDADE (VELOCIDADE)

A sensibilidade é expressa em termos da energia incidente necessária para produzir um resultado fotográfico (THOMAS, 1973). Este efeito fotográfico sensitométrico na emulsão é produzido em função da granularidade da emulsão. Quanto menor os grãos, menos sensíveis tenderão a ser. Assim, para ser capaz de registrar uma imagem com pouca luz, a emulsão deve ter grãos de tamanho grande, implicando em perdas de detalhes (BUSSELLE, 1977). A velocidade do filme representa um método para se calcular sua sensibilidade à luz: quanto mais rápido, mais sensível.

Os valores de velocidade de filmes oferecem um meio para comparar as sensibilidades relativas de diferentes filmes. Filmes ditos "mais rápidos" são mais sensíveis à luz. Conhecendo-se a velocidade de um filme, pode-se estimar com melhor precisão a exposição requerida para obter-se um determinado efeito desejado.

k) GRANULAÇÃO E GRANULARIDADE

Granulação é a impressão visual não uniforme na imagem provocada pela estrutura granular das partículas de prata na emulsão.

Além da granulação inerente a própria emulsão do filme existem outros fatores como o tipo de revelador, a exposição ou por exemplo, uma super-revelação, que farão aumentar a granulação. A granulação é de avaliação subjetiva.

A granularidade é a medida objetiva que corresponde a aparente subjetividade da granulação. É dada em valores de RMS ("Root-Mean-Square"). (EASTMAN KODAK, 1972)

l) CONTRASTE

Diferença entre altas luzes (regiões claras) e sombras. A razão da reflectância entre as áreas de altas luzes e de sombras de uma impressão fotográfica determina o contraste da impressão. O contraste em um negativo é determinado pela razão de densidades das partes comparadas.

m) LATITUDE DE EXPOSIÇÃO

Tolerância do material fotográfico para fazer um registro satisfatório mesmo que a exposição não seja exatamente certa (BUSSALLE, 1988).

2.3.3 - Estágios de Controle de Qualidade

A qualidade final de um produto depende principalmente da qualidade da matéria prima usada, da metodologia de produção adotada, da eficiência do

maquinário e da mão-de-obra. Em diferentes laboratórios de geração de imagens Landsat estabelecem-se diferentes padrões de qualidade considerando as peculiaridades da demanda em seus países.

A escolha do material fotográfico segue o critério das necessidades do produto, sua disposição no mercado e dos equipamentos escolhidos.

Filmes e papéis fotográficos possuem características distintas, tais como: poder de resolução, latitude de exposição, tipo de base, sensibilidade, granularidade, espessura, formato e tamanho encontrados, que deverão ser analisada considerando o tipo de utilização do produto.

Considerações sobre exposição (tempo x intensidade de luz) e o processamento fotográfico (duração, fotoquímico, etc.) darão flexibilidade às alterações de parâmetros como por exemplo contraste e densidade da imagem, o que definirão produtos diferenciados que poderão atender a critérios de utilização.

A qualidade final do produto fotográfico dependerá do fluxo (número de etapas fotográficas, equipamentos de exposição, etc.), de como este sistema é avaliado e de sua reprodutibilidade.

O estado adequado dos fotoquímicos é importante e deverá ser conferido após o preparo e durante a sua utilização. O processamento químico em processadora deverá ser submetido a testes de atividade química através de controle sensitométrico/densitométrico com o uso de tira de controle com exposição controlada.

2.4 - SENSITOMETRIA E DENSITOMETRIA

A palavra sensitometria significa a "medida da sensibilidade". Mas comumente, se refere as medidas da sensibilidade em material fotográfico por radiação. Cada resposta de dado material fotográfico pode variar dependendo da natureza da radiação e as circunstâncias do teste.

A sensitometria é usada para conferência e análise de controle de variáveis do processo fotográfico, tais como: velocidade (sensibilidade) do filme e do papel, características da falha de reciprocidade, contrastes, efeitos devido a variação do tempo, da temperatura, e da agitação no processamento e as características inerentes de emulsões diferentes; com o completo uso da sensitometria, é possível estabilizar e manter o controle do processo fotográfico; a sensitometria é também usada na especificação das processadoras, dos filmes e dos fotoquímicos. O grau da extensão no uso da sensitometria vai depender fundamentalmente a que se destina o laboratório e ao grau necessário de qualidade de seu produto.

A avaliação densitométrica é uma parte da sensitometria. A densitometria, como técnica, é considerada um ramo da sensitometria que se envolve com medidas de densidades fotográficas (USA Department of Force, 1985).

Neste trabalho, três fatores foram considerados nos testes sensitométricos: controle da exposição, do processamento e da medida da densidade ótica. Os testes visaram avaliar o fluxo de produção e foram realizados com os fatores controlados, dentro das condições normais de processamento.

2.4.1 - Importância da Exposição em Relação à Revelação

Todas as emulsões fotográficas são sujeitas a um efeito conhecido como **falha da lei de reciprocidade**. A sensibilidade efetiva de uma emulsão varia com a intensidade da iluminação e com o tempo de exposição. Cada emulsão tem seu ponto de resposta máximo sob uma intensidade de iluminação em particular. A resposta à exposição diminui fora deste ponto, tanto além, quanto aquém, tornando necessária uma exposição extra para obter a densidade e o contraste normal (EASTMAN KODAK, 1978).

a - AUMENTO DO TEMPO

Se a exposição normal calculada para certas situações exigir tempos prolongados com níveis de iluminação muito baixos, os negativos ficarão fracos e perderão detalhes de sombra. Se para corrigir esta deficiência aumenta-se ainda mais o tempo de exposição, a densidade das áreas de altas luzes ficarão desproporcionalmente maiores que nas sombras, resultando num aumento no contraste. Isto ocorre porque o efeito da falha da lei de reciprocidade é mais intenso em áreas da cena onde a iluminação é relativamente menor. Isto pode ser compensado com uma redução na revelação. Resumindo, para se corrigir o efeito de reciprocidade com baixa intensidade, aumenta-se a exposição e reduz-se a revelação (EASTMAN KODAK F-5, 1978).

b - AUMENTO DA INTENSIDADE DA ILUMINAÇÃO

No caso de efeito de reciprocidade com alta intensidade de iluminação, ocorre um resultado fotográfico diferente. Se um filme for exposto por um tempo demasiadamente curto, por exemplo 1/1000 de segundo ou menos, observar-se-á uma perda de densidade nas altas luzes

e talvez nos meios tons. Esta perda é característica do efeito de alta intensidade de iluminação. Geralmente, basta um ligeiro aumento na exposição para sanar esta dificuldade, quando se usa tempos curtos. Um aumento na revelação também será conveniente. Para corrigir o efeito da reciprocidade com alta intensidade de luz, aumenta-se a exposição e a revelação (EASTMAN KODAK, 1978).

O tempo de processamento, o tipo de revelador e sua concentração, são fundamentais na resposta densitométrica e na qualidade do produto final. O revelador interfere tanto na resposta sensitométrica do material fotográfico como também na granulação.

2.5 - FUNÇÃO DE TRANSFERÊNCIA DE MODULAÇÃO

O propósito do sistema fotográfico é registrar uma distribuição da luminância e diferentes luminâncias em uma cena com uma distribuição de densidade e diferentes densidades em uma imagem fotográfica (CARROL et al., 1980).

As propriedades básicas do sistema fotográfico pode ser descrita em termos de sinal, de ruído, e a razão sinal-ruído. O sinal é a distribuição espacial da densidade em uma imagem revelada, e o ruído é a variação da densidade em áreas de exposições iguais. Estas variações na densidade são associadas à estrutura granular da imagem fotográfica.

Os métodos clássicos usados para descrever as propriedades de imageamento do sistema fotográfico são: a curva característica D-Log E, onde a densidade é plotada em função do log da exposição, a FTM (Função de Transferência de Modulação), e granularidade (HIGGINS, 1971).

Para avaliação do sistema foi considerado basicamente os conceitos de utilização da curva característica, levantando as respostas densitométricas das curvas de produção, e o conceito de transferência de modulação de um sinal senoidal em diversas frequências espaciais.

Muitas técnicas desenvolvidas para os sistemas de comunicação eletrônica tem sido usadas em sistemas fotográficos onde variações de voltagem em função do tempo no sistema eletrônico, corresponde a variação de densidade em função da distância no sistema fotográfico (CARROL et. al., 1980).

O sistema fotográfico, quando considerado como um canal de comunicação, apresenta certas dificuldades devido aos chamados efeitos adjacentes (contraste diferenciado na linha limítrofe entre duas áreas) e granularidade das emulsões, dando um desempenho não linear na resposta do sistema. Há elementos não lineares entre a transmitância e a exposição, durante o processo de revelação e outros associados com as propriedades do elemento ótico do sistema. Os efeitos adjacentes são proporcionais ao contraste do objeto e ao nível de densidade.

2.5.1 - Dificuldades na Determinação da FTM

2.5.1.1 - Alguns Fatores de Interferências na Reprodução da Imagem:

A imagem fotográfica é formada por grãos e filamentos de prata metálica enegrecida, que estão distribuídos de forma irregular dentro da emulsão. Na fronteira entre uma área super exposta e outra não exposta,

podemos observar densidades irregulares. A difusão da luz é observada na Figura 2.3, que mostra um diagrama ilustrando da dispersão da luz pelos grãos de haletos de prata na emulsão.

A estrutura da imagem final na emulsão fotográfica pode também ser afetada pela interação química que ocorre durante a revelação em áreas de imagens adjacentes (JAMES, 1977).

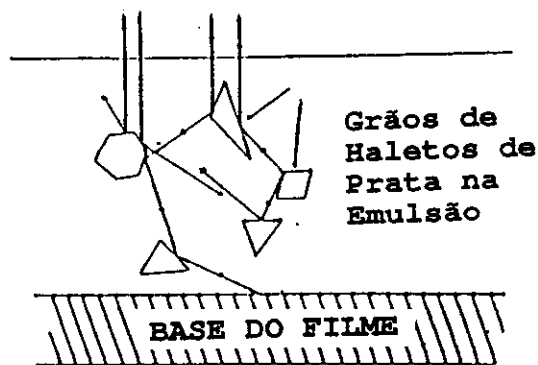


Fig. 2.3 - Diagrama Ilustrativo da Dispersão da Luz pelos Grãos de Haletos de Prata.
 FONTE: NEBLETTE (1942), p.382

No sistema de produção preto e branco, a modificação do sinal durante o processamento do filme pode ser atribuída a duas ações simultâneas. Como mostra a Figura 2.4 (Efeitos Adjacentes da Revelação), o processamento após uma exposição de uma "aresta viva" (parte da emulsão é exposta a luz em confronto com uma parte não exposta), livre de degradação ótica, pode ser afetada pela concentração localizada de "revelador inibidor" (já em estágio de desgaste) por mudança localizada da concentração do revelador e pelo pH (JAMES, 1977).

Agentes de revelação oxidados podem retardar ou acelerar o processamento químico enquanto que, íons de haletos e hidrogênio (baixo pH) normalmente retardam a revelação. A difusão do revelador e reações no produto ocorrem tanto lateralmente quanto verticalmente na camada da emulsão e na solução. As interações no processo de revelação envolvem "inibições" do agente revelador, mudanças do pH, e acúmulo de produtos da reação do revelador. Estas interações são comumente descritas como efeitos adjacentes da revelação (CARROL, et. al., 1980).

Como apresentado na Figura 2.4, uma área limite entre uma alta exposição e uma baixa exposição na emulsão é produzida: (a), a reação resultante do produto da reação dos haletos de prata difundidos entre as duas áreas expostas; (b), produz sub-produtos da reação, e pode afetar a razão de revelação, e o efeito é a alteração da velocidade. O retardo da reação de revelação é mais comum na revelação. Com este retardo da reação, os grãos nas áreas fortemente expostas próximo ao limite das áreas de alta e baixa exposição revelará mais rapidamente do que os grãos iguais distantes das áreas limítrofes (c).

A qualidade da imagem pode se afetada pelo sistema ótico dos equipamentos de exposição, problemas como difração, "flare", aberrações nas lentes. Foco e registro na operação influenciam o sistema ótico na produção da imagem provocando imperfeições e distorções de informações pictoriais.

Quando processados, os padrões senoidais, formam efeitos adjacentes ao longo das bordas, devido a difusão do revelador entre as áreas de baixa e alta exposição.

O FTM resultante é muito influenciado por estes efeitos adjacentes. A influência é mais evidente em frequências muito baixas, onde as modulações podem exceder 100 %.

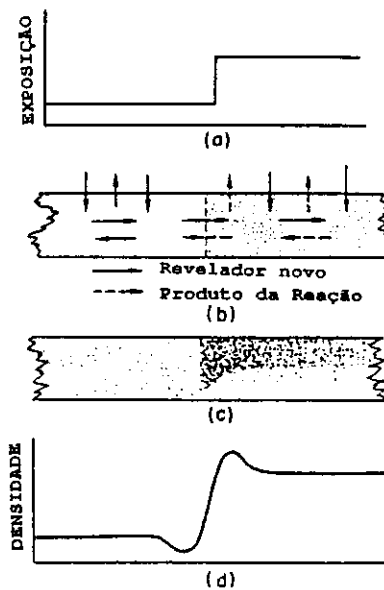


Fig. 2.4 - Efeitos Adjacentes na Revelação.
 FONTE: CARROL et. al. (1980), p.313

O cálculo da FTM devido a estas influências difíceis de serem eliminadas é chamado de FTM fotográfico, para distinguir da FTM real, (BELDER, et.al., 1972), que não inclui os efeitos adjacentes.

Os valores publicados da FTM fotográfica geralmente são aplicados para um nível de exposição normal, e eles incluem os efeitos adjacentes do processamento. Há

boa razão prática comum de incluir os efeitos adjacentes, por que em fotografia prática é esta FTM fotográfica que é efetiva, e o cascadeamento desta função é sempre uma boa aproximação da solução exata (CARROL et al., 1980). Por exemplo, de tais processo de cascadeamento nos quais o produto de valores de transferências para cada frequência são juntos multiplicados para dar a função de transferência total estão apresentados na Figura 2.5 (Influência do Valor da Densidade na FTM) e na Figura 2.6 (Influência das condições do processamento químico na FTM).

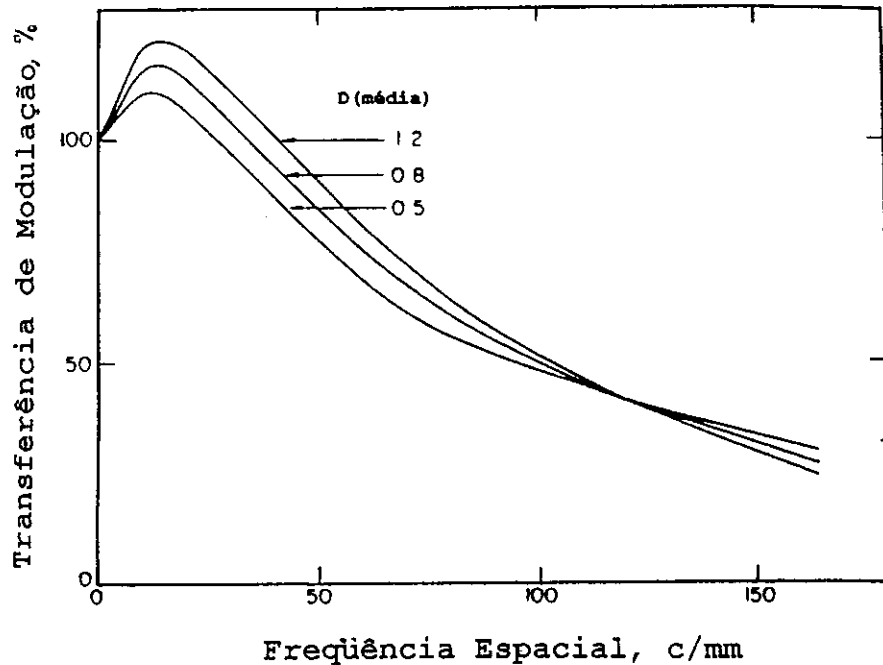


Fig. 2.5 - Influência do Valor da Densidade na FTM.
 FONTE: CARROL et. al. (1980), p. 321

Os efeitos de adjacência, podem ser diminuídos usando o revelador adequado. O revelador D-19, de grãos mais fino do que o revelador D-72, apresenta menor influência dos efeito de adjacência (Figura 2.6) (BLITZKOW, 1974). Foram feitos testes com o revelador D-19,

e o revelador Versamat 641, que é usado no INPE, e as respostas microdensiométricas foram similares.

Outro complicador no cálculo da FTM é que a transmitância normalmente medida em filme não responde linearmente com a exposição.

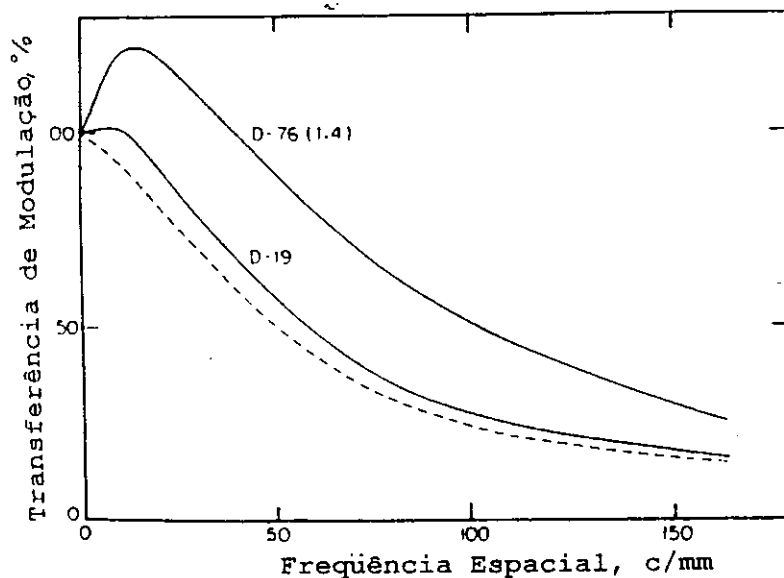


Fig. 2.6 - Influência das condições do Processamento Químico na FTM.

FONTE: CARROL et. al. (1980), p. 321

Por todas estas razões, a modulação é calculada para os valores de exposição máxima e exposição mínima, obtidas através da curva característica do filme, após a leitura das densidade máxima e mínima em microdensitômetro (BLITZKOW, 1974). A exposição assim obtida é denominada "exposição efetiva".

Finalmente, há de considerar que o FTM mencionado é somente para a imagem óptica durante a exposição, ele não leva em consideração fatores como gama, granularidade e visão humana.

2.5.2 - Conceito de FTM (Função de Transferência de Modulação)

O conceito de FTM é, de um modo geral, ignorado pelo fotometrista. Contudo, é demais conhecido o fato de que uma pequena diferença de iluminância entre dois objetos, ou duas áreas relativamente grandes no solo, é reproduzida com fidelidade na fotografia aérea. Particularmente, se for usada uma emulsão vigorosa o contraste poderá ser mais acentuado na fotografia do que no terreno. Entretanto é mais difícil de obter uma boa definição entre áreas pequenas e vizinhas, mesmo com uma iluminância bem acentuada. Neste caso as arestas tornam-se indefinidas e o contraste diminui. Este fato constitui uma ilustração simples e prática do conceito de FTM (BELDER, et al., 1972).

A determinação da FTM é obtida, fundamentalmente imageando um alvo especial cuja iluminância varie de modo senoidal, com a frequência aumentando de maneira contínua, como mostra a Figura 2.7 (BLITZKOW, 1973).

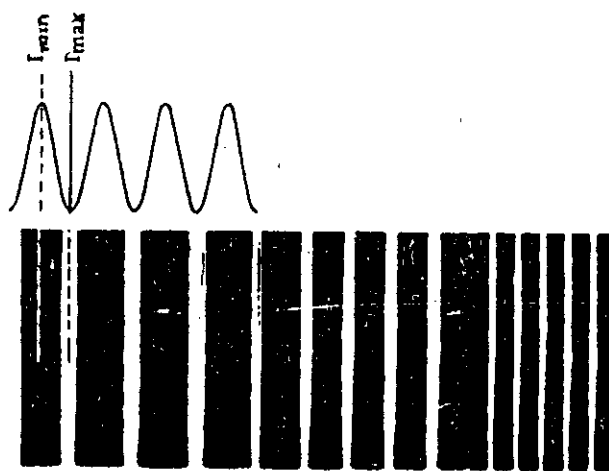


Fig. 2.7 - Alvo Tipo Senoidal.

A frequência na imagem, respeitando o fator escala, permanece invariável no filme ou no material foto-sensível. A distribuição de iluminância será modulada. A modulação da luz de entrada será dada por:

$$M = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}} = \frac{a_i}{a_o}$$

onde:

I_{\max} e I_{\min} são, as iluminâncias máxima e mínima.

A partir de medidas de iluminância da modulação de saída imagem contida no filme revelado, obtemos a modulação $\`M$:

$$\`M = \frac{\`I_{\max} - \`I_{\min}}{\`I_{\max} + \`I_{\min}} = \frac{a}{a_o}$$

A Transferência de Modulação (MT), é definida como a razão entre a modulação de entrada e a modulação de saída em cada frequência espacial (Figura 2.8 - Definição de Modulação)

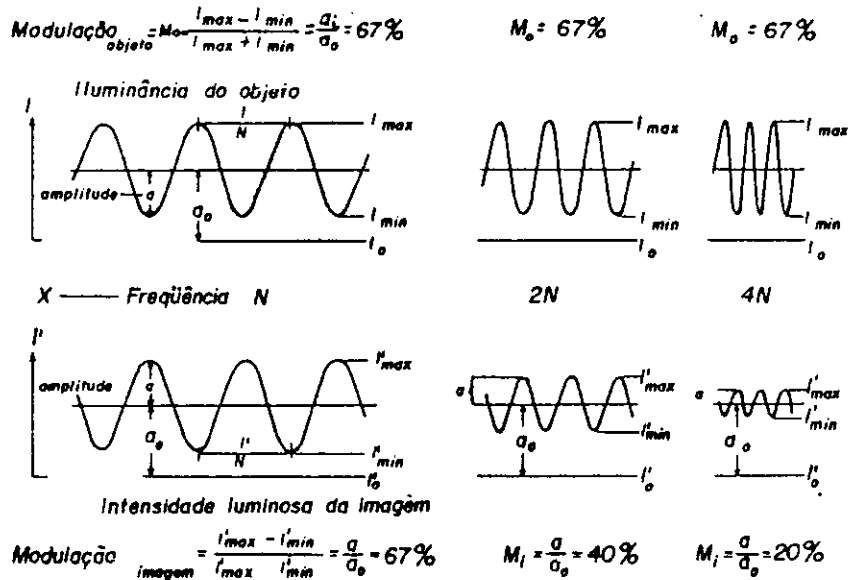
$$MT = \frac{\`M \text{ (saída)}}{M \text{ (entrada)}}$$

A plotagem da Transferência de Modulação como função da frequência espacial é chamada de Curva de Transferência de Modulação. A função contínua que define a MT é chamada a Função de Transferência de Modulação, FTM.

Existe uma importante relação entre a FTM e a Função de Espalhamento de Linha. Pode ser mostrada que cada uma é a transformada de Fourier da outra (JAMES, 1977).

A Função de Transferência Modulação usada em análise de sistema fotográfico é analiticamente uma transformada de Fourier da Linha de Espalhamento.

A FTM é normalmente medida por exposição do filme a um grupo de padrões senoidais em diversas frequências espaciais, relacionando os valores de modulação de entrada com os valores de modulação de saída em cada frequência.



$$FTM(\text{ator}) = \frac{M_i}{M_o} = \frac{67}{67} = 100\% \quad FTM(\text{ator}) = \frac{40}{67} = 60\% \quad FTM(\text{ator}) = \frac{20}{67} = 30\%$$

Fig. 2.8 - Definição de Modulação.
 FONTE: BLITZKOW (1974), p.23

CAPÍTULO III

METODOLOGIA

Os métodos usados para descrever as propriedades de imageamento do sistema fotográfico como a curva característica (curva D-Log E) e a FTM (Função de Transferência de Modulação), mostram aspectos distintos no conceito de qualidade, tendo cada um sua importância dentro de uma avaliação global do sistema fotográfico de produção. Enquanto o comportamento da curva característica pode mostrar a condição densitométrica ótima do material processado, a FTM verifica a condição de degradação do sinal em situações distintas.

Para avaliar um sistema fotográfico dando-se ênfase a verificar a qualidade de retenção de informações no produto fotográfico. Procurou-se verificar: 1) como cada etapa contribui com a qualidade do produto final; 2) foram considerados os parâmetros e os critérios recomendados pelo LTWG e pelo INPE; 3) e um estudo da FTM do sistema fotográfico que gera o produto transparência preto e branco. Foram feitos testes para avaliar as variáveis densitométricas alterando tempo de processamento fotoquímico e o tempo de exposição, obtendo as condições toleráveis em cada etapa de produção, observando a sensibilidade dos materiais fotográficos, o contraste, e os efeitos devido a falha de reciprocidade.

Nas ponderações quanto as comparações com outros centros mundiais de distribuição, foram considerados os padrões densitométricos adotados ou verificados através de coleta de dados em arquivo do INPE. Esta verificação foi feita a partir de critério por amostragem nos anos de 1990

e 1993; com leitura da escala de cinza em imagens de todas as bandas do sensor TM do satélite Landsat. As informações sobre procedimentos e padrões adotados em outros países foram conseguidas em materiais de reuniões do LTWG ou diretamente junto as organizações.

Foram consideradas também, as informações colhidas em manuais e informativos de fabricantes em relação aos equipamentos, e aos materiais fotográficos.

Para completar as Tabelas 3.1, 3.2 e 3.3 com os dados de produção do INPE, foi adotado sempre quando possível, valores relativos à condição recomendada pelo controle de qualidade ou quando não padronizados, os valores levantados através de testes, recomendados pelo LTWG, conforme descritos na seção 3.3, deste capítulo.

Os testes relacionados as medidas da Função de Transferência de Modulação foram feitos usando um alvo senoidal gerado no computador e copiado através das etapas em condições normais de produção, dando uma idéia quantitativa do valor que cada etapa de produção representa na FTM do produto final. Os testes consideraram a primeira imagem do fotográfico como referência, e medida a Transferência de Modulação conforme item 3.1. Foi alterada as condições de exposição e processamento de forma a verificar as condições possíveis de ajustes no sistema sem maiores perdas na FTM.

As conclusões levam em conta as condições sensitométricas do material fotográfico registradas dentro das condições de processamento do INPE, suas perdas quanto a FTM e os procedimentos de outros centros de distribuição Landsat no mundo. Procurando otimizar as condições de aproveitamento das informações registradas pelo satélite e transferidas para o material fotográfico.

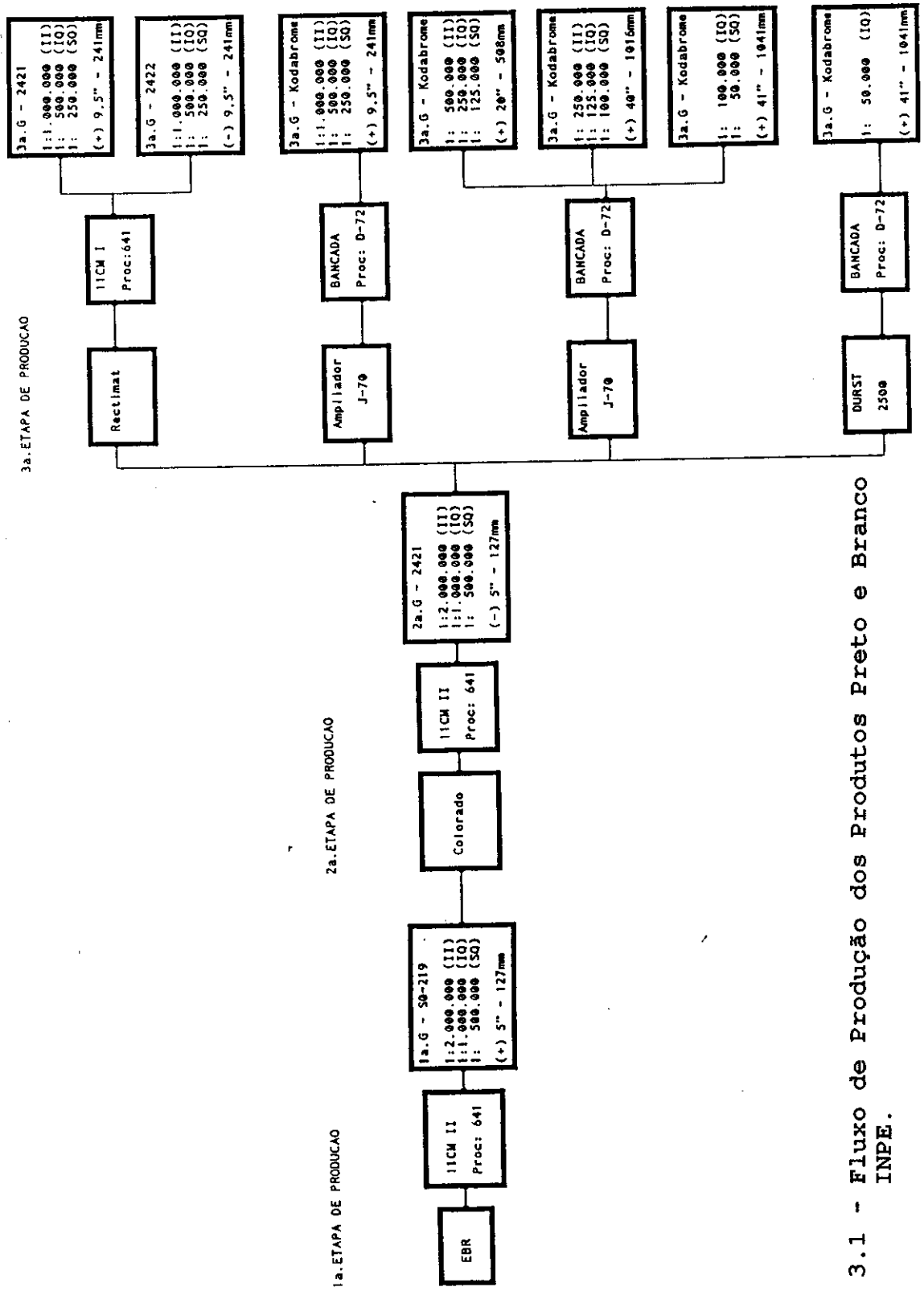


Fig. 3.1 - Fluxo de Produção dos Produtos Preto e Branco INPE.

Para realização dos testes considerou-se as condições normais de produção. Analisou-se os resultados por etapa, e os considerou no conjunto para a proposta final. A figura 3.1 mostra o fluxo de geração dos produtos preto e branco no INPE, divididos em, três etapas de produção. No fluxo os retângulos representam os diversos passos que existem na rotina, as fases de exposição e processamento, onde estão identificados: equipamento, material fotográfico, tipo de processamento fotoquímico e as principais características dos produtos intermediários e final.

3.1 - TESTES DA FUNÇÃO DE TRANSFERÊNCIA DE MODULAÇÃO

3.1.1 - Materiais

1) PADRÃO SENOIDAL

O teste foi gerado por computador contendo padrões em diferentes frequências espaciais. O alvo de modulação foi feito para a densidade máxima (nível digital original 0) e densidade mínima (nível digital original 255) presumível (LTWG, 1990), nas frequências espaciais de 4, 8, 17 e 33 ciclos por milímetro, onde a menor frequência possuía barras na condição de espessura de um pixel na imagem inteira (15 μ m), que era a condição máxima de registro em produção no EBR.

2) MICRODENSITÔMETRO

Equipamento produzido pela Joyce Loebel e CO. LTD. para registro de microdensidades em materiais transparentes como filme fotográfico.

3.1.2 - Método

Após calibração do EBR usando a calibração interna RST. Gerou-se o padrão senoidal (Teste Interno INPE.SEP, 1983) com barras com as seguintes características:

- a) 1 preta, 1 espaço, 1 preta ..., (15 μm) - 33 cy/mm
- b) 2 preta, 2 espaço, 2 preta ..., (30 μm) - 17 cy/mm
- c) 4 preta, 4 espaço, 4 preta ..., (60 μm) - 8 cy/mm
- d) 8 preta, 8 espaço, 8 preta ..., (120 μm) - 4 cy/mm

Examinou-se o padrão senoidal através da leitura por varredura, em um microdensitômetro ajustado a abertura em 1 mm e 2 μm .

Comparou-se as amplitudes através dos valores de densidades máxima e mínima, que por sua vez, são traduzidas em valores de exposição efetiva máxima (E_{max}) e mínima (E_{min}), usando-se a curva característica do filme (SEP, 1981). A razão entre a modulação de saída em relação a de entrada para uma frequência espacial particular, forneceu a Transferência de Modulação (MT).

$$\text{modulação} = E_{\text{max}} - E_{\text{min}} / E_{\text{dmax}} + E_{\text{dmin}}$$

$$\text{FTM} = [\text{modulação de entrada} / \text{modulação de saída}] \times 100\%$$

Na 1ª geração utilizou-se a condição d (E_{dmax} e E_{dmin}) do padrão para calculo relativo as demais a, b e c.

Após o cálculo referente a primeira geração as demais gerações das etapas de produção foram feitas de forma relativa a 1ª, comparando-se cada geração (em determinada frequência espacial) com a anterior dentro do fluxo de produção, e assim obteve-se a FTM.

Foi feito a opção de avaliação no eixo Y, no sentido contrário ao da varredura da exposição no "master", por ser mais crítica na 1ª geração e não se distanciar dos valores em X significativamente nas demais etapas de produção.

3.2 - TESTES SENSITOMÉTRICOS

3.2.1 - Materiais

1) ESCALA DE CINZA

Tira com diversos passos de níveis de densidade (16 níveis de cinza) que representam a condição densitométrica do produto fotográfico gerado. A escala de cinza adotada nos testes foi a gerada junto as imagens e em testes específicos gerados apenas com a escala de cinza.

2) DENSITÔMETRO DE TRANSMISSÃO

Equipamento para medir densidade ótica em filmes fotográficos.

3) EQUIPAMENTOS DO FLUXO DE PRODUÇÃO

Os testes sensitométricos foram feitos nos produtos de 1ª, 2ª e 3ª geração, dentro da condição padrão de produção do produto transparência preto e branco.

3.2.2 - Método

1) COMPORTAMENTO DENSITOMÉTRICO DAS CURVAS DE PRODUÇÃO

Levantamento junto ao arquivo da filmoteca do INPE das imagens da 1ª e 2ª geração no ano de 1990 e 1993. A coleta de dados foi feita com a leitura no densitômetro

das escalas de cinza no rodapé da imagem. A amostragem foi feita de forma aleatória de três imagens ao mês em todas as bandas espectrais.

2) VARIAÇÃO NO TEMPO DE PROCESSAMENTO FOTOQUÍMICO

Após processamento em condições normais aumentou-se e diminuiu o tempo de revelação na processadora automática variando a velocidade de processamento da mesma.

3) VARIAÇÃO DA EXPOSIÇÃO

Na 2ª e 3ª etapa a variação foi feita aumentando e diminuindo o tempo de exposição. Já na 1ª geração, devido as condições peculiares do equipamento (EBR), houve variação na intensidade dos feixes de elétrons de exposição.

3.3 - PARÂMETROS DE AVALIAÇÃO DE QUALIDADE DE IMAGENS ORBITAIS FOTOGRAFICAS

São definidos abaixo os parâmetros universais de controle de qualidade (adotados nas tabelas do idem 3.4) e seus métodos conforme orientação da LTWG (1990).

As imagens fotográficas orbitais são geradas a partir da transformação de informações digitais em exposições de energia luminosa ou eletrônica, capazes de sensibilizar um filme fotográfico. Isto é feito ponto a ponto em um elemento de resolução (que é o pixel).

O pixel possui um valor digital do qual corresponderá um nível de cinza na imagem ou um nível de densidade na curva característica.

No caso do sensor TM a representação de cada pixel na imagem se faz com 256 níveis de cinza.

Abaixo encontram-se os parâmetros universais de controles de qualidade e de métodos de avaliação para produtos fotográficos orbitais.

3.3.1 - Densidade

A densidade é o logarítmo do inverso da transmitância (para filmes) ou da refletância (para papel fotográfico).

A densidade é uma medida do grau de enegrecimento de um filme ou papel fotográfico exposto e revelado.

As medidas nos materiais preto e branco e de densidade neutra no colorido, são feitas selecionando no densitômetro o filtro tipo Wratten 106. O Densitômetro usado é calibrado usando uma escala padrão.

3.3.1.1 - Densidade Máxima

Densidade máxima (D_{max}) é a maior densidade que pode obter de um material fotográfico (SANCHEZ, 1986) em determinadas condições, independentemente do material ser negativo ou positivo.

A D_{max} corresponderá aos seguintes níveis digitais:

- 1) no "master" Positivo: nível digital original do pixel (0);
- 2) no "master" Negativo: nível digital original do pixel (255);

3) na duplicação Fotográfica: maior densidade alcançada na escala de cinza.

3.3.1.2 - Densidade Mínima

Densidade mínima (D_{min}) é a menor densidade que se pode obter em um material fotográfico após a revelação, sendo ele positivo ou negativo.

A D_{min} está associada à densidade de base e ao véu químico ("fog"). Ela é medida no 1º passo da escala de cinza que acompanha a imagem. No caso do "master" positivo a este 1º passo esta associado ao nível de pixel original 255.

A D_{min} corresponde aos seguintes níveis:

- 1) no "master" Positivo: nível digital original (255);
- 2) no "master" Negativo: nível digital original (0);
- 3) na duplicação fotográfica: menor densidade alcançada na escala de cinza.

3.3.1.3 - Faixa de Densidade (D.range)

É a diferença densitométrica entre a D_{max} e a D_{min} na escala de cinza, que corresponde a diferença densitométrica entre o nível digital 255 e o nível digital 0.

A faixa densitométrica indica a capacidade expositiva na imagem e é uma medida de seu contraste na exposição máxima e mínima de densidade que se situam na região linear da curva característica.

3.3.1.4 - Uniformidade da Densidade

A uniformidade é um parâmetro indicativo da estabilidade da densidade em áreas da imagem onde o nível de exposição seja constante. Esta variação é causada pelo próprio processamento fotográfico, por problemas de flutuação local de sensibilidade do filme, por problemas de variação da exposição do filme devido a falha de equipamento.

A uniformidade da densidade é a medida da variação da densidade dentro de um determinado nível de exposição. Toma-se o valor em média quadrática de no mínimo 9 medidas de rms cobrindo área de imagem inteira, em torno de um nível padrão de densidade situado à 0,8D (unidades de densidade) acima do D_{min} para produtos preto e branco, e 1,0D acima do D_{min} para produtos coloridos.

3.3.1.5 - Linearidade da Escala de Cinza

A relação entre a resposta densitométrica do filme no sistema de exposição fotográfico não é linear e é corrigida pela introdução de um "gamma" de correção através de uma tabela do tipo LUT - "Look up Table". O desvio entre os valores de níveis de cinza obtidos após a correção pela LUT, e os valores lineares são considerados como erro da linearidade na escala de cinza.

O método de avaliação de qualidade associada a este parâmetro consiste na determinação do quanto o processamento se mantém, próximo da linearidade. Pode ser expressa em unidades de densidade (D) ou calculando o percentual de desvio.

3.3.2 - Foco

Foco é o parâmetro relacionado com o grau de nitidez da imagem.

A verificação da nitidez da imagem (definição de traço) é feita de forma visual considerando toda a imagem. A deficiência focal pode ser provocada por alinhamento incorreto do equipamento, calibração incorreta do nível de exposição ou de intensidade do feixe eletrônico, etc.

3.3.3 - Microbandeamento - "Microbanding"

É definida como o grau de interferência que a estrutura de linha da própria imagem produz na qualidade final do produto, em termos visuais. Esta interferência se traduz por variação da densidade a nível de linhas e é resultado de limitações a nível de exposição eletrônica, em nível de calibração radiométrica, ou mesmo causada por indução eletromagnética ou mesmo instabilidade mecânica ("jitter"). Também pode ser causada por superposição de linhas.

A avaliação do microbandeamento é visual e é feita numa área de densidade de cinza uniforme.

Esta característica está relacionada principalmente às características do tipo de gravador de filme usado na geração do "master".

3.3.4 - FTM - Função de Transferência de Modulação

A FTM é uma medida relativa da degradação em amplitude das imagens senoidais em várias frequências espaciais. Fazendo-se a leitura em

microdensitômetro (o exame é feito sempre do tipo varredura), medindo as amplitudes em densidades máxima e mínima que, por sua vez, são traduzidas em valores de exposição efetiva máxima e mínima, através da curva característica do filme (SEP, 1981). A razão entre a modulação de saída em relação a de entrada para uma frequência espacial particular, fornece a Transferência de Modulação (MT). Na 1ª geração utilizou-se a frequência de 4 ciclos/mm como 100 % (IGI, s.d) e considerou-se a relação de Modulação entre as frequências espaciais. Repetindo este procedimento para outras frequências espaciais obtiveram-se as curvas da FTM.

3.3.5 - Tamanho da Imagem

O tamanho da imagem é medido entre os centros das marcas de registro, localizadas nos 4 cantos fora da imagem. A leitura é feita tanto na direção X quanto na direção Y.

Para maior precisão mede-se com o equipamentos de precisão (por exemplo: Stecometro-C) a distância entre as marcas de registro na primeira geração.

3.3.6 - Poder de Resolução

Refere-se à habilidade de uma determinada emulsão de registrar, de forma bem distinguível, detalhes mais finos das imagem. Existem padrões de barras que podem ser impressos nas emulsões e após processadas as imagens podem ser avaliadas subjetivamente, de acordo com o grau de nitidez que os padrões de barras se apresentem nas diferentes frequências espaciais.

O Poder de Resolução depende de vários fatores como: quanto maior o contraste do filme maior o

poder de resolução; emulsões de granularidade mais finas têm em geral o poder de resolução maior do que as de granularidade mais grossa; o excesso de exposição tende a diminuir o poder de resolução devido ao efeito de espalhamento da luz; etc.

3.4 - PARÂMETROS E CRITÉRIOS PARA CONTROLE DE QUALIDADE ADOTADOS EM PRODUTOS LANDSAT TM EM DIVERSOS PAÍSES

São mostrados nesta parte em forma de tabelas, parâmetros de controle de qualidade dos produtos fotográficos existentes no Canadá ("Canada Centre for Remote Sensing" CCRS-Ottawa e "Prince Albert Satellite Station" CCRS-PASS), nos Estados Unidos da América (EOSAT e EDC "EROS Data Center"), na Itália ("European Space Agency" ESA), na Arábia Saudita ("King Abdulaziz City for Science and Technology - Saudi Center for Remote Sensing" KACST-SCRS), no Japão ("National Space Development Agency" NASDA), na Suécia ("Swedish Space Cooperation" - SSC) e na Índia ("National Remote Sensing Agency"-NRSA), representando assim a grande maioria das agências que processam os produtos Landsat distribuídos no mundo (fonte: LTWG, 1990).

As tabelas 3.1, 3.2 e 3.3 foram feitas pela NRSA, através de formulários distribuídos para diversas estações de tratamento de imagens Landsat, e acrescentado pelo autor os dados do INPE, como segue:

Tabela 3.1: Produtos TM P&B: Equipamentos, Metodologia,
Material Fotográfico, Processamento.

Tabela 3.2: Especificação dos Produtos P&B "Masters"

Tabela 3.3: Especificação dos Produtos Transparências P&B

TABELA 3.1: PRODUTOS TM P&B: EQUIPAMENTOS, METODOLOGIA, MATERIAL FOTOGRÁFICO, PROCESSAMENTO.

TIPO DE PRODUTO		EDC	NASDA	ESA	CCRS-OTT	CCRS-PASS	NRSA	INPE	
1a. GERAÇÃO	Master P&B Equipamento	POSITIVO gravador GOOD Y. LBR	POSITIVO gravador LBR	POSITIVO gravador OPTRONICS /VIZIR	gravador MDA-FIRE 240	-	NEGATIVO gravador MDA-FIRE 240	POSITIVO gravador EBR	
	Material Fotográfico	FILME LL7 KODAK ESTAR TICK	KODAK 2412 4-MIL ESTAR	KODAK 2476 SD 394	AEROGR. KODAK PLUS X 2402 4-MIL ESTAR BASE	FILME LL7 KODAK 4-MIL ESTAR BASE	FILME LL7 KODAK 7-MIL ESTAR THICK	FILME S0219 KODAK 4-MIL ESTAR BASE	
	Processamento	VERSAMAT 11CM fotoquím. VERSAMAT 885 gama:0,8	VERSAMAT 11-C fotoquím. ORIENTAL FD gama:1,0	KREONITE RT fotoquím. DURAFLO	VERSAMAT 11-C fotoquím. TYPE-A gama:1,02	VERSAMAT 11 CM fotoquím. VERSAM. 885 gama: 0,9-1,0	processad. VERSAMAT fotoquím. VERSAMAT 885 gama:1,8	VERSAMAT 11 CM fotoquímico VERSAMAT 641 gama:2,0	
CÓPIA p&b por CONTATO	FILME	Equipamentos/ Metodologia	COLORADO ROLL TO ROLL - CP ou EDIPS	copiadora LOG-E SPI0/70c	cópia por contato	copiadora A-14A	-	copiadora LOG-E IV C	copiadora COLORADO ROLL TO ROLL
		Material Fotográfico	filme KODAK 4421	KODAK 2421 ESTAR BASE	filme KODAK 4421	filme KODAK 4421	-	filme KODAK 4421	filme KODAK 2421
		Processamento	VERSAMAT 11 CM fotoquím. VERSAMAT 885 gama:0,8	VERSAMAT 11-C fotoquím. ORIENTAL FD gama:1,0	KREONITE RT fotoquím. DURAFLO	VERSAMAT 11-C fotoquím. TYPE-A gama:1,02	-	processad. VERSAMAT fotoquímico VERSAMAT 885 gama:1-1,2	VERSAMAT 11 CM fotoquímico VERSAMAT 641 gama: 1,5-1,8
	PAPEL	Equipamentos/ Metodologia	COLORADO ROLL TO ROLL ou EDIPS	impress. DAINIPPON SCREEN P-604-D	contato	copiadora A-14A	-	copiadora LOG-E IV C	PRENSA A VÁCUO
		Material Fotográfico	papel POLY CONTRASTE superf.:E	papel ORIENTAL APE-M R/C	papel KODABROME R/C	papel KODABROME II R/C	papel ILFORD MULTIGRADE R/C	papel KODAK POLY-CONTR. R/C	papel KODABROME
		Processamento	fotoquím. DECTOMATIC gama:1,2 processad. HOPE B/W	fotoquím. ORIENTAL processad. VERSAMAT 11-C	fotoquím. DEKTOMAT- TIC	fotoquím.: CRISTIE V51 processad. KREONITE	fotoquím.: ILFO SPEED processad. HOPE 194	fotoquímico ILFORD 2000 processad.: HOSTERT FOTOMATA	fotoquímico REVELADOR D-72 proc.manual
AMPLIAÇÃO p&b PAPEL	Equipamentos/ Metodologia	amplificador DURST ou DEVERE	amplificador DURST 1200 ou DURST 184	amplificador DURST 2400	amplificador DEVERE	amplificador DEVERE 106 AF DICHROMATE	amplificador DURST-100, 840 ou 2500	amplificador DURST 184 ou 2500	
	Material Fotográfico	papel POLY CONTRASTE superf.:E	papel ORIENTAL APE-M R/C	papel KODABROME R/C	papel KODABROME II R/C	papel ILFORD MULTIGRADE R/C	papel KODAK POLY-CONTR. R/C	papel KODABROME	
	Processamento	fotoquím. DECTOMATIC processad. HOPE B/W	fotoquím. ORIENTAL processad. VERSAMAT 11-C	LUTH S.S. R/T	fotoquím. CRISTIE V51 processad. KREONITE	fotoquím.: ILFO SPEED 2000 processad. HOPE 194	fotoquímico ILFORD 2000 processad.: HOSTERT FOTOMATA	fotoquímico REVELADOR D-72 proc.manual	

FONTE: ADAPTADA DE LTWG (1990), p.12

TABELA 3.2: ESPECIFICAÇÃO DOS PRODUTOS P&B "MASTERS"

	SSC	EDC	CCRS-OTT	CCRS-PASS	NASDA	ESA	NRSA	INPE
D.range	1,60±0,10	2,00	1,45	1,80	1,64	1,50±0,10	1,65±0,10	1,77±0,04D
Dmax	-	2,20	1,60	2,00	1,70±0,10	1,70±0,10	-	1,80±0,10D
Dmin	0,15	0,20	0,15	0,20	0,06±0,03	0,20±0,05	0,15	0,10±0,02D
Unifor- midade da Dens	0,07 para o padrao Dmax	0,10	±0,02	±0,05	-	±0,10	0,06 em 0,8D acima B+V	±0,02D em 1,50d acima B+V
Linear- idade da Esc. Cz.	±0,10	0,10 VDU nos passos 8 e 13(*)	-	O MAIS LINEAR POSSÍVEL	±0,13	-	6% em Dmax	não é linear
Foco	-	avaliação p/precisão visual	-	avaliação visual (em 10x)	-	-	avaliação p/precisão visual	avaliação p/precisão visual
MICRO- BANDING	-	avaliação visual	2%	avaliação visual em ampliação 10x	-	-	= avaliação visual	avaliação visual
FTM %								
em Y	-	72%	70% em 10 cy/mm	70% em 10 cy/mm	-	-	70% em 16,67cy/mm	≥ 80% em 33 cy/mm
em X	-	72%	70% em 10 cy/mm	50% em 10 cy/mm	-	-	70% em 16,67cy/mm	≥ 80% em 33 cy/mm
DISTÂNCIA ENTRE OS CENTROS DAS MARCAS DE REGISTRO								
Direção X	±0,10	±0,05%	-	1,84±0,5 mm	±0,05%	-	-	±0,05%
Direção Y	-	-	-	1,73±0,5 mm	±0,05%	-	0,10%	±0,05%

(*) MÉTODO DE AVALIAÇÃO DA LINEARIDADE DA ESCALA DE CINZA NA EDC
no passo 8:

Dmax - PADRÃO 16 = X
D8 - PADRÃO 8 = Y

no passo 9:

Dmax - PADRÃO 16 = X
D13 - PADRÃO 13 = Y

Fonte: ADAPTADA DE LTWG (1990), p.15

TABELA 3.3: ESPECIFICAÇÃO DOS PRODUTOS TRANSPARÊNCIAS P&B

	SSC	EDC	CCRS-OTT	NASDA	ESA	NRSA	INPE
D.range (faixa de Dens.)	1,50±0,20	2,00	-	-	1,50±0,20	1,65±0,10	1,25±0,15D
Dmax	-	-	-	-	1,70±0,15	-	1,35±0,15D
Dmin	0,20	0,20	1,00±0,10	0,17±0,10	0,20±0,07	≤ 0,15	0,15±0,02D
Uniformidade da Densidade	≤ 0,10	≤ 0,07	-	-	≤ 0,10	≥ 0,15 em 0,8D acima B+V	±0,01 em 1,00D acima B+V
Poder de Resolução	-	≥ 72 cy/mm em 40x de ampliação	-	-	-	≥ 70 linhas/ mm	-
Dimensões	±0,10%	±0,05%	-	0,5%	-	0,05%	exato ajuste em padrão visual

FONTE: ADAPTADA DE LTWG (1990), p.17

CAPÍTULO IVAVALIAÇÃO GLOBAL DO SISTEMA FOTOGRÁFICO PARA GERAÇÃO DE
IMAGENS ORBITAIS

A visão de qualidade aqui adotada insere-se dentro de uma avaliação global do sistema fotográfico como forma direcionada às necessidades de utilização em Sensoriamento Remoto.

A qualidade da imagem em Sensoriamento Remoto está intimamente ligada ao satélite, às condições de iluminação e as características do alvo, às condições atmosféricas no horário do imageamento e do método de processamento aplicado à imagem.

No que se refere ao processamento aplicado às imagens, a qualidade das imagens em Sensoriamento Remoto depende principalmente da precisão geométrica e radiométrica inseridas no produto. Por tanto os cuidados devem ser tomados de modo que as precisões geométricas e radiométricas associadas aos dados, não degrade durante a representação em imagem fotográfica.

A qualidade final do produto dependerá ainda das características e da qualidade do material fotográfico utilizado, e da performance dos equipamentos.

Deve-se ter sob controle as especificações do material, dos processos e procedimentos de cada etapa de geração do produto.

Sendo um assunto muito vasto, não será possível discutir com profundidade todas as ramificações neste trabalho. Optou-se então pela abordagem dos aspectos

que envolvam o processo de geração e parâmetros de controle da qualidade de imagem orbital.

Na primeira parte deste capítulo será apresentada a avaliação do comportamento densitométrico da curva de produção da 1ª geração do sistema fotográfico ("master"), no aspecto de sua capacidade de abrangência na reprodução das informações transmitidas pelo satélite na imagem e seu padrão de impressão para 2ª e 3ª Geração. Na segunda parte, um estudo quanto a capacidade do sistema fotográfico em reter estas informações até o produto final. Isto foi feito por avaliação relativa de um alvo senoidal em diversas frequências espaciais. Medindo esta relação através de um microdensitômetro, quantificou-se o quanto cada etapa do fluxo de geração de transparência preto e branco interferia no produto final quanto à definição da imagem.

4.1 - 1ª ETAPA DE PRODUÇÃO - "MASTER" FOTOGRAFICO

4.1.1 - Avaliação da Curva de Produção

4.1.1.1 - Importância da Curva de Produção

Em imagem fotográfica orbital, na qual se trabalha com dados digitais convertidos em analógicos (no caso do sensor TM, por exemplo), pode-se ter condições adequadas de controle na exposição do "master", manipulando os dados antes e durante a impressão fotográfica (através de LUTs, por exemplo), por esta razão, atenção especial deve ser dada ao controle da qualidade do "master".

Pode-se definir como de boa qualidade um "master", aquele capaz de produzir uma cópia de alta qualidade de impressão, tanto por ampliadores ou cópia por

contato. Isto é, a escala de densidade do "master", obtida pela revelação, deve combinar com a escala de densidade das demais etapas do processamento e com o equipamento de impressão.

O comportamento densitométrico nas altas, baixas e médias densidades de níveis de cinza, são determinados previamente durante a impressão, mantendo sobre controle a resposta densitométrica do filme. Isto é conseguido através de uma LUT, aqui denominada Gamma Digital ou Gamma, que tem como objetivo controlar a relação com o sistema fotográfico através da exposição.

O processo fotográfico pode em grande parte ser estudado através do comportamento da curva característica do processamento do filme, que é o traçado da densidade ótica versus exposição, onde a exposição é o produto entre irradiância e o tempo em que a irradiância estava incidente na superfície da emulsão (SLATER, 1980). Nela podemos ver como a emulsão fotográfica responde à exposição e à revelação, podendo observar, de maneira relativa, a interferência dos Gammas Digitais na imagem em termos de contraste, níveis de cinza aproveitados e reprodução de tons em relação aos níveis digitais.

No entanto, aí está fundamentada a condição de influir no contraste (inclinação da curva) e nos parâmetros de Densidade Máxima e Mínima do processo, limitando as condições da Faixa de Densidade do processo fotográfico. Isto se consegue não apenas com as condições adequadas de exposição. Para obter a máxima qualidade do material fotográfico, há de se considerar a velocidade do filme, a revelação (tempo, temperatura e agitação) e as condições de resposta da curva característica do filme que esta se usando.

O resultado densitométrico na escala de cinza é a adição da resposta da curva característica do filme com o Gamma Digital introduzido no EBR (Gravador de Feixes de Elétrons), passando pelas interferências inerentes ao próprio sistema de exposição e processamento.

A cada etapa de geração que envolva cópia ou ampliação em filme ou em papel fotográfico, haverá perdas na medida em que as densidades vão sendo realçadas ou comprimidas. Pois cada emulsão fotográfica tem sua própria curva característica e suas peculiaridades (granularidade, poder de resolução, velocidade, etc), isto implicará em compressão de níveis de tons (densidade), nas áreas não lineares da curva, atingindo principalmente os extremos dos valores digitais.

A reprodução de tons é um dos mais importantes fatores na qualidade técnica da impressão e de especial importância em imagens de satélite já que a parte de impressão fotográfica deve interferir o menos possível na fidelidade com que representam as alterações nos dados digitais.

4.1.1.2 - Gamma Digital de Produção no INPE

Durante a implantação do sistema Landsat no INPE, estabeleceu-se uma sub-rotina com a finalidade de calcular as curvas de gammas digitais (Tabela 4.1 - Gammas Digitais do Laboratório Eletrônico). Foram propostas 16 curvas digitais, para uso no EBR tanto para geração de imagens positivas quanto para imagens negativas. Através de testes práticos e de acompanhamento por histogramas, verificou-se que o Gamma 7 melhor atendeu às necessidades de produção, pois permitia imagens em regiões de sombras de altas densidades com bom contraste, mantendo em boas condições as demais regiões de baixas e médias densidades.

Na Figura 4.1, mostra o comportamento da curva de produção na primeira geração em relação ao Gamma Digital atual. O Gamma Digital zero representa a resposta digitalmente linear, registrando apenas as alterações provocadas pelo processo fotográfico, e pode servir como referência para ajustes de um novo Gamma digital na busca da resposta linear da curva de produção.

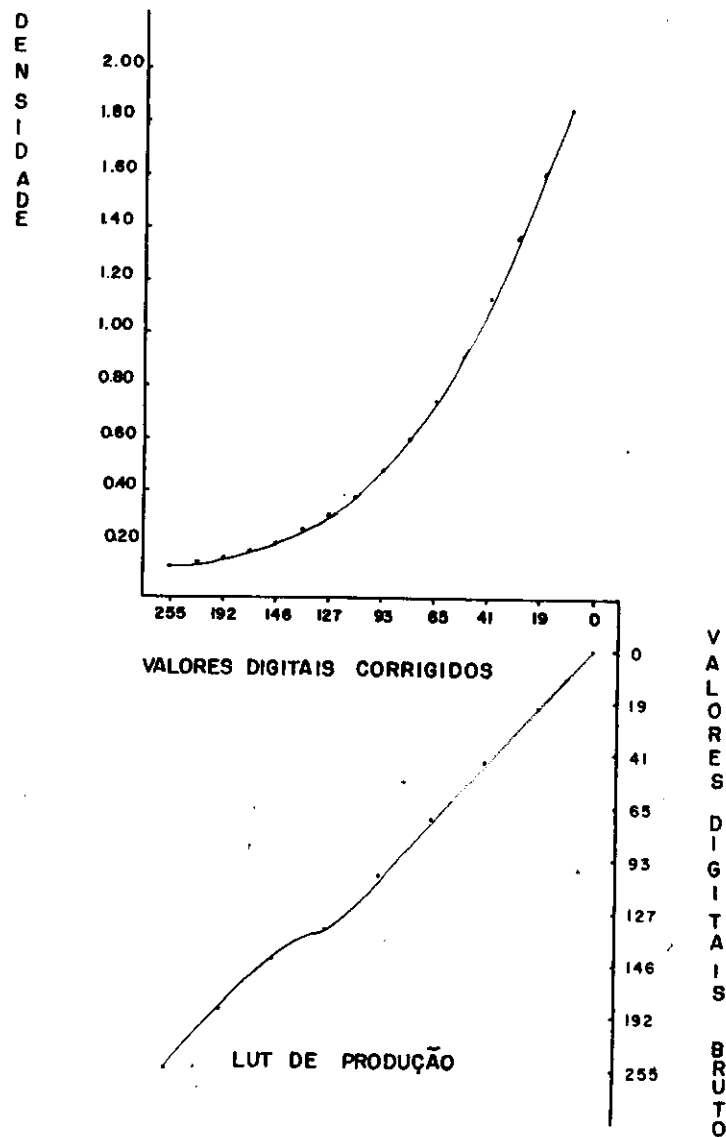


Fig. 4.1 - Correlação dos Valores Digitais na 1ª Geração do Laboratório Fotográfico do INPE.

TABELA 4.1 - GAMMAS DIGITAIS DO LABORATÓRIO ELETRÔNICO

GAMMA	NIVEL DE ENTRADA															
	0	17	34	51	68	85	102	119	136	153	170	187	204	221	238	255
0	0	17	34	51	68	85	102	119	136	153	170	187	204	221	238	255
1	0	24	46	67	87	106	124	141	157	173	188	202	216	230	243	255
2	0	34	63	87	109	128	146	162	177	190	203	214	225	236	246	255
3	0	54	90	117	138	156	171	184	196	207	217	225	234	241	248	255
4	0	83	121	145	164	179	191	202	211	219	226	233	239	245	250	255
5	0	112	147	168	183	195	205	213	221	227	233	238	243	247	251	255
6	0	12	25	39	53	67	82	98	114	131	149	168	188	209	231	255
7	0	9	19	30	41	52	65	78	93	109	127	146	168	192	221	255
8	0	7	14	21	30	38	48	59	71	84	99	117	138	165	201	255
9	0	5	10	16	22	29	36	44	53	64	76	91	110	134	172	255
10	0	4	8	12	17	22	28	34	42	50	60	72	87	108	143	255

Amostragem com 16 valores digitais dos 256 adotados.

A curva de produção adotada no INPE (Gamma 7) tem aproximadamente 40% dos níveis digitais localizados linearmente na curva, enquanto os demais níveis sofrem algum tipo de compressão na escala de tons, devido a não linearidade.

Para melhor avaliação do comportamento da curva densitométrica gerada pelo Gamma 7, ela foi dividida em três partes identificadas como faixas de alta, média e baixa densidade, conforme é mostrado no Figura 4.2 .

1) FAIXA DE ALTA DENSIDADE

Encontra-se nesta faixa, os pixels relativos às áreas de altas densidades. Nesta faixa, onde a densidade varia em condição padrão, entre 0,70D a 1,80D e os níveis digitais de entrada percorrem de 0 a 102 pelas densidades acima, encontra-se um realce das diferenças de tons através de um contraste de gama fotográfico igual a 2.

CURVA DE PRODUÇÃO - INPE

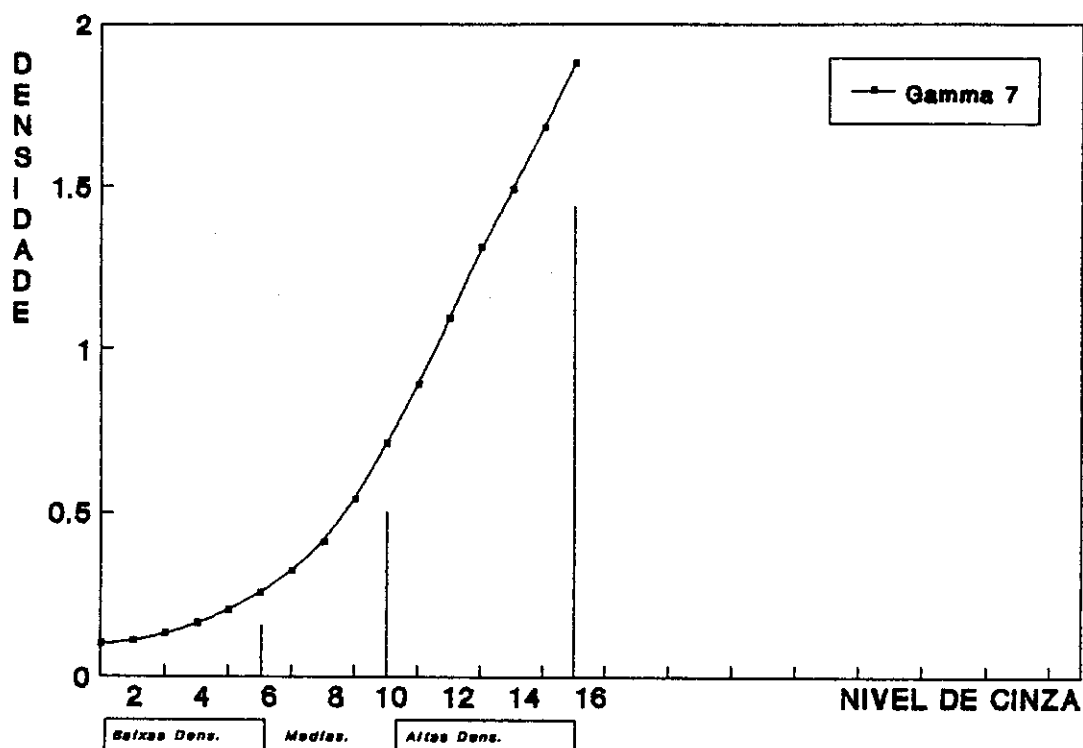


Fig. 4.2 - Comportamento da Curva de Produção do INPE.

2) FAIXA DE MÉDIA DENSIDADE

Aqui estão localizados os pixels representados digitalmente entre os níveis 102 e 170, que responderão na imagem em uma faixa de densidades entre 0,25D à 0,70D aproximadamente.

Nesta faixa, que não é linear, a compressão sofrida nos níveis de cinza ocorre de forma diferente. A curva mostra não linearidade com gradientes entre 0,73 a 1,30, onde sofre compressão de tons, de acordo com as condições de entrada dos níveis digitais.

3) FAIXA DE BAIXA DENSIDADE

São poucas as informações retidas nesta faixa, devido ao comportamento da curva, pois além de baixo contraste, sofre significativas compressões de tons, tendo uma variação de gradiente entre 0,50 a 0,70.

É nesta faixa que estão as áreas de maior brilho, como as nuvens, que normalmente contrastam com elementos da imagem que são de outras faixas na curva.

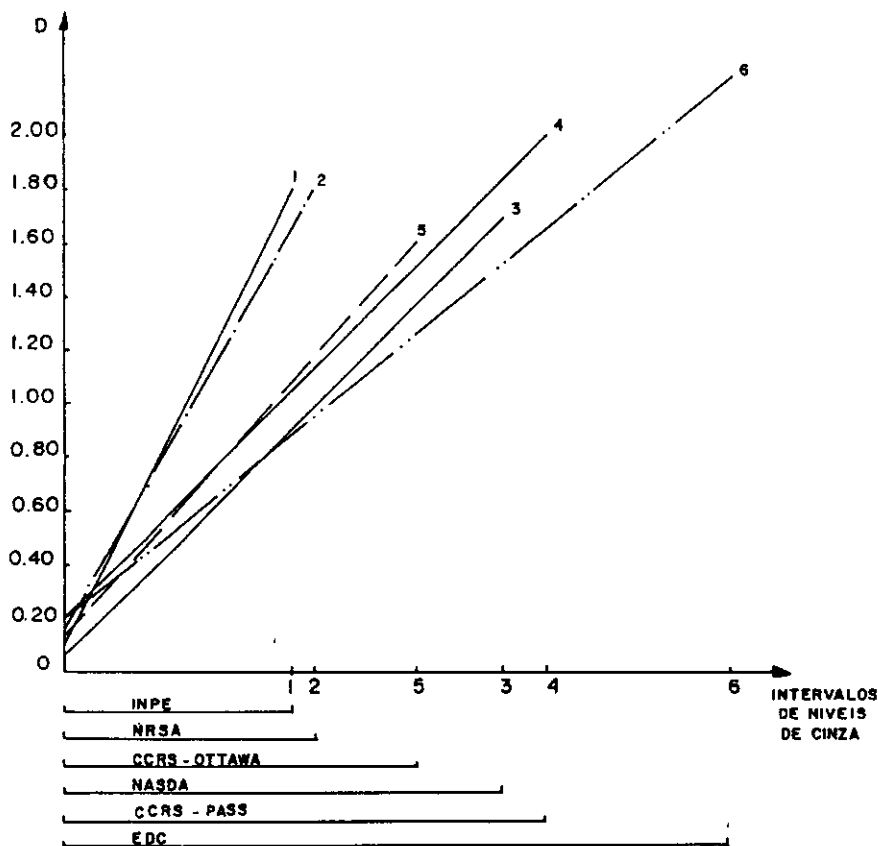


Fig. 4.3 - Intervalo de Níveis de Cinzas Aproveitado no "Master" de Produção Fotográfica.

4.1.2 - Avaliação Comparativa com outros Países

4.1.2.1 - Intervalo de Nível de Cinza Aproveitado

Considerando o gama fotográfico (determina a inclinação da curva), Densidade Mínima, Densidade Máxima, utilizados em diversos centros de distribuição de imagem, fornecidas nas Tabelas 3.1, 3.2 e 3.3 no capítulo anterior, é possível traçar um gráfico (densidade x intervalo de níveis de cinza), Figura 4.3, onde pode-se observar, através da combinação destes parâmetros, o quanto são aproveitados os níveis digitais, em termos de intervalo de cinza.

Se a imagem comporta maior número de níveis cinza, terá melhores condições de definição e qualidade, para o fim a que se propõe.

Neste aspecto pode-se avaliar comparativamente cada sistema, quanto a capacidade da 1ª Geração aproveitar as informações dos níveis digitais na imagem fotográfica.

O "Eros Data Centre" (EDC) do serviço Geológico Americano, apresentou o melhor resultado no aproveitamento do intervalo de nível de cinza. Isto deveu-se às condições de desempenho do equipamento de exposição, à latitude de exposição do filme, e, principalmente, ao Gamma Digital utilizado.

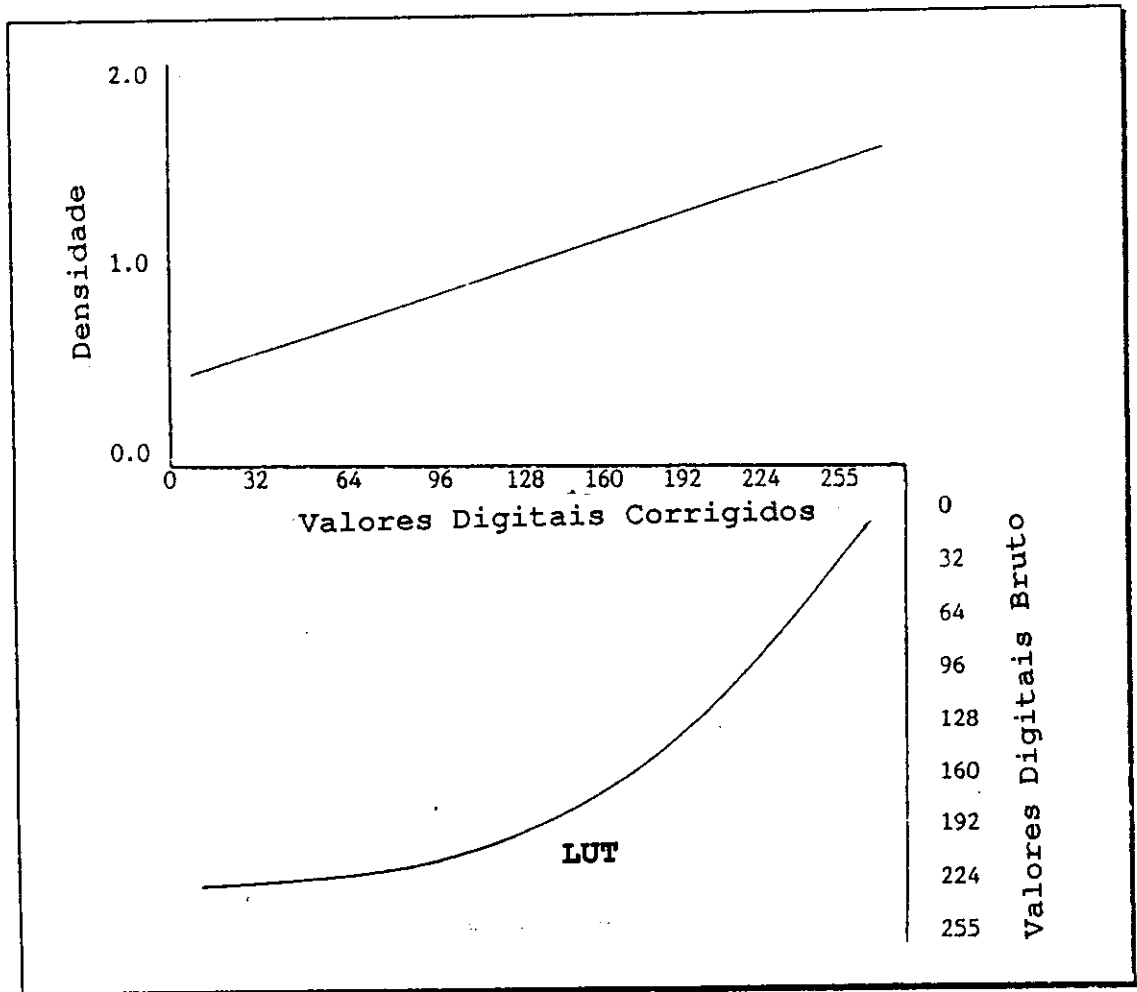


Fig. 4.4 - Efeito da LUT na Saída de Imagem Monocromática.
FONTE: ACRES (1991), p.32

4.1.2.2 - Linearidade da Escala de Cinza

A necessidade de uso de um Gamma Digital deve-se ao fato de que, na curva característica típica de uma emulsão fotográfica (Figura 4.5), a razão de variação da densidade com o logaritmo da exposição não é inteiramente linear.

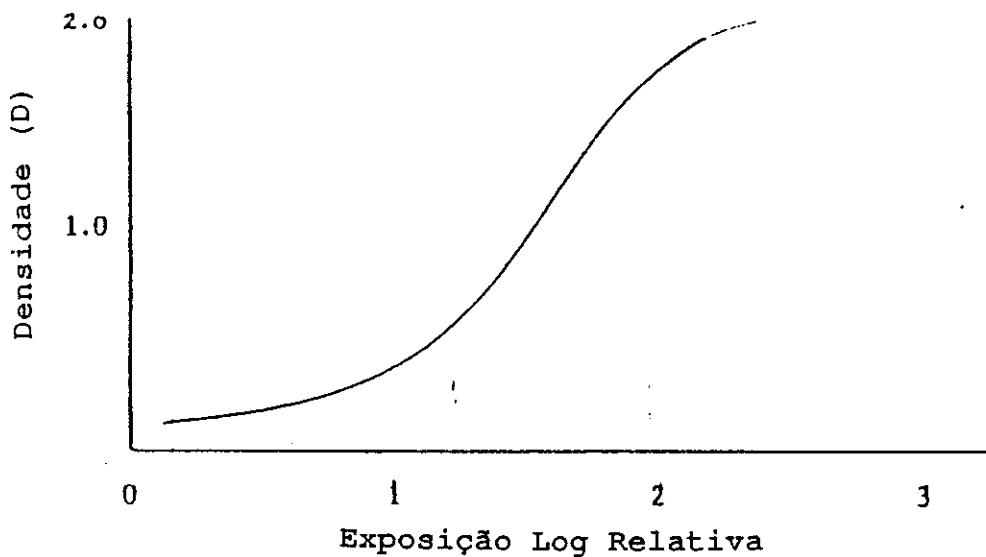


Fig. 4.5 - Curva Característica.
FONTE: ACRES, (1991)

A qualidade de reprodução dos alvos de interesse na imagem será tanto melhor, ou tanto mais fiel quanto mais as respectivas densidades estiverem localizadas na região linear da curva característica (EASTMAN KODAK, 1976).

Vale mencionar, por exemplo, que no "Australian Centre for Remote Sensing" (ACRES, 1991) na Austrália, uma das exigências na produção de uma imagem

fotográfica é que os valores de densidade associados a um dado ponto na imagem variem em proporção direta com a amplitude do valor digital correspondente.

Dependendo da forma de correção digital em relação à resposta da curva característica do processamento fotográfico, isto implicará que o dado digital de saída não seja necessariamente proporcional aos valores de radiância da cena original.

A necessidade de uso de um Gamma Digital deve-se ao fato da curva característica típica de uma emulsão fotográfica não ser inteiramente linear (Figura 4.5). Isto é devido à ineficiência no mecanismo molecular responsável pela formação da imagem latente nos grãos de prata que dará origem à prata metálica da imagem, dentro da emulsão do filme. O resultado desta ineficiência é a redução do gradiente nos altos e baixos valores de exposição (ACRES, 1991). O gama digital tem como função aumentar a faixa linear da curva.

Alguns centros de distribuição de imagens como ACRES na Austrália, usam uma correção digital com uma "Look up Table" (Gamma Digital) de maneira que a resposta do filme como ilustra a Figura 4.4 (Efeito da LUT na saída de imagem monocromática) torna-se efetivamente uma reta, maximizando o uso da Latitude de Exposição do filme, aumentando sua condição para acomodar maior número de dados processados. Isto é realizado manipulando os dados de entrada de modo que o limite dos níveis incidente de exposição do filme sejam ajustados para obter proveito na curvatura da curva característica e assim realizar uma saída linear.

Outra vantagem do uso da LUT linear encontra-se na simplicidade e na conveniência da prática

operacional, pois entre os ajustes feitos na imagem no vídeo (antes do processamento) e a resposta no material fotográfico, haverá maior correspondência. Outra vantagem é a anulação dos erros sistemáticos dos equipamentos do sistema de exposição. A representação matemática também é uma vantagem devido à sua simplicidade e conveniência nos cálculos numéricos, em particular nas características aditivas (SLATER, 1980). E, como já foi dito, a aplicação do Gamma Digital possibilita a ampliação da capacidade de retenção de informações no filme, se esta linearidade estiver corrigindo o comportamento da curva característica do filme nas regiões do "pé" e do "ombro" da curva.

O material fotográfico (papel ou transparência) usado no processo de impressão tem uma curva característica similar à do filme, portanto, quando os dados lineares são copiados, resultarão em algumas compressões de níveis de densidade nos limites do "range" de valores digitais.

Na curva característica do filme SO-219, usado no INPE na geração do "master", apresentada na Figura 4.6), podemos observar um suave comportamento no pé da curva que restringe a condição expositiva da imagem a parte reta da curva. Mas, segundo a especificação do filme, não é possível estreitar o pé por meio de projeto na emulsão ou mudança no processo (EASTMAN KODAK, 1969). O que não exclui a possibilidade de interferência nos resultados a partir de forma controlada de exposição.

Observa-se que diferentes valores de parâmetros de controle de qualidade são adotados por diversos centros de distribuição de imagem Landsat (Tabelas 3.1, 3.2 e 3.3).

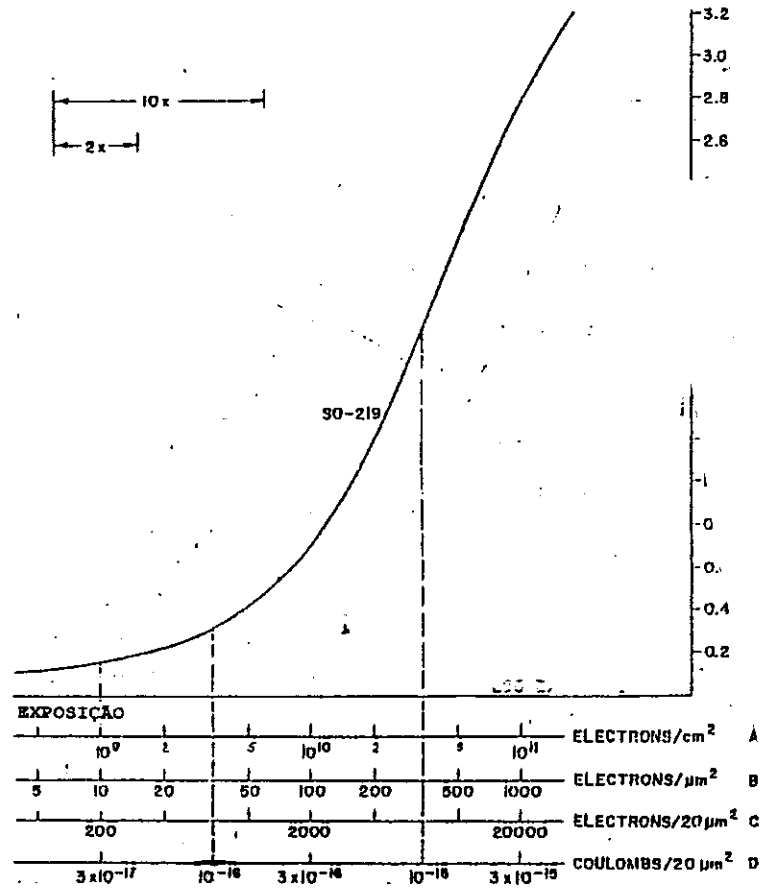


Fig. 4.6 - Curva Característica SO-219.
 FONTE: EASTMAN KODAK, s.d.

Isto deve-se às peculiaridades de cada processo, tipo de equipamentos e material fotográfico adotado. A linearidade da escala de cinza, quantificada na Tabela 3.2, pressupõe que estes países linearizaram sua curva de produção e verificaram o quanto ela pode se afastar do linear. São usados métodos distintos para isto.

No comportamento da curva de produção do INPE, não foi possível estabelecer um valor para a linearidade da escala de cinza, pois não é uma curva próxima à linearidade.

4.1.2.3 - Gammas Digitais Disponíveis

Há dezesseis Gammas Digitais disponíveis na produção do INPE (Figura 4.7). Alguns são para exposição positiva (Gammas 3 e 5) e outros para exposição negativa (Gammas 6, 7, 8), sendo apenas o Gamma 7 usado na produção normal.

ALGUNS GAMMAS DIGITAIS

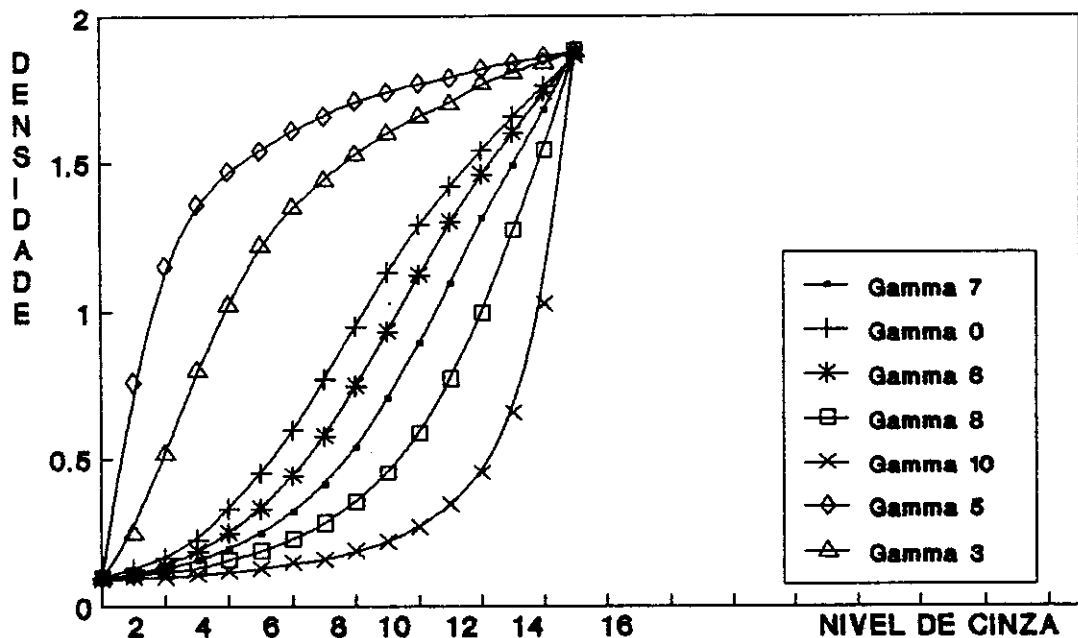


Fig. 4.7 - Respostas Densitométricas dos Gammas Digitais no Filme SO-219.

O Gamma 6 em relação ao Gamma 7 é menos contrastado ($\gamma = 1,80$), mas este, abrange maior parte dos níveis digitais na curva e aumenta o contraste nas áreas de baixo e meio tons, reduzindo o contraste nas altas densidades. Isto implica em melhor aproveitamento no todo, em detrimento da região de altas densidades.

O Gamma 0 é digitalmente linear (Tabela 4.1), mas isto não ocorre na resposta densitométrica (Figura 4.8), pois, o processamento fotográfico e o próprio sistema de exposição, que não são lineares, interferem no resultado. Assim através do Gamma 0, pode-se observar o quanto o processamento do filme afasta-se da linearidade do sistema de processamento digital.

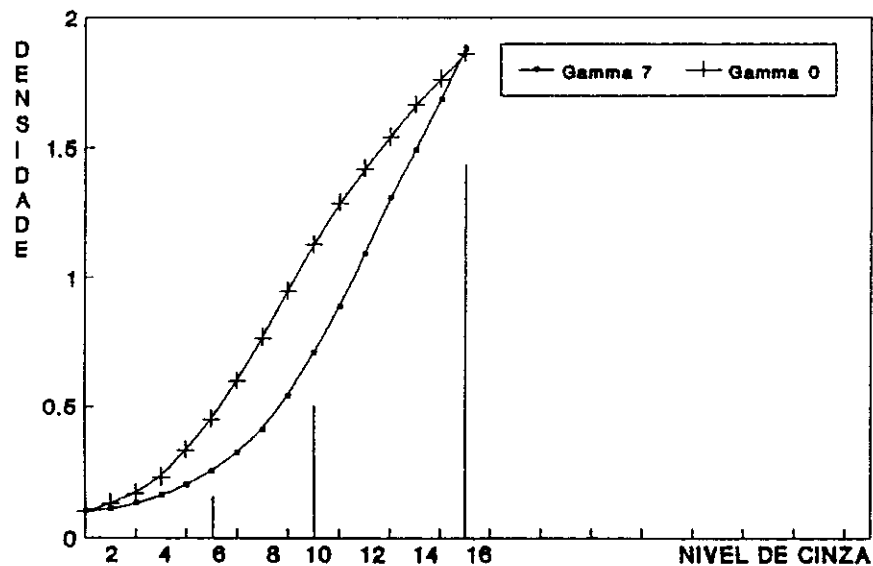


Fig. 4.8 - Comportamento da Curva de Produção em Relação ao Gamma 0.

4.1.2.4 - Tamanho do Pixel - Ampliação e Cópia por Contato

Como o pixel, no contexto de sensoriamento remoto, corresponde ao elemento de resolução espacial da imagem, o qual representa a menor área que o satélite é capaz de identificar, isto significa que o tamanho deste pixel, na imagem é relacionado com as condições de impressão e ampliação da mesma.

Resolução, no contexto de sensoriamento remoto, refere-se ao diâmetro do pixel. Diâmetro do pixel é o tamanho do pixel equivalente (NARITHANI,1990), como

apresentado na Figura 4.9. Na imagem original, o pixel corresponde a aproximadamente 15 microns (tolerância de $\pm 0,02$), escala 1:2.000.000 para imagem inteira e na imagem quadrante, escala 1:1.000.000, 30 microns, e para imagem de subquadrante corresponde a um pixel de 60 microns em uma escala de 1:500.000 (Tabela 4.2), isto para as bandas TM, cujo pixel equivalente é 30m, para as bandas 1, 2, 3, 4, 5, e 7, não incluindo apenas a banda termal 6 que tem o pixel equivalente de 120m e na imagem inteira, tem um pixel na imagem de 60 microns, na escala 1:2.000.000.

TABELA 4.2 - TAMANHO DO PIXEL IMPRESSO NO "MASTER"

TIPO DE IMAGEM	TAMANHO (MICRONS)	ESCALA
IMAGEM INTEIRA	15 60	1:2000000
IMAGEM QUADRANTE	30 120	1:1000000
IMAGEM SUBQUADRANTE	60 240 (TERMAL)	1:500.000

Alguns países, referidos nas tabelas da LTWG, apresentam o "master", exposto em filme com tamanho de 240mm (9½ polegadas), que naturalmente, pode gerar imagem em maior escala em comparação ao original do INPE que é de 127mm (5 polegadas). Isto implica em uma menor ampliação para se obter o mesmo produto. Pois, uma imagem inteira, por exemplo, pode ser obtida na escala de 1:1.000.000 no "master" de 240mm enquanto, em um original (1ª Geração) de 127mm, que é o caso do INPE, a imagem inteira, terá uma escala de 1:2.000.000.

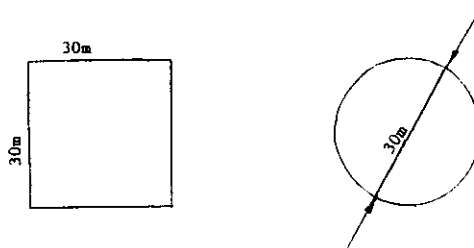


Fig. 4.9 - Resolução Espacial das Imagens TM.

4.1.2.5 - Contraste e Densidade Ótica

O contraste da imagem é um dos mais importantes parâmetros para determinar a condição de uso do produto fotográfico TM (LTWG, 1990). Ele depende principalmente da natureza da região e das condições meteorológicas durante a aquisição dos dados. Para diminuir a faixa dinâmica dos sensores TM, torna-se necessária a introdução de realce no estágio de processamento dos dados ou no estágio de geração do filme (LTWG, 1990). Estas correções e interferências são feitas no INPE antes e durante a exposição da 1ª Geração no EBR, conforme já foi explicado anteriormente. Mas, tanto na manipulação dos dados digitais como no fotográfico, o contraste pode ser controlado.

Considerando o parâmetro "gama fotográfico", observa-se que as imagens geradas no INPE apresentam o maior dentre os que são fornecidos na Tabela 4.3; isto implica em maior contraste. O gama fotográfico, como já foi dito, é a inclinação da parte reta da curva característica. Historicamente era usado como número que indicava o grau de compressão de tons ocorrido no filme em relação ao alvo (EASTMAN KODAK, 1978). Por exemplo: um gama fotográfico de 0,6 tem uma compressão de tons de 6/10 na parte reta da curva do filme. Se uma imagem ótica tiver dois tons cuja

diferença em densidade seja de 1,00 e o filme for revelado para ter um gama 0,6, a diferença de densidade entre os dois tons registrada será de 0,60, indicando quanto os tons foram comprimidos. No "master" do INPE é usado o gama fotográfico 2,0, que implica, na verdade, em um realce na imagem. No "Eros Data Centre" (EDC) o gama é 0,8, na "National Space Corporation Sweden" (NASDA) 1,0, na "Canadian Centre for Remote Sensing Canada" (CCRS) 1,02 e na "National Remote Sensing Agency" (NRSA) 1,8; todos gamas fotográficos menores do que o do INPE.

Na primeira geração do laboratório fotográfico do INPE pode-se observar que a densidade máxima é de $1,80D \pm 0,10$ e a densidade mínima de $0,10D \pm 0,02$, mantendo uma faixa de densidade de $1,77D \pm 0,04$, implicando em menor amplitude do que os adotados pela EDC, CCRS-PASS, e é maior do que os adotados pela SSC, CCRS-OTTAWA e NRSA.

4.2 - 2ª ETAPA DE PRODUÇÃO - ETAPA INTERMEDIÁRIA

A segunda geração, que existe no INPE tanto no fluxo de produção preto e branco, como no fluxo dos produtos coloridos, constitui-se em uma etapa intermediária entre o "master" e o produto final. Tem como finalidade, na produção de imagens preto e branco, manter o padrão do formato adotado para os produtos do INPE, com as bordas brancas e caracteres pretos. E a 2ª Geração é usada para trabalhar a sensitometria de modo a melhor adaptar a curva de transferência para a 3ª Geração em papel. Tendo a vantagem adicional de evitar o manuseio do original (1ª geração).

Sendo usado o material fotográfico negativo, inverte-se a polaridade da imagem, que é positiva na 1ª Geração para negativa na 2ª Geração e a partir desta, é

feito o produto final. Se não houvesse este internegativo a imagem gerada em papel ou em filme sairia negativa no processo atual. Se o original for gerado na polaridade positiva do gravador de filme EBR (imagem negativa), que é uma alternativa do equipamento de exposição, não seria mais necessário o internegativo (imagem positiva em papel ou em filme negativo) conforme mostra a Figura 4.10. Observando apenas o aspecto de formato, isto geraria imagens com bordas pretas e com caracteres brancos (como da IMAGEM SPOT). Naturalmente, para que isto ocorra, seria também necessário alterações nas condições de processamento da imagem. Outra alternativa de fluxo seria a imagem da transparência negativa feita com filme positivo (reversível).

Já no fluxo de produção colorido, nesta etapa (2ª Geração) é onde ocorre a composição "falsa cor", a partir de três originais preto e branco.

A imagem da composição falsa cor, gerada por três bandas expostas por filtros Azul, Verde, e Vermelho é o "master" do colorido, de onde serão gerados os demais produtos.

Para se fazer o "registro" (sobrepôr as imagens), é utilizado uma mesa de luz com um perfurador, onde o operador, utilizando uma lupa, sobrepõe as marcas de registro sobre uma imagem base gerada para esta finalidade. O registro é feito para se expor uma a uma das bandas separadamente no mesmo filme.

4.2.1 - Fluxo de Produção Transparência Preto e Branco

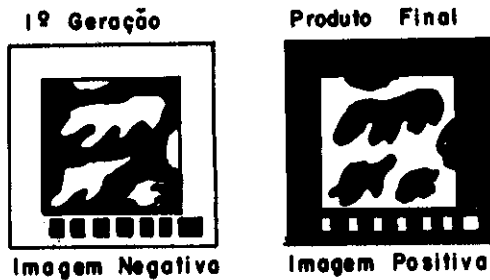
Aqui será abordada a hipótese de não usar a etapa intermediária na produção e suas conseqüências. Avaliar-se-á primeiramente a interferência do comportamento

densitométrico, questionando-o comparativamente com os procedimentos similares de outros centros mundial de distribuição Landsat. Numa segunda avaliação foi medida a degradação do sinal em relação ao FTM da 1ª Geração, considerando as etapa de produção. E por fim, discutirá as alternativas de produção sem a 2ª Etapa e suas conseqüências.

FLUXO ATUAL DE PRODUÇÃO



PRIMEIRA GERAÇÃO COM IMAGEM NEGATIVA



SEGUNDA GERAÇÃO COM FILME REVERSÍVEL

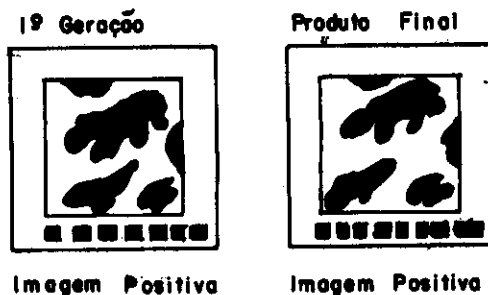


Fig. 4.10 - Alternativas de Produção para Transparência Positiva Preto e Branco.

4.2.1.1 - Comportamento Sensitométrico da Curva de Produção

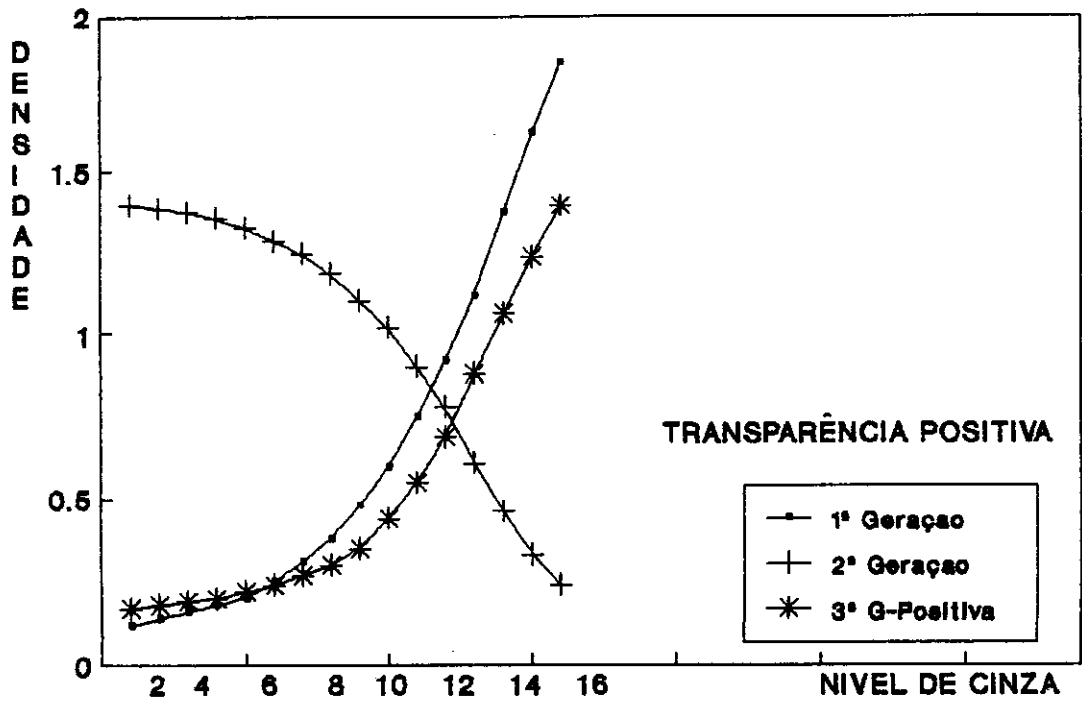
Quando compara-se as faixas (altas, médias e baixas densidades) correspondentes à 1ª Geração em relação à 2ª Geração na produção de transparências preto e branco, nas Figuras 4.11 e 4.12, verifica-se que:

- 1) a compressão de tons está presente em todas as faixas;
- 2) a parte linear está restrita a 20% na 2ª Geração; os demais tons sofrem a compressão;
- 3) o gama fotográfico oscila entre 1,5 e 1,8 que representa perda de contraste em relação a 1ª Geração;
- 4) a Densidade Máxima e a Faixa de Densidade diminuíram em relação a 1ª Geração.

E em relação ao produto final (Figura 4.11) pode-se observar que:

- 1) na **Transparência Negativa**, o contraste aumenta a partir do 10º passo de exposição, mantendo uma região linear de 20%; muito se perde nas regiões de maior brilho; a Faixa de Densidade também se reduz em relação a 1ª Geração.
- 2) na **Transparência Positiva**, a parte linear mantém-se a partir do 10º passo, mas fica reduzido o contraste; diminui a densidade máxima e aumenta a densidade mínima, reduzindo assim a Faixa de Densidade em relação a curva da 1ª Geração.

(a)



(b)

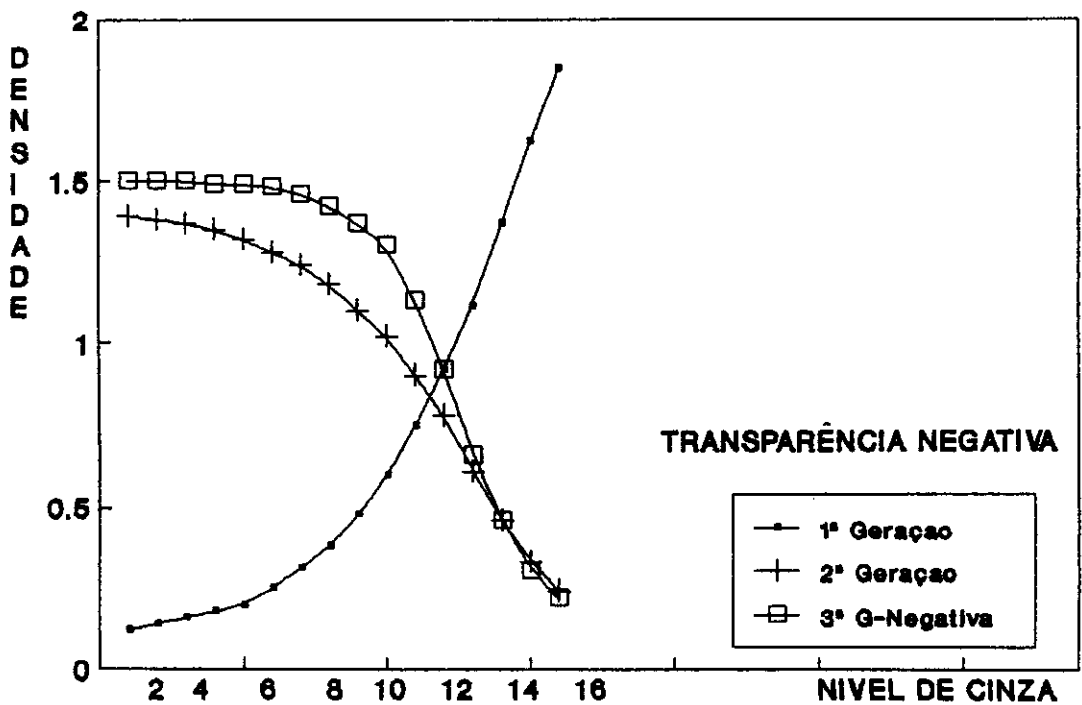


Fig. 4.11 - Resposta Densitométrica entre 1ª, 2ª e 3ª Geração Preto e Branco.

4.2.1.2 - Avaliação Comparativa com Outros Países

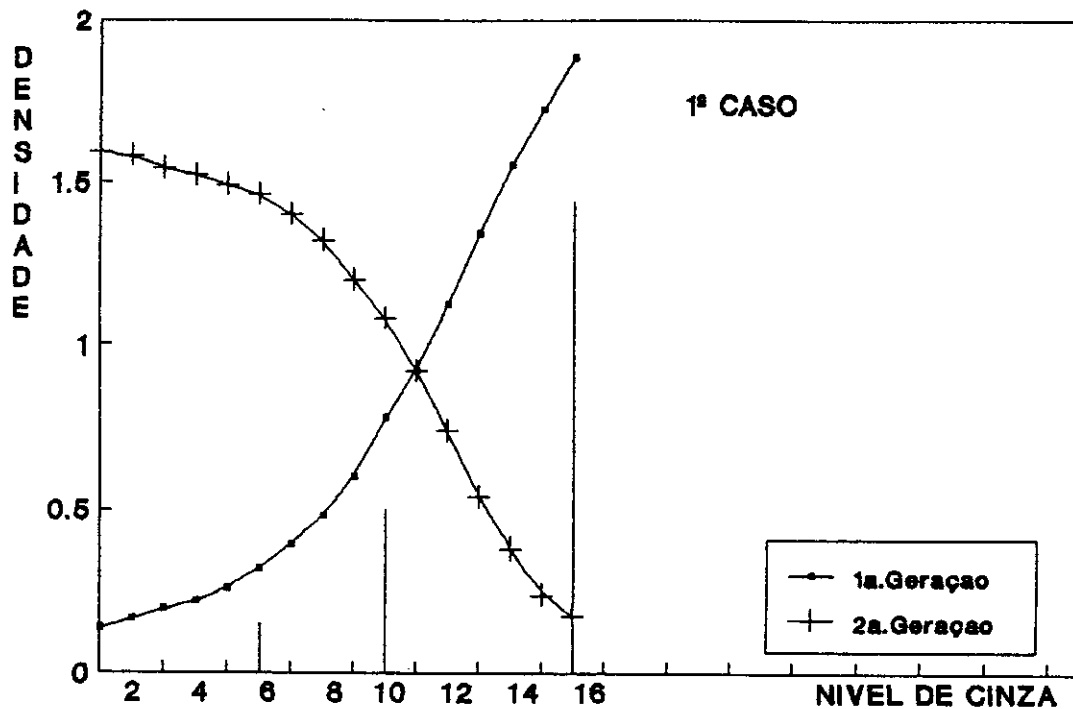
O fluxo de produção fotográfica em cada Centro de Distribuição Landsat, é diferente em equipamentos, procedimentos e materiais fotográficos, como também nos padrões de controle de qualidade.

Alguns centros, usam internegativo para produzir o produto final, como no INPE, enquanto outros adotam apenas duas etapas de produção, neste caso o "master" é produzido em imagem negativa e a partir dele é feito o produto final.

Entre os países que usam a segunda geração como internegativo a partir de "master" positivo, estão a EDC (EUA), NASDA (Japão), ESA (Itália), e o INPE. A partir do original positivo são gerados produtos de imagens negativa ou é usado filme reversível (positivo), para gerar transparências positivas. No caso da NRSA na Índia que usa um "master" com imagem negativa é usado internegativo para fazer transparência negativa.

O filme negativo Aerographic Duplicating 2421 (Estar Base) ou 4421 (Estar Thick Base) para cópia, que tem a mesma emulsão com diferentes espessuras de base, é usado pela NASDA, ESA, CCRS, NRSA, EDC e o INPE por ter boa estabilidade dimensional, e destinado a uso tanto para gerar imagem em positivo como em negativo.

(a)



(b)

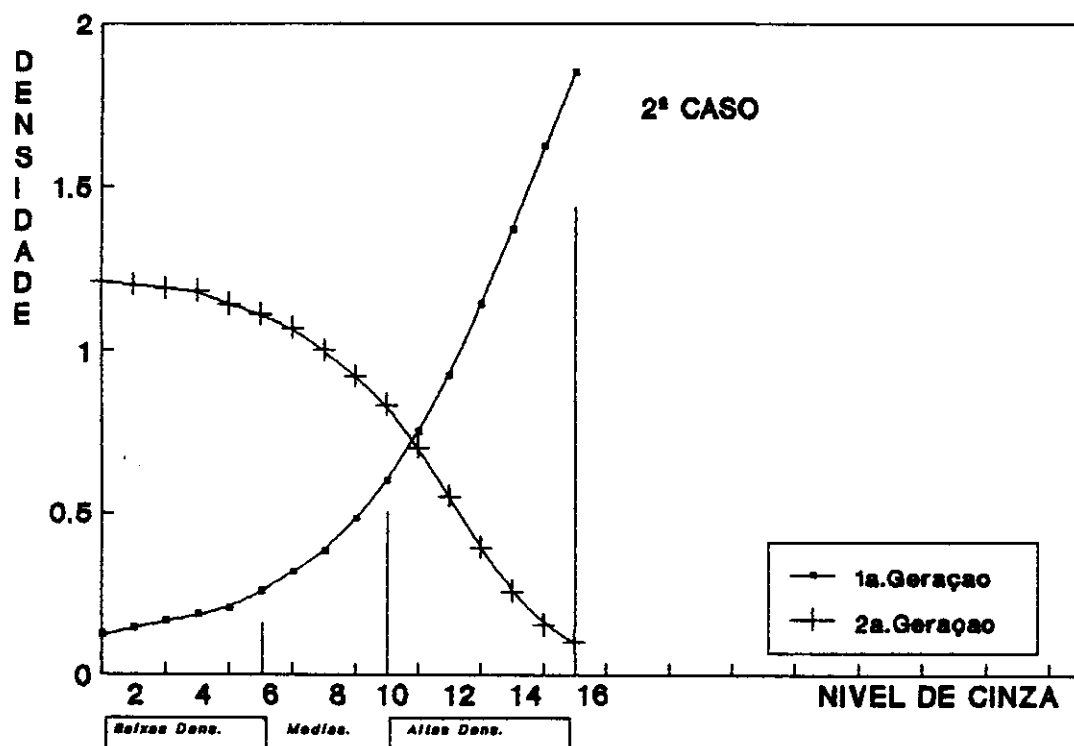


Fig. 4.12 - Comportamento Densitométrico da 1ª e 2ª Geração do Fluxo Preto e Branco.

A palavra "igual" na Tabela 4.3, significa que o parâmetro correspondente é o mesmo, tanto no original quanto na cópia.

TABELA 4.3 - COMPORTAMENTO DENSITOMÉTRICO DA 1ª GERAÇÃO EM RELAÇÃO A CÓPIA POR CONTATO PRETO E BRANCO

CENTRO (país)	D E N S I D A D E				GAMA FOTOGRAFICO 1ªG - 2ªG
	MÍNIMA	RANGE	MÁXIMA	GAMA	
EDC (U.S.A)	igual	igual		igual	0,8
NASDA (Japão)		igual		igual	1,0
ESA (Itália)	igual	igual	igual		-
CCRS (Canadá)		igual		igual	1,02
NRSA (Índia)	igual	igual			1,8 ; 1,0-1,2
INPE (Brasil)	-	-	-	-	2,0 ; 1,5-1,8

Observa-se que a Faixa de Densidade é mantida a mesma em todos os controles, juntamente com pelo menos mais um parâmetro para garantir o mesmo comportamento densitométrico. Isto deve-se a preocupação de adaptar e manter as condições de latitude de exposição dos filmes.

A cópia por contato realizada em material preto e branco apresenta diferentes padrões densitométricos peculiares à imagem produzida por cada Centro de Distribuição de Dados, mas nota-se que a norma geral é

manter o mais próximo possível o comportamento densitométrico entre as curvas de produção do original e da cópia em filme (Tabela 4.3). Isto oferece melhores condições de fidelidade de reprodução das informações do original. No INPE isto não ocorre devido o negativo (2ª Geração) ser o mesmo na produção em filmes (transparências) ou em papel. E a latitude do papel não comporta as condições densitométricas da 1ª Geração.

4.2.1.3 - Grau de Subjetividade na Avaliação da Qualidade da 2ª e 3ª Geração

O padrão densitométrico adotado na 2ª Geração, apresenta uma maior tolerância, e na prática, pode variar entre o caso 1 ao caso 2, conforme Figura 4.12 (Comportamento Densitométrico da 1ª e 2ª Geração do Fluxo Preto e Branco). Isto muitas vezes é usado para ajuste devido as condições da imagem na 1ª Geração. Por exemplo, o Caso 2 se deve a compensação das condições de uma imagem de 1ª Geração escura, devido as condições atmosféricas e de iluminação do alvo no horário do imageamento.

Os padrões densitométricos adotados na 2ª Geração do fluxo preto e branco são:

- 1) Densidade Mínima = $0,15 \pm 0,03D$
- 2) Densidade Máxima = $1,35 \pm 0,15D$
- 3) Faixa de Densidade = $1,25 \pm 0,15D$

Isto como já foi visto, na prática é tolerado do Gama Fotográfico de 1,5 à 1,80, da Densidade Máxima de 1,50 à 1,20D, e a Faixa de Densidade variando de 1,10 à 1,40D.

Isto significa que a subjetividade no controle da qualidade da imagem passa a ter maior

influência, e naturalmente menor precisão nas condições de reprodutibilidade do produto.

TABELA 4.4 - PADRÕES DENSITOMÉTRICOS PARA PRODUÇÃO DE TRANSPARÊNCIAS PRETO E BRANCO

Densidade Máxima	1,80D ± 0,10	1,35 D ± 0,15	1,35 ± 0,15
Densidade Mínima	0,10D ± 0,02	0,15 D ± 0.03	0,13 ± 0,02
Faixa de Densidade	1,77D ± 0,04	1,25 D ± 0.15	1,25 ± 0,15
Gama	2		
	1ª ETAPA	2ª ETAPA	3ª ETAPA

Observando o comportamento da curva característica da segunda geração, identifica-se que ela está inserida de tal forma que mantém na última geração em filme (transparência Positiva) uma resposta similar à 1ª Geração, no que se refere a condição de linearidade, pois, a partir do 10º passo de exposição de forma linear e com um gama e densitometria próxima ao da 2ª Geração (Figura 4.11). Mas aqui também, na prática existe a presença da subjetividade, pois vai depender do aspecto visual da imagem a decisão final quanto a aprovação (Tabela 4.4).

4.2.1.4 - Alternativas para Produção em Duas Etapas e suas Conseqüências Operacionais

Quanto às alternativas de produção eliminando a 2ª Etapa, pode-se comentar:

1) IMAGEM NEGATIVA NA 1ª GERAÇÃO

O gravador de filme EBR, como já foi dito, pode gerar imagem em positivo ou negativo, isto possibilitaria, caso o "master" (1ª Geração) for negativo, a eliminação da etapa intermediária na produção preto e branco nos produtos: transparência positiva, transparência negativa e imagem em papel preto e branco. Esta possibilidade é possível desde que se faça adaptação do "software" de produção para correção relativas ao formato (caracteres por exemplo) e outras questões de ajuste, como colocar o Gamma Digital compatível com a impressão negativa, e ajustes no sistema fotográfico dentro da nova performance. A hipótese para o fluxo preto e branco, no entanto implicaria em:

- a) modificação do procedimento de manuseio e arquivo, hoje em rolos com 7 ou 8 órbitas, sendo que cada órbita contém 3 imagens, passariam a ser arquivadas imagem por imagem em separado. Possibilitando assim, seu uso nos ampliadores para produção;
- b) a imagem negativa apresenta maiores dificuldades no controle visual, isto implicaria em nova "educação visual" dos supervisores de qualidade;
- c) a questão de manuseio não será um grande problema, se adotado procedimentos adequados. É interessante observar que a reutilização das imagens de arquivo não chegam a 20% da base de dados;

d) novo formato, gerado a partir de imagem negativa, o formato mudaria o aspecto estético, teria as bordas pretas e os caracteres brancos, ou eliminar as anotações de bordas como será discutida mais a frente;

e) o maior inconveniente, do ponto de vista operacional, seria que o fluxo dos produtos coloridos necessita da primeira geração positiva, pois a produção é feita a partir da composição falsa cor feita na segunda geração negativa, e como será apresentado mais adiante, impossibilita a produção colorida em papel.

O inconveniente no fluxo de produção colorido, é que a segunda geração é o "master" do colorido, onde é feita a composição falsa cor. E a alternativa de ter a segunda geração positiva obrigaria a se trabalhar com papel ou filme reversível, mantendo para produção de imagens em papel três etapas de produção, e acrescentando as dificuldades de se trabalhar com material reversível.

2) CÓPIA DA 1ª GERAÇÃO EM FILME REVERSÍVEL

A hipótese tecnicamente é possível, o inconveniente é operacional, pois teria que arquivar em separado, os pedidos de transparências preto e branco, pois seria necessário que as mesmas sejam retiradas do rolo de filme, para uso nos equipamentos de ampliação.

Outro inconveniente de partir-se de uma imagem negativa em material negativo é que as bordas ficam transparentes e a luz passa pelas bordas aumentando a reflexão da luz no ampliador e reduzindo o contraste da impressão. Para não haver esta perda poderá ser ajustado o porta negativo em torno da imagem, mas isto implicaria que

a imagem fosse produzida sem as anotações, o que constituiria um problema, pois em pesquisa feita com os usuários mostraram que estas informações são úteis.

4.2.1.5 - Função de Transferência de Modelação (FTM) do Fluxo de Produção de Transparência Positiva Preto e Branco

É característica da imagem fotográfica a deterioração da qualidade, de forma preferencialmente gradual, com a diminuição do tamanho ou com o aumento da frequência espacial (THOMAS, 1973)

A qualidade da imagem é subjetivamente complexa, e a qualidade de uma imagem ou de um sistema de imageamento não pode ser sumarizado em uma única forma ou ser expresso em um único número. De fato, não se pode avaliar completamente, exceto referenciando-se a um uso ou propósito específico. A medida em que se define seu uso, pode-se avaliar a qualidade da imagem.

A avaliação completa do sistema aqui apresentada, considerou como princípio quantificar o quanto a 2ª Geração interfere no processo. As medidas foram feitas a partir de um alvo senoidal gerado na primeira etapa do fotográfico, e quantificou-se as perdas na amplitude do sinal senoidal nas etapas de produção, relativamente a 1ª Geração, os testes foram em condições de produção, e registrou-se o quanto se perdeu da amplitude do sinal através das etapas de produção.

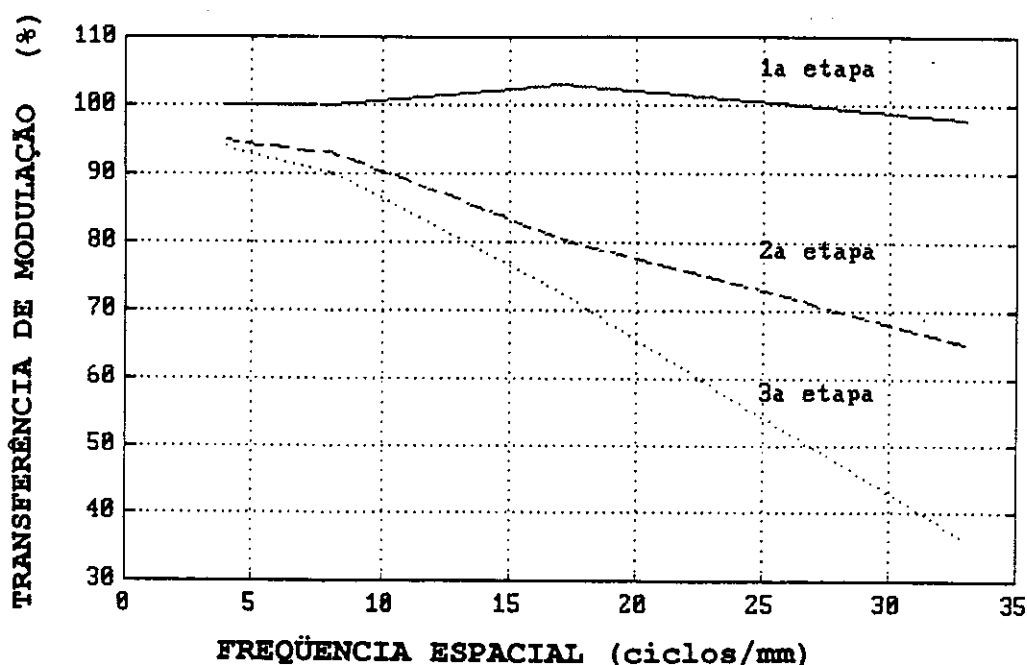


Fig. 4.13 - FTM por Etapa de Produção da Transparência Positiva Preto e Branco.

Os resultados na Figura 4.13 mostram os valores relativos a degradação da amplitude de sinal senoidal gerado a partir de um padrão de barras em frequências de 4, 8, 17 e 33 ciclos/mm. As curvas são apresentadas por etapa de produção e mostram que as perdas são acumulativas na medida que aumenta-se o número de etapas de produção.

Observa-se perdas na Transferência de Modulação em todos os estágios. O filme utilizado na segunda é o mesmo da terceira geração, e os padrões de controle densitométricos também. No teste foi desconsiderada a ampliação. Observa-se uma perda significativa da Transferência de Modulação a medida que aumentou o número de etapas de produção e isto foi mais significativo a medida que aumentou a frequência espacial.

Isto implica em dizer que a perda na imagem é maior quanto menor o objeto de interesse.

Na Figura 4.14, pode-se constatar que se for usado o filme 2422 (reversível), para se obter em apenas duas etapas de produção a Transparência Positiva, expondo diretamente do "master", haverá perda na FTM, pois devido as condições do tipo de exposição, por projeção, há aumento da luz refletida devido as bordas transparentes atingindo uma maior área exposta do filme.

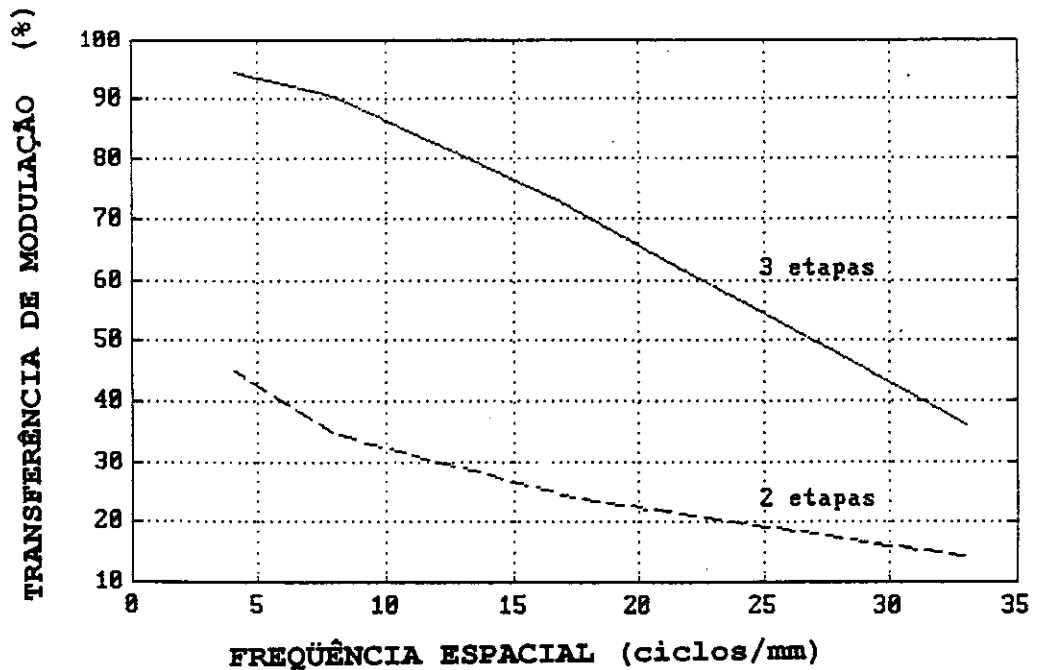


Fig. 4.14 - Transparência Positiva em 2 Etapas x 3 Etapas de Produção.

4.3 - 3ª ETAPA DE PRODUÇÃO - PRODUTO FINAL

Na avaliação da terceira etapa de produção, na qual é gerado o produto final, foi discutido, de forma global, todo o processo de geração para avaliar como cada

etapa no processamento interfere ou poderia interferir na imagem final.

A terceira etapa, como as demais, possui seu controle densitométrico, e também a qualidade "cosmética" é observada. Nesta etapa a avaliação subjetiva é mais presente do que nas demais, principalmente para as imagens em papel, onde é dado maior peso ao aspecto visual da imagem do que ao controle densitométrico.

Basicamente se utiliza filme Kodak 2421, 2422 e papel Kodabrome, onde são feitas imagens em tamanhos de 41", 40", 20", e 9,5" (1041, 1016, 508 e 241 mm, respectivamente), produzindo imagem inteira (II), imagem quadrante (IQ) e subquadrante (SQ) em escalas de 1:50.000 (SQ), 1:100.000 (IQ e SQ), 1:250.000 (II, IQ e SQ), 1:500.000 (II e IQ), 1:1.000.000 (II).

São utilizados os ampliadores Rectimat, J-70, Durst 2500 e Durst 184. Os produtos são gerados a partir da 2ª Geração negativa por projeção em papel ou em filme para produção de transparência preto e branco. Até a segunda etapa de produção os padrões de controle de qualidade não se diferenciam, desconsiderando se o negativo vai gerar imagem em papel ou em filme. No filme, a latitude de exposição é maior do que no papel, logo no filme poderia ser conseguida maior densidade máxima com melhor faixa de densidade, havendo um ganho na retenção de informações.

No INPE, todos os produtos finais Landsat passam por ampliações, a partir de uma primeira geração feita em tamanho de 5" (127 mm); isto já representa alguma perda de nitidez. Se todos os negativos fossem copiados por contato e nenhum deles fosse ampliado, considerar-se-ia as imagens dos negativos como sendo sem textura fotográfica, perfeitamente lisas e de definição absolutamente nítida

(EASTMAN KODAK, 1978). O tamanho da 1ª Geração é determinado pela especificação do equipamento de gravação (EBR - Gravador a Feixe de Elétrons). Se a primeira geração fosse maior, 240mm por exemplo, poder-se-ia gerar produtos por contato, minimizando perdas por granularidade e com melhor nitidez.

A seguir será avaliado o equilíbrio entre a exposição, a revelação e os resultados densitométricos finais. Para a avaliação dos aspectos densitométricos já discutidos, foi feita uma variação no tempo de exposição e de revelação, observando-se o comportamento da Transferência de Modulação, através de um microdensitômetro, e o quanto se altera com estas variações no processamento. Observando o quanto as exposições e processamento estão ajustados a melhor condição de resposta em termos de Função de Transferência de Modulação.

Foram realizados também testes em revelador D-19, alternativo ao revelador Versamat 641, que é usado no INPE, e constatou-se resultados aproximados quanto a resposta em Função de Transferência de Modulação.

4.3.1 - Densitometria e FTM do Fluxo de Produção - Transparência P/B

Os testes densitométricos e de FTM foram realizados especificamente no fluxo de produção da transparência P/B, porém propiciam uma avaliação geral dos demais fluxos de produção preto e branco. Nos produtos em papel, por serem processados manualmente, as variáveis de processamento são difíceis de controlar, como a agitação e a temperatura. Os testes foram realizados no fluxo que permite melhor controle do processo e menor subjetividade. Outra limitação encontrada foi que o microdensitômetro usado só faz medidas em filme.

A transparência positiva (produto final), produzida no fluxo apresentado na Figura 3.1, apresentou FTM de 36,1% em 33 ciclos/mm, conforme observa-se na Figura 4.15 e maior do que 70% em frequências menores do que 17 ciclos/mm.

Os testes foram realizados em datas diferentes, no decorrer de 1993 para se observar a estabilidade do processo quanto aos resultados microdensitométricos. Cabe observar que os testes foram realizados dentro das condições normais de produção, já que o objetivo era exatamente avaliar as condições do produto gerado.

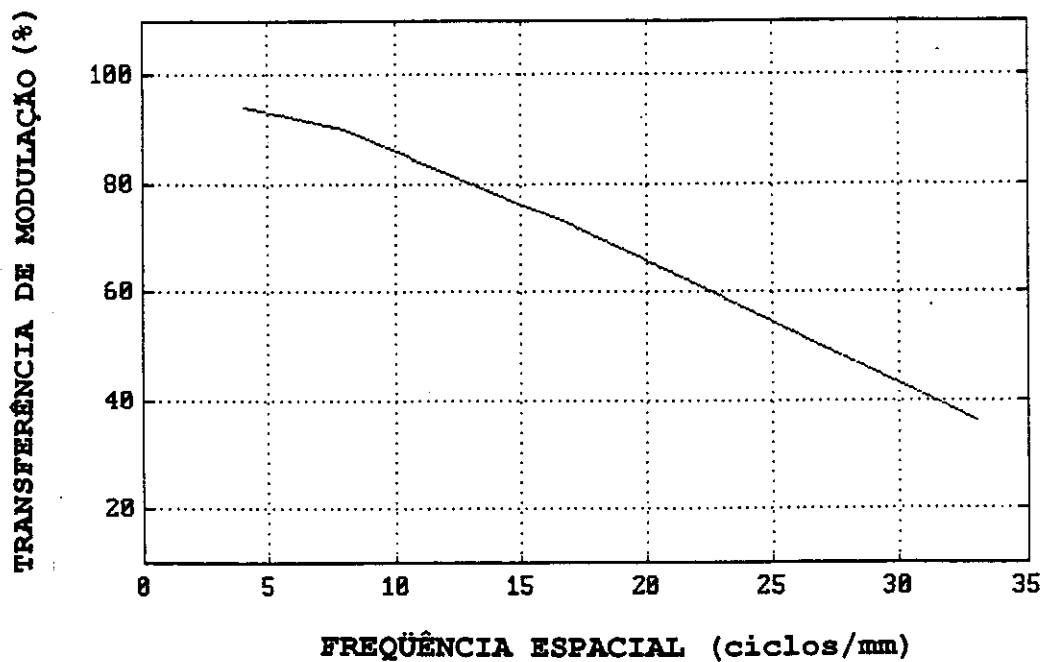


Fig. 4.15 - FTM do Fluxo de Produção de Transparência Preto e Branco.

Em cada data foram realizados pelo menos três testes repetitivos, os quais registraram uma variação, mostrada na Figura 4.16.

Esta variação foi devido a tolerância no controle densitométrico, embora controlado, o processamento permite algumas variações que representam as variações na resposta da FTM (Figuras 4.16, 4.17 e 4.18). Estas variações estão inserida principalmente na condição de variação dos valores de densidade tolerado nos padrões de controle.

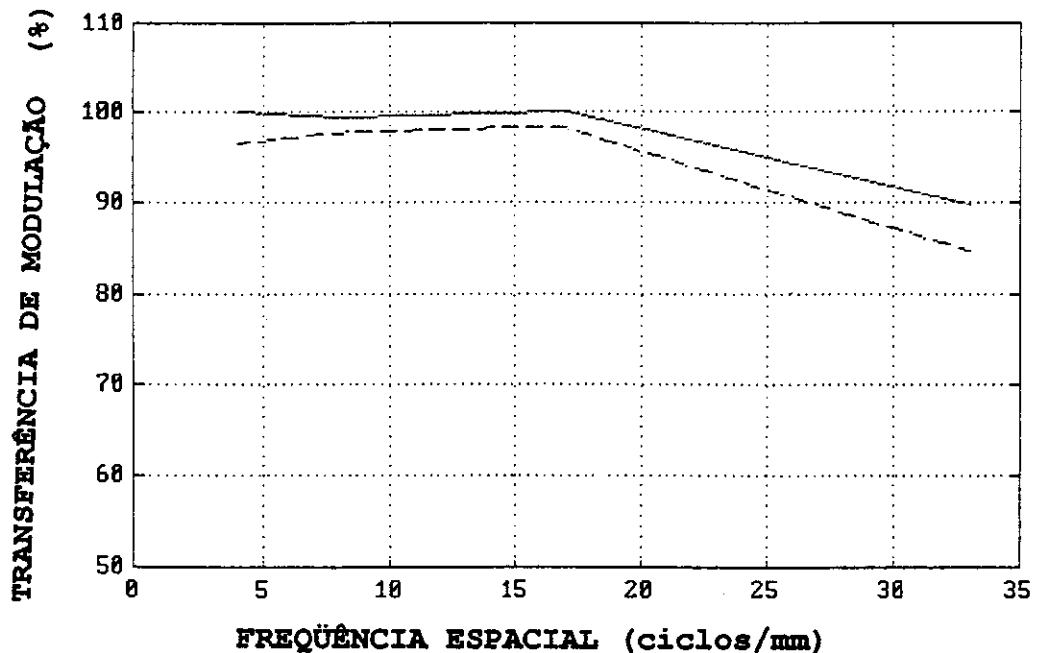


Fig. 4.16 - Oscilação da Função de Transferência de Modulação na 1ª Geração.

No aspecto comparativo, as condições da FTM da 1ª geração apresentaram boa resposta, devido à condição de impressão a feixe de elétrons e ao tipo de filme utilizado (SO219).

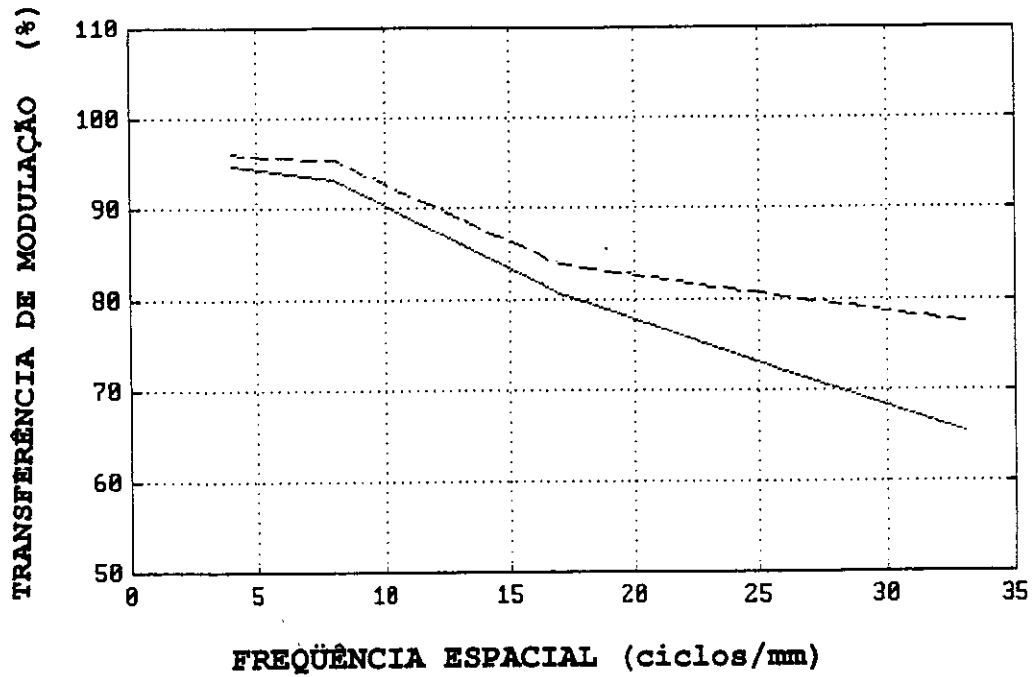


Fig. 4.17 - Oscilação da Função de Transferência de Modulação na 2ª Geração.

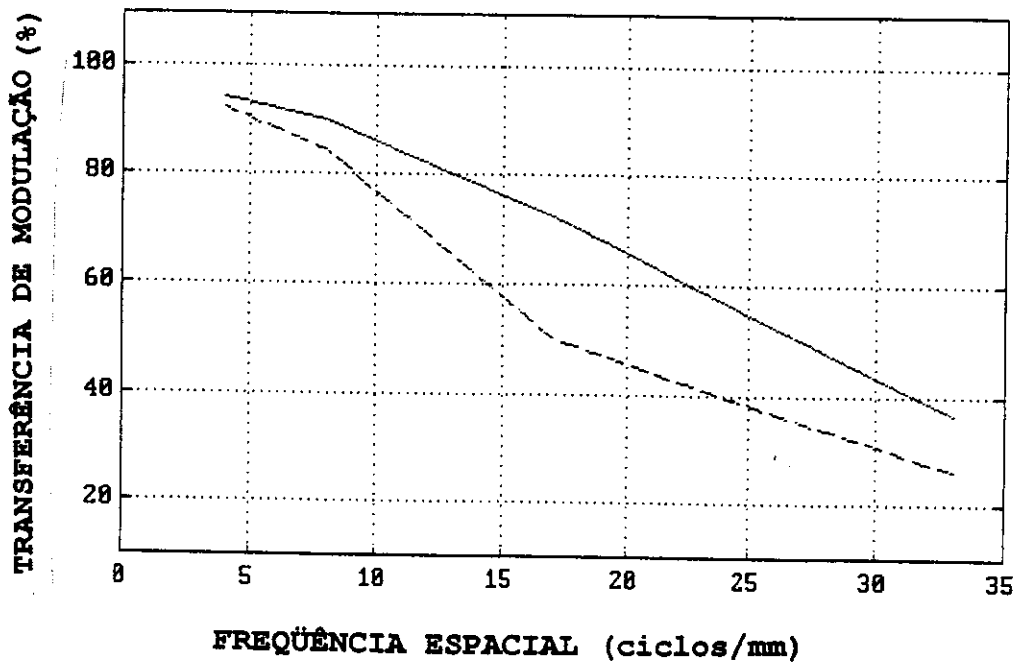


Fig. 4.18 - Oscilação da Função de Transferência de Modulação na 3ª Geração.

Na segunda e na terceira geração os desvios são maiores, conforme pode-se observar nas Figuras 4.17 e 4.18. Isto é porque há maior tolerância no controle densitométrico nestas etapas. Logo estas oscilações se deveram a variação da densidade, devido as variações no processamento fotográfico ou na exposição (Figura 4.20). O tempo de processamento também é ajustado conforme a resposta densitométrica do produto (Figura 4.21). Mas pode-se observar pelos resultados, que embora praticamente as condições normais de processamento estão otimizadas, pois apresentaram respostas muito próximas da melhor condição da FTM, existe um pequeno ganho com o aumento da exposição na 1ª e 3ª Geração e praticamente se igualando na 2ª Geração (Figuras 4.19, 4.20 e 4.22).

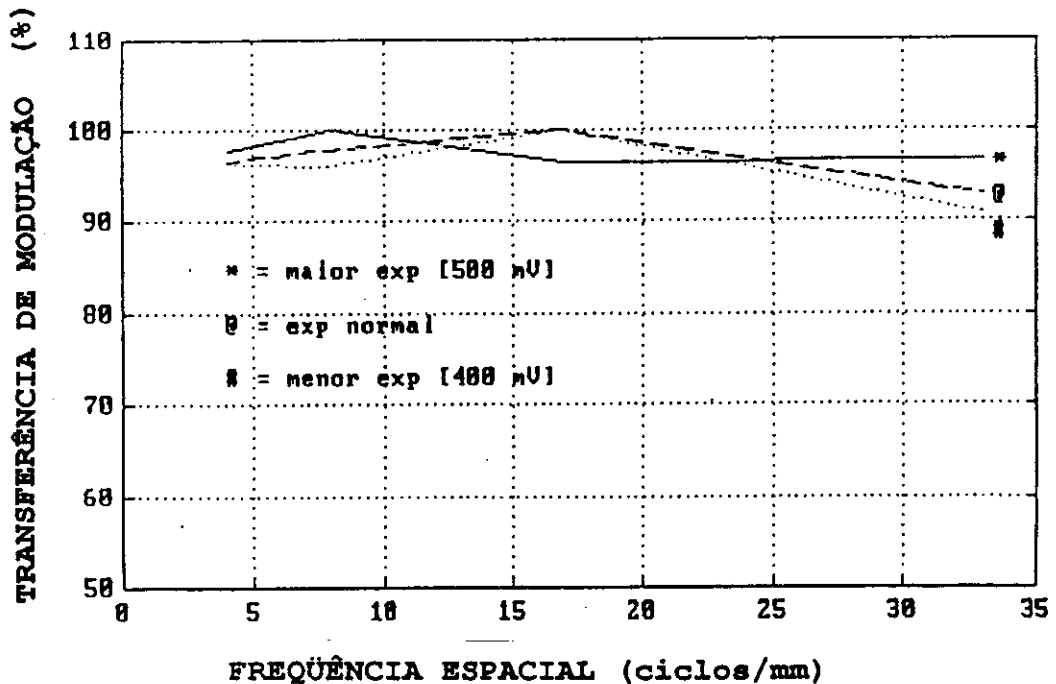


Fig. 4.19 - Oscilação da Função de Transferência de Modulação Variando a Exposição na 1ª Geração.

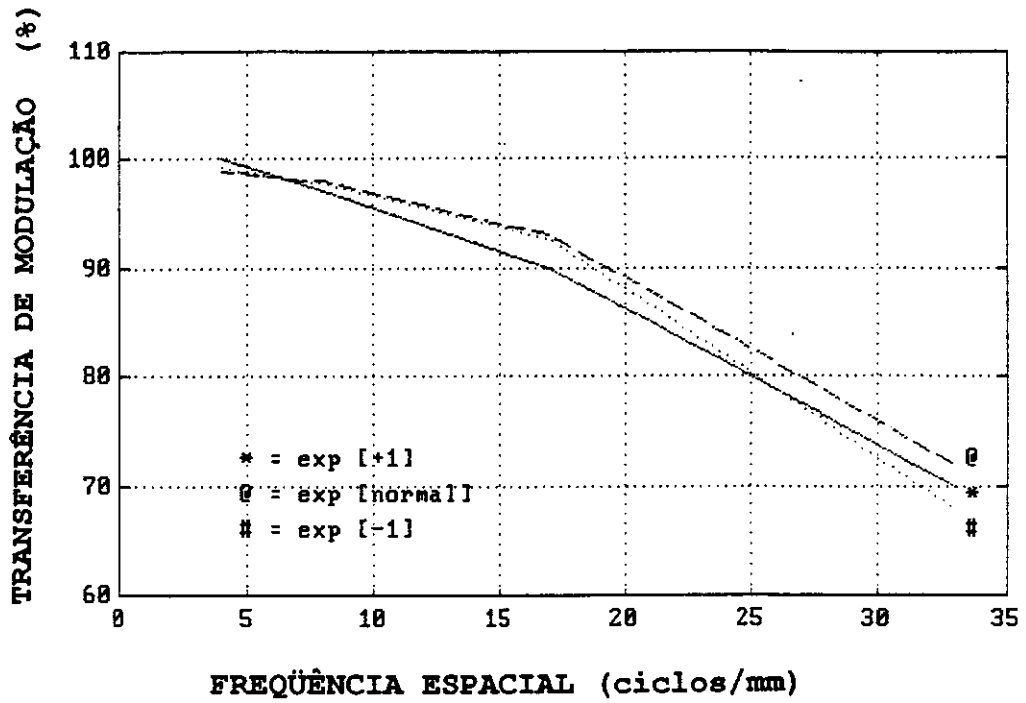


Fig. 4.20 - Oscilação da Função de Transferência de Modulação Variando a Exposição na 2ª Geração.

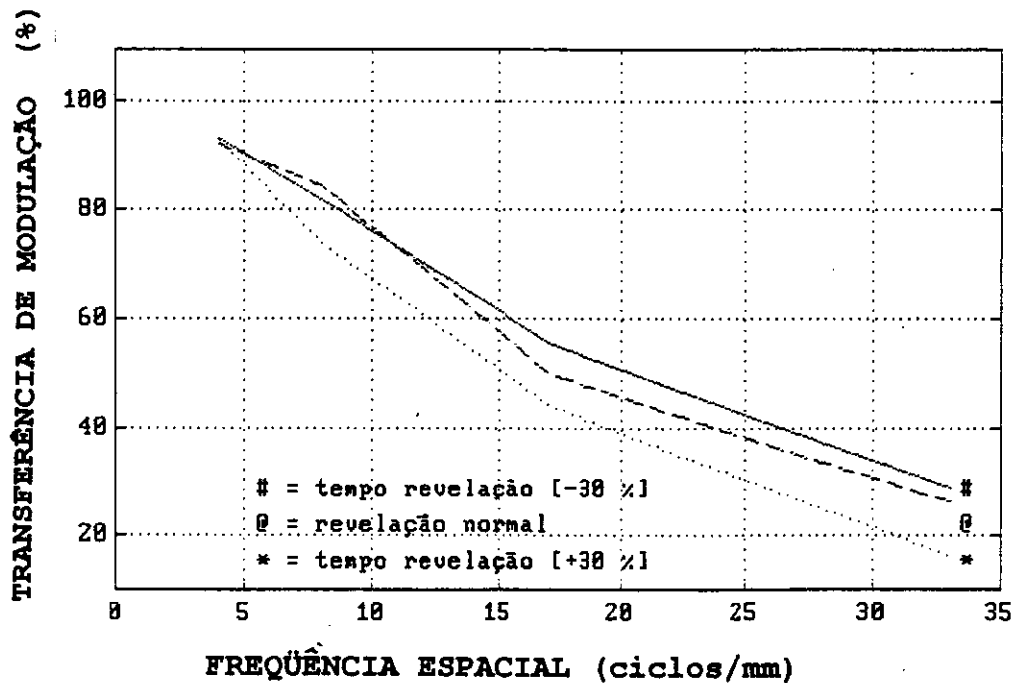


Fig. 4.21 - Oscilação da Função de Transferência de Modulação Variando o Tempo de Revelação do Filme 2421.

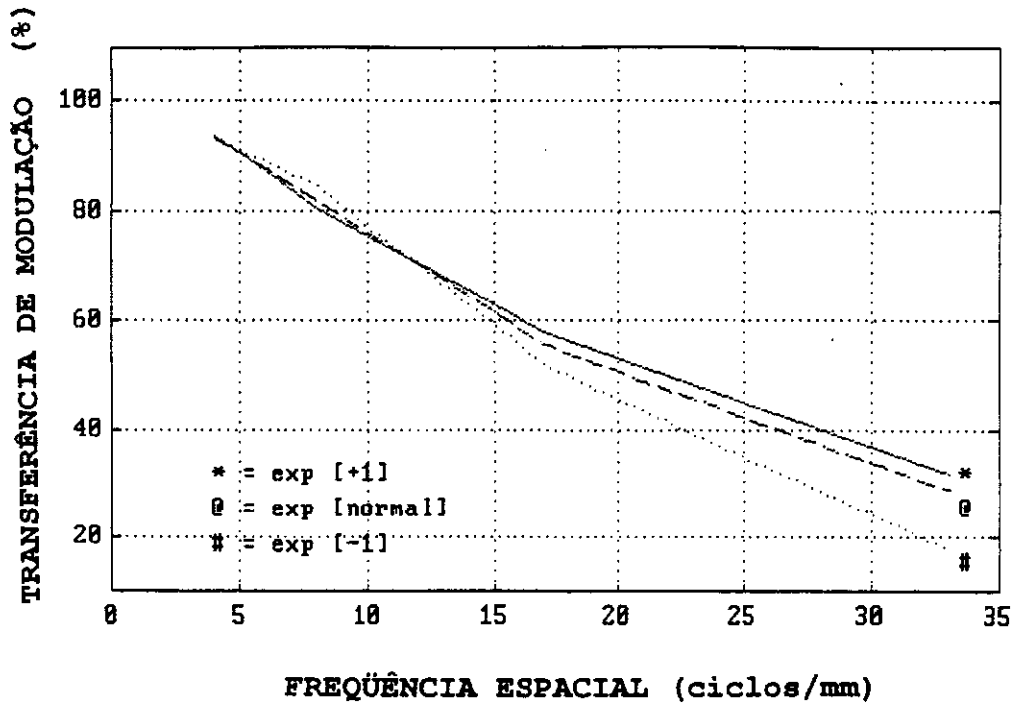


Fig. 4.22 - Oscilação da Função de Transferência de Modulação Variando a Exposição na 3ª Geração.

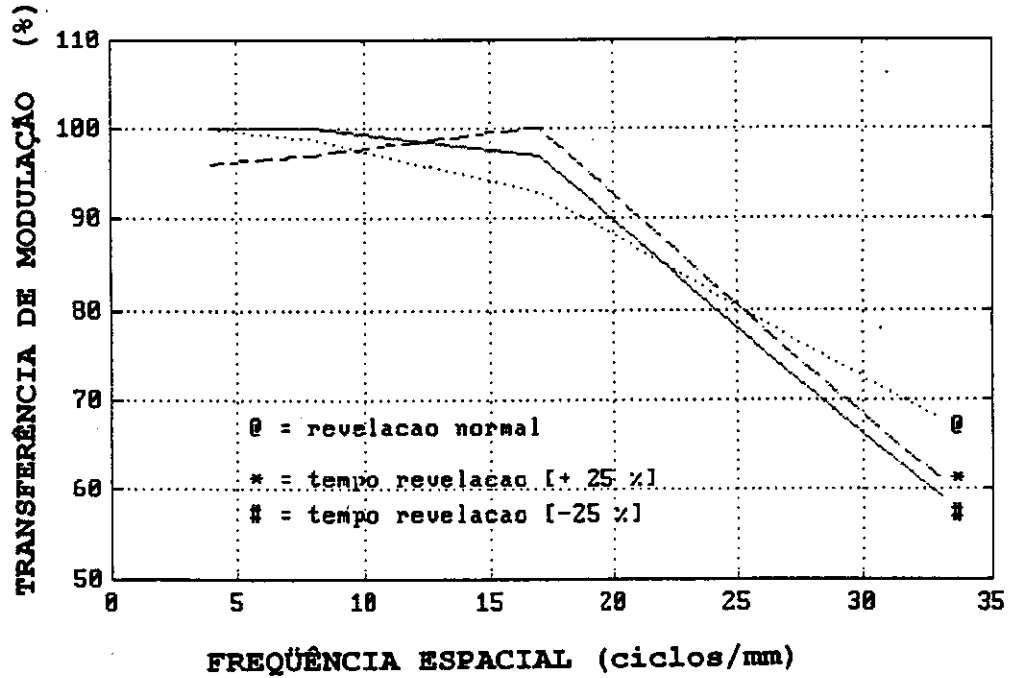


Fig. 4.23 - Oscilação na Função de Transferência da Modulação Variando o Tempo de Revelação no Filme S0219.

4.3.1.1 - Considerando a Variação de Exposição

A variação no tempo de processamento fotoquímico tanto no filme SO-219, quanto no filme 2421 obtiveram respostas similares em termos de FTM. Pois reafirmou que as condições normais estão otimizadas, sendo significativamente melhor a condição de processamento normal do filme SO-219 que é responsável pela geração do "master" (Figuras 4.21 e 4.23).

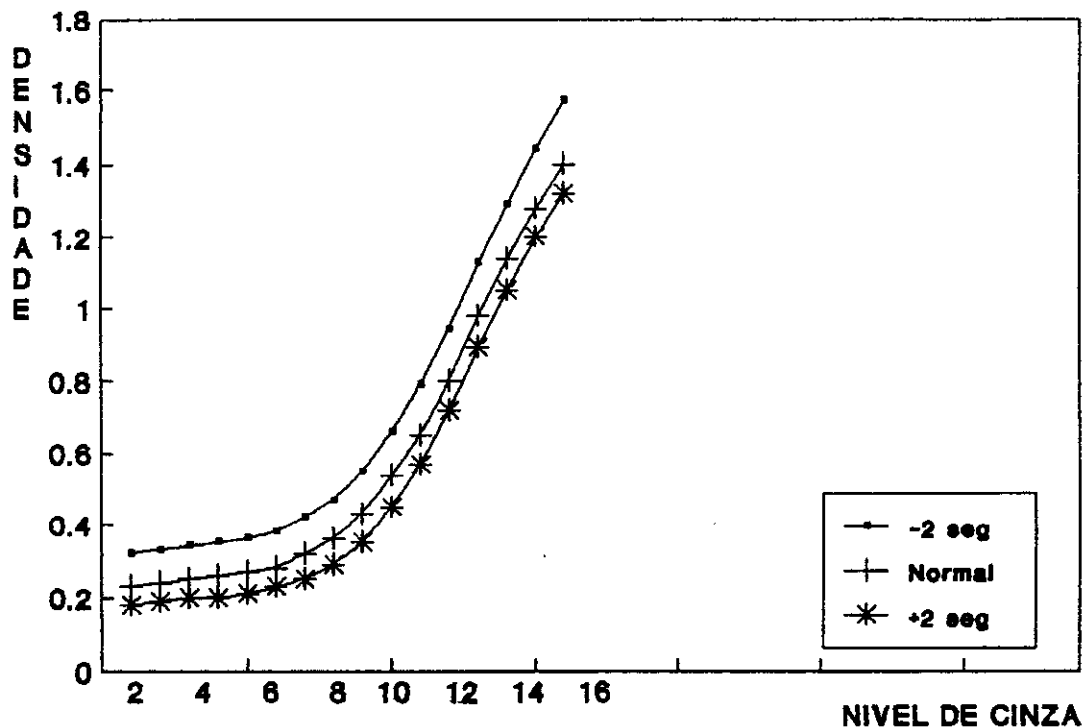


Fig. 4.24 - Variação da Exposição na 3ª Geração.

As variações de exposição apresentadas nas Figuras 4.24, 4.25 e 4.26, mostram a influência da exposição em todo processo. Foi constatado que tanto na 1ª Geração quanto na 2ª Geração, não é significativa, em

termos de contraste, a diminuição da exposição na faixa de altas densidades, com ligeira perda nas baixas densidades na 1ª Geração. Na resposta da 2ª Geração, observa-se que abaixo de 0,18 de densidade inicia uma perda na região do pé da curva, que corresponde às áreas de altas densidade do original, logo, áreas de informações importantes na imagem, como florestas, por exemplo. Isto ocorre devido à curva característica do filme, onde a latitude do filme já insere alguma perda.

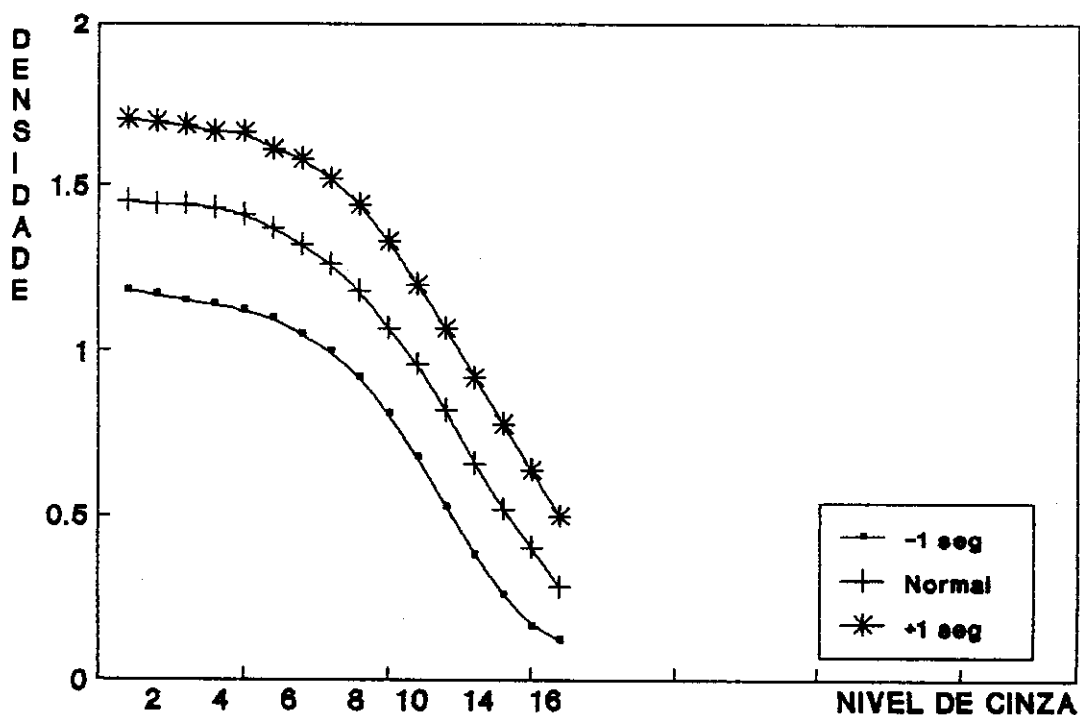


Fig. 4.25 - Variação da Exposição na 2ª Geração.

Alterando o tempo de processamento Figura 4.27, a resposta densitométrica mostra que o processamento pode ser alterado para 1,76D com uma faixa de densidade de 1,46D.

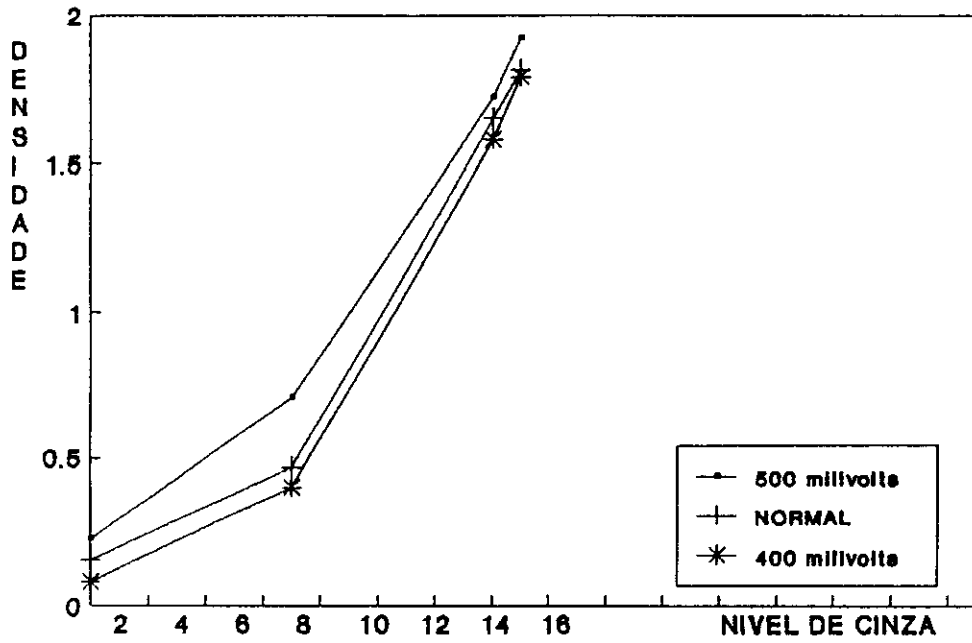


Fig. 4.26 - Variação da Exposição na 1ª Geração.

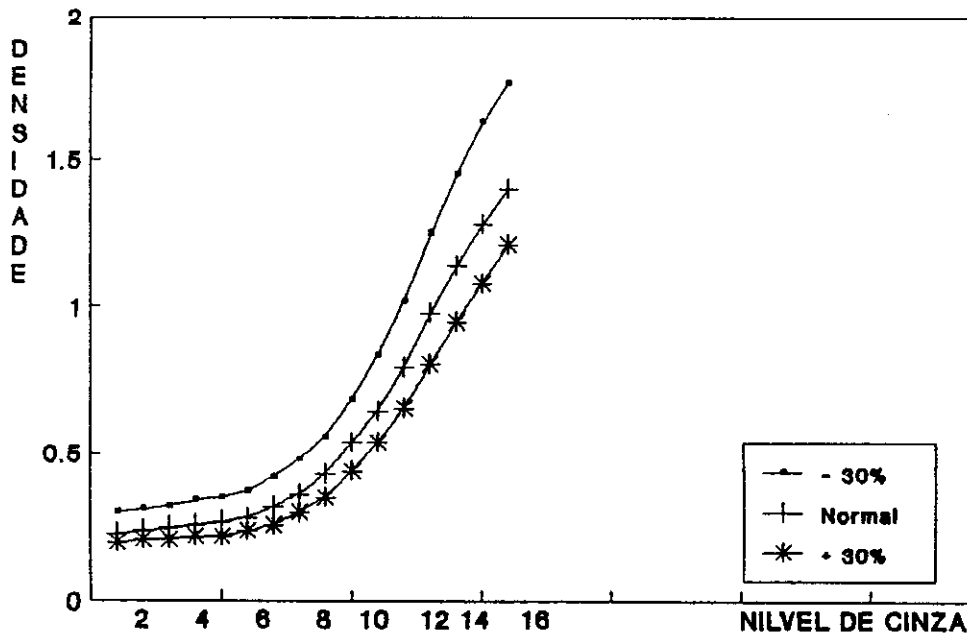


Fig. 4.27 - Alterações no Tempo de Revelação no Processamento do Filme 2421.

4.3.1.2 - Considerando a Variação no Tempo de Revelação

Quanto ao processamento do filme 2421 é interessante observar (Figura 4.25) que o aumento da exposição, não aumentou significativamente a faixa de densidade nem alterou o gama. Entanto a variação no tempo de processamento fotográfico, conseguiu-se maior faixa de densidade aumentando-se o tempo de revelação (Figura 4.27). Já o filme SO-219, apresenta significativa condição de aumento da densidade máxima (Figura 4.28).

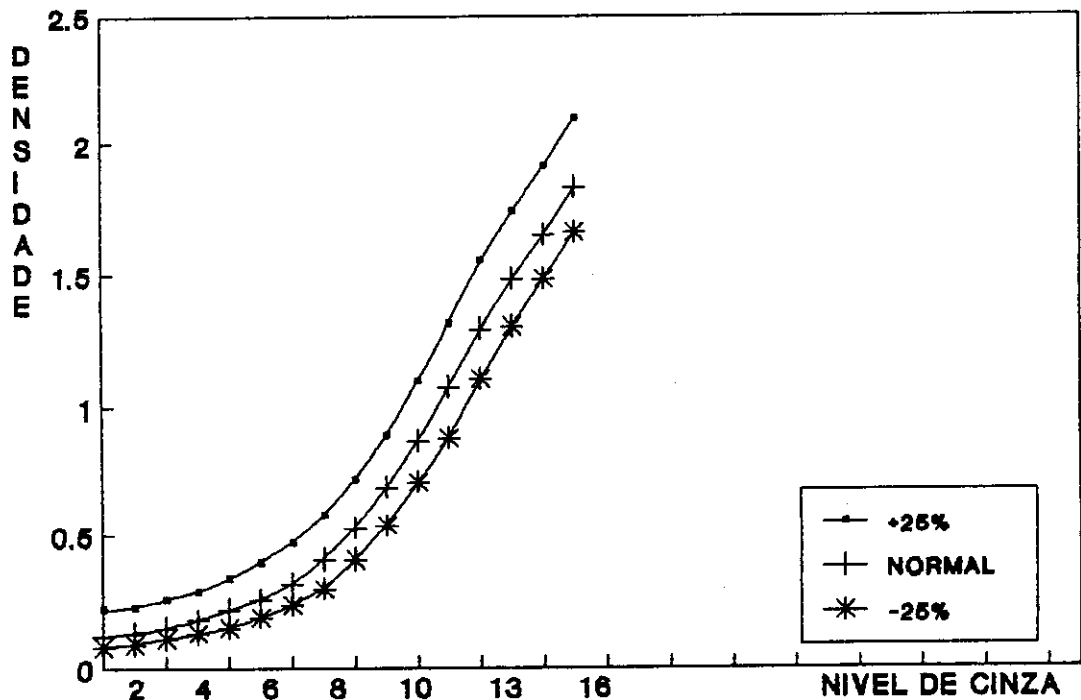


Fig. 4.28 - Alteração no Tempo de Revelação no Filme SO-219

CAPÍTULO V

CONCLUSÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES

O processamento foi analisado dentro de uma ótica de que é fundamental em sensoriamento remoto a nitidez, a repetitividade e que o sistema fotográfico deve procurar manter a fidelidade dos dados originais coletados pelo satélite.

Aqui neste trabalho deu-se maior atenção ao fluxo de produção da transparência positiva preto e branco, entretanto é igualmente válido também para novos estudos de outros produtos. Foram abordados indiretamente todos os produtos fotográficos Landsat, avaliando-se as condições densitométricas e microdensitométricas, dentro do ambiente real de produção.

A avaliação foi feita por etapas de produção, pois cada etapa tem suas peculiaridades próprias de controles densitométricos, normas e procedimentos de produção, e depois conjuntamente levando em consideração sua inter-relação.

5.1 - CONCLUSÕES - 1ª ETAPA DE PRODUÇÃO

Algumas considerações devem ser feitas sobre o processamento do "master" e as curvas característica dos materiais fotográficos utilizados em cada etapa de processamento:

O "master" é gerado no Laboratório Eletrônico, em filme SO-219 -"Kodak Direct Eletron Recording", exposto através de feixe de elétrons no gravador EBR. A imagem após processamento será positiva em

preto e branco. Vale ressaltar que a emulsão fotográfica do filme SO-219 caracteriza-se por possuir uma camada condutiva especial para possibilitar a condução de elétrons e alta quantidade de grãos extremamente finos de haletos de prata, que lhe confere alto poder de resolução, quando comparado com filmes profissionais fabricados para exposição à luz. Apresenta uma curva característica que exhibe um comportamento linear relativamente longo, mesmo nas altas densidades, capaz de permitir aumentos significativos de exposição.

Uma propriedade também marcante do SO-219 traduz-se por existir um comportamento de contraste (gama fotográfico) que praticamente independe do processamento fotográfico. Isto resulta sobretudo da própria exposição eletrônica que é capaz de sensibilizar praticamente todos os grãos de haletos de prata que estão no trajeto do feixe, sensibilizando de forma profunda à emulsão. Quando este tipo de sensibilização ocorre, praticamente já está definido o contraste da imagem que é altamente dependente da profundidade de sensibilização. Desta forma o processo fotográfico poderá influir muito na sensibilidade (velocidade), mas não no contraste. Outra variável muito importante neste filme é sua "sensibilidade" função de maior ou menor eficiência da camada condutiva. Onde, por algum motivo houver falha ou deficiência desta camada, a condução de elétrons ficará prejudicada e uma menor sensibilização terá lugar, criando, por exemplo, manchas claras.

Quanto a curva de produção do "master" (1ª Geração), esta tem atendido às necessidades dos usuários desde a implantação do sistema antigo, que processava as imagens do sensor MSS, e se manteve para o sistema atual que gera imagens do sensor TM. Foi escolhida de acordo com as limitações de produção da época, ajustando-se às

necessidades de realce nas regiões de baixo contraste e altas densidades, por exemplo a floresta amazônica. Pois não se dispunha de equipamentos que facilitavam o tratamento radiométrico da imagem no disco ou antes de ser enviado ao gravador de filmes EBR.

O Gamma Digital, no quadro atual de produção, deveria buscar a linearidade da resposta do sistema, compensando a não linearidade do fotográfico.

Observa-se também que o INPE, entre os centros de distribuição Landsat comparados, é o que apresenta o menor resultado em termos de aproveitamento do intervalo de nível de cinza (latitude de exposição) . A adoção da linearidade implicaria também em maximizar a capacidade de exposição do filme, aumentando a condição de registro de níveis digitais presentes na imagem.

Estando a curva de produção linear, a responsabilidade pelas correções adequadas, de acordo com as características da imagem, fica para outras etapas do processamento. Isto, de certa forma, já ocorre, se considerarmos os ajustes de ganho e "off-set" para cada imagem antes do processamento.

Levando em conta o aspecto comparativo do tamanho da imagem da 1ª Geração do Fotográfico, um original em maior escala apresentará melhor reprodução. Sendo o "master" do INPE em filme de 127mm, leva certa desvantagem em comparação aos de 240mm, usados atualmente em vários países. Pois será necessário menores ampliações ou produzirá cópias por contato com melhor nitidez.

Considerando que a Faixa de Densidade demonstra o limite densitométrico da secção que é utilizada na curva característica, pode-se considerar que o "master"

do fluxo fotográfico para geração de imagens orbitais será melhor na medida em que apresentar maior latitude de exposição (intervalo de níveis de cinza aproveitado), dentro de uma maior Faixa de Densidade.

A Faixa de Densidade e a Densidade Máxima do INPE estão dentro dos requisitos mínimos estabelecido pelo LTWG (1990), no valor adequado do filme, e que o contraste, comparativamente aos outros centros, é o maior em parte significativa da curva. Isto dá uma condição de boa qualidade visual (aparência) na imagem, mas perdendo quanto ao aspecto de capacidade de registro de informações na 1ª Geração.

A curva ideal de produção terá que levar em consideração também as condições das etapas seguintes do processamento fotográfico (tipo de papel, filme, equipamentos, fotoquímicos, etc.), de forma que a perda por compressão de tons ou cópia seja a menor possível, o que será visto a seguir, nas avaliações da 2ª Etapa e da 3ª Etapa de produção.

5.2 - CONCLUSÕES - 2ª ETAPA DE PRODUÇÃO

Quando um negativo é impresso em um material positivo, por contato ou por projeção, o efeito da densidade efetiva no negativo depende da distribuição geométrica ou grau de difusão da luz que cai no negativo e a fração de luz transmitida que é coletada pelo positivo (CARROL et al., 1980).

A cada etapa de cópia ou ampliação, entre o original ("master") até o produto final, representa degradação de informações pictoriais. Pois a medida que é feita mais uma cópia fotográfica, fatores como dispersão da luz, compressão de tons e o aumento do número de

processamento químico fazem que a cada cópia, se adicione as interferências de luz e revelação, desgastando o sinal inicial. O ajuste da latitude de filmes diferentes também poderá representar degradação da qualidade microdensitométrica se não houver aproveitamento adequado.

As imagens em transparência preto e branco positiva perdem em termos de qualidade de contraste em relação a primeira geração, pois, a curva ideal seria a que mais se aproxima das condições densitométricas da primeira geração, o comportamento densitométrico desta curva, perde em termos de contraste, tanto observando o gama fotográfico (γ), como na Faixa de Densidade.

Na Figura 5.1 foram plotados os valores padrões da Densidade Máxima e Mínima da 1ª, 2ª e 3ª geração de produção, de forma a visualizar esquematicamente a compressão de tons sofrida através da redução da faixa de densidade.

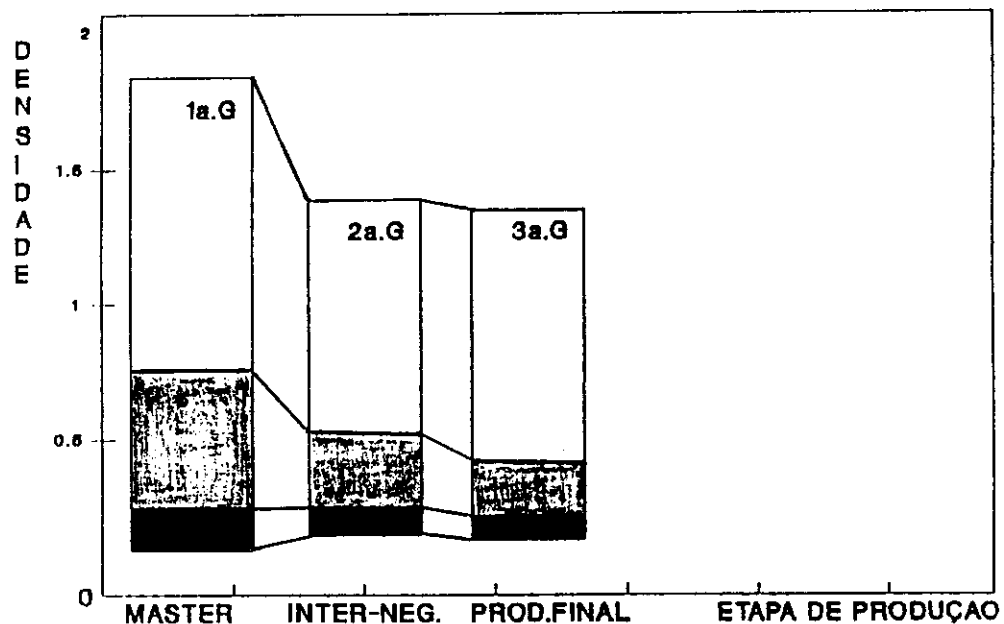


Fig. 5.1 - Interação Densitométrica entre as Etapas de Produção Preto e Branco.

Quando optou-se em trabalhar com o papel Kodabrome, foram feitos testes densitométricos para avaliar as condições de latitude de exposição, e foi estabelecida a condição de densidade máxima em 1,50 e a densidade mínima em 0,15 para a segunda geração (filme 2421), de modo a trabalhar a sensitometria para adaptar a curva de transferência para as condições de latitude do papel fotográfico utilizado.

Pode-se constatar pelo aspecto da FTM, que a segunda geração não contribui com a qualidade da imagem, mas é necessária devido ao aspecto operacional. Pois no sistema de produção atual a segunda geração é usada para trabalhar a sensitometria de modo a melhor adaptar a curva de transferência para a terceira geração em papel (produto final).

Os parâmetros densitométricos para a geração de transparência deveram se aproximar dos mesmos valores adotados na primeira geração. Respeitando a condição não linear do filme na segunda geração, haverá alguma perda inevitável por compressão de tons, mas se aproveitará melhor as condições de latitude dos filmes.

5.3 - CONCLUSÕES - 3ª ETAPA DE PRODUÇÃO

Podemos concluir que, devido à contingência do sistema fotográfico, a resposta microdensitométrica pode oscilar. É bom observar que fatores inerentes ao alvo também implicam na variação destes valores. Por isto não é fundamental que o processo esteja rigorosamente com respostas iguais, quanto a qualidade microdensitométrica. É importante, quanto ao controle do processo, mantê-lo dentro dos limites, para não interferir significativamente no

produto. Quanto a esse aspecto, acredita-se que o processo atual atende.

O filme 2421 mostrou condições de responder a padrões densitométricos com densidade máxima e faixa de densidade ("range") maiores tanto na 2ª quanto na 3ª Geração.

As condições de processamento dentro do padrão densitométrico proposto está otimizado. Pois considerando as alterações próximas ao padrão, tanto no processamento fotoquímico quanto na exposição pioram a resposta da FTM.

As principais conclusões, já discutidas anteriormente por etapa de produção, podem ser resumidas como segue:

1) no INPE, o Gamma Digital para o processamento de imagens orbitais Landsat foi adotado em função das necessidades de realce das áreas de baixo contraste em alta densidades, e não para corrigir a resposta do filme, buscando a linearidade ou o aumento da latitude de exposição do filme;

2) o intervalo de níveis de cinza aproveitado na 1ª geração, considerando os padrões densitométricos adotados, é o menor entre os países comparados;

3) o tamanho da 1ª Geração é pequeno comparado com os em uso atualmente no mundo, caso fosse maior haveria melhor condição para produção de imagens, com melhor nitidez;

4) a 2ª geração é usada para acomodar a curva de transferência para as condições de latitude do papel fotográfico. Essas mesmas condições prejudicam a qualidade

das transparências, que são expostas em filmes com maiores latitudes de exposição;

5) da 1ª para 2ª geração, os parâmetros densitométricos são alterados, havendo perda de informações. Já da 2ª para 3ª geração, o padrão densitométrico é mantido. Com isto, o produto "Transparência", produzido no INPE, perde informações densitométricas que poderiam ser mantidas.

6) no que se refere à hipótese discutida anteriormente de se produzir imagens em transparência preto e branco em duas etapas, pode-se concluir que é possível tecnicamente, mas teria alguns inconvenientes como a alteração do formato prejudicando as anotações de borda; seria necessário uma linha de produção distinta para imagens em papel e outra para imagens em filme, tanto para colorido quanto para preto e branco; para evitar a perda na FTM teria de se usar máscara (digital ou não) na 1ª geração.

7) alterações no processamento fotoquímico da última etapa de produção de "transparências", visando aumentar os valores de densidade máxima e da faixa de densidade (para densidade máxima 1,77D e faixa de densidade 1,48D). Haveria um ganho de contraste, e o filme comporta esta condição, como foi demonstrado.

8) a perda registrada na variação da FTM são maiores a cada etapa de produção e comprometem mais a qualidade da imagem a medida que aumenta o número de etapas de produção.

9) a etapa mais estável em termos de resposta da FTM é a 1ª Geração.

Conclui-se que o sistema ideal, dentro do quadro atual de equipamentos, passaria por:

1) novo Gamma Digital na produção do Master, com realce linear, permitindo a reprodutibilidade das correções feitas na etapa anterior no "laboratório eletrônico";

2) revisão dos parâmetros de controle densitométrico para 2ª geração que produz a Transparência na 3ª geração, buscando valores densitométricos próximos ao da 1ª geração, mantendo as informações pouco alteradas;

3) separação do fluxo de produção de Transparências do fluxo de produção de imagens em papel, possibilitando maior aproveitamento da latitude do filme para Transparências Preto e Branco.

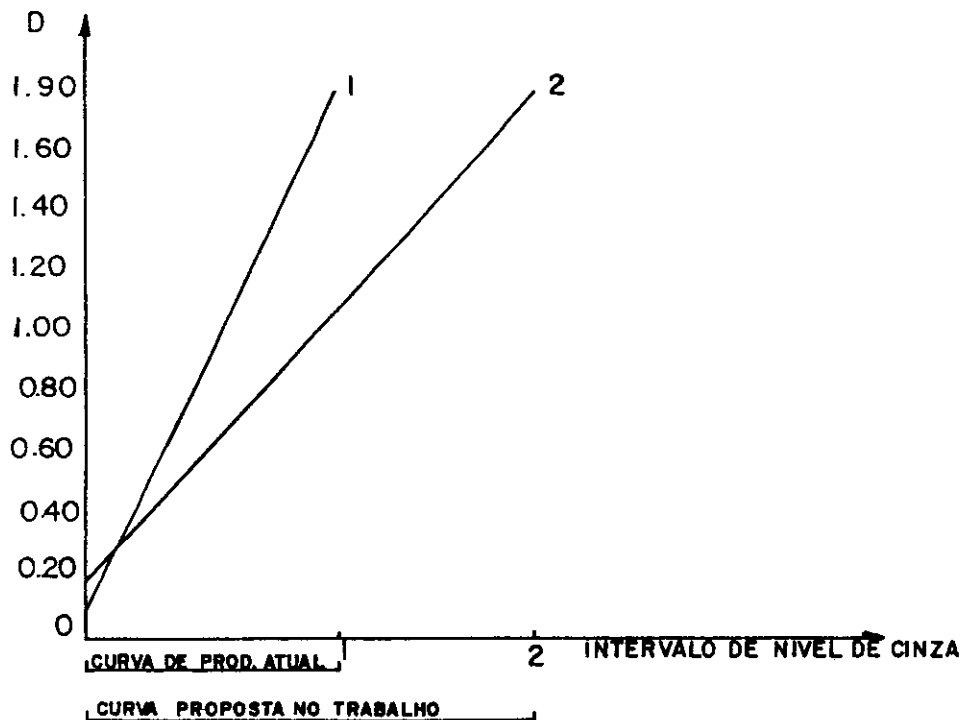


Fig. 5.2 - Aumento do Intervalo de Cinza Aproveitado.

5.4 - SUGESTÕES E RECOMENDAÇÕES

Para obtermos um melhor intervalo de nível de cinza aproveitado na imagem da 1ª geração, propõe-se manter os valores de densidade máxima e faixa de densidade próximos aos atuais, pois o fluxo não comporta uma $D_{máx}$ maior nem uma faixa de densidade muito diferente da adotada, devido as condições das etapas seguintes do processo fotográfico. A proposta é a linearidade da curva de produção com ajuste do gama fotográfico, otimizando a curva característica da resposta densitométrica do filme, aumentando a capacidade de retenção de informação (Figura 5.2). A linearidade deve respeitar as condições adequadas ao processo, como as condições de exposição das etapas subseqüentes. Os padrões densitométricos sugeridos neste trabalho, para a 1ª Geração, são apresentados na Tabela 5.1.

TABELA 5.1 - PADRÃO DENSITOMÉTRICO PROPOSTO PARA A 1ª GERAÇÃO DO FOTOGRAFICO CONSIDERANDO A RESPOSTA LINEAR

PARÂMETRO	proposto
Densidade Máxima	1,80D
Faixa de Densidade	1,60D
Densidade Mínima	0,20D
Gama Fotográfico	1,06

Nesta proposta, assumimos que devemos trabalhar no valor máximo de densidade aceito atualmente e elevar ligeiramente a densidade mínima para melhor se adaptar a condição de latitude do filme 2421, da segunda

etapa. O gama fotográfico é mais baixo do que o atual, pois dentro de uma latitude de exposição maior (a região linear foi ampliada), acomodaria maior capacidade de retenção de níveis de cinza, respeitando as correções de ganho e "offset" feitas anteriormente no "Laboratório Eletrônico", conforme mostra a Figura 5.3.

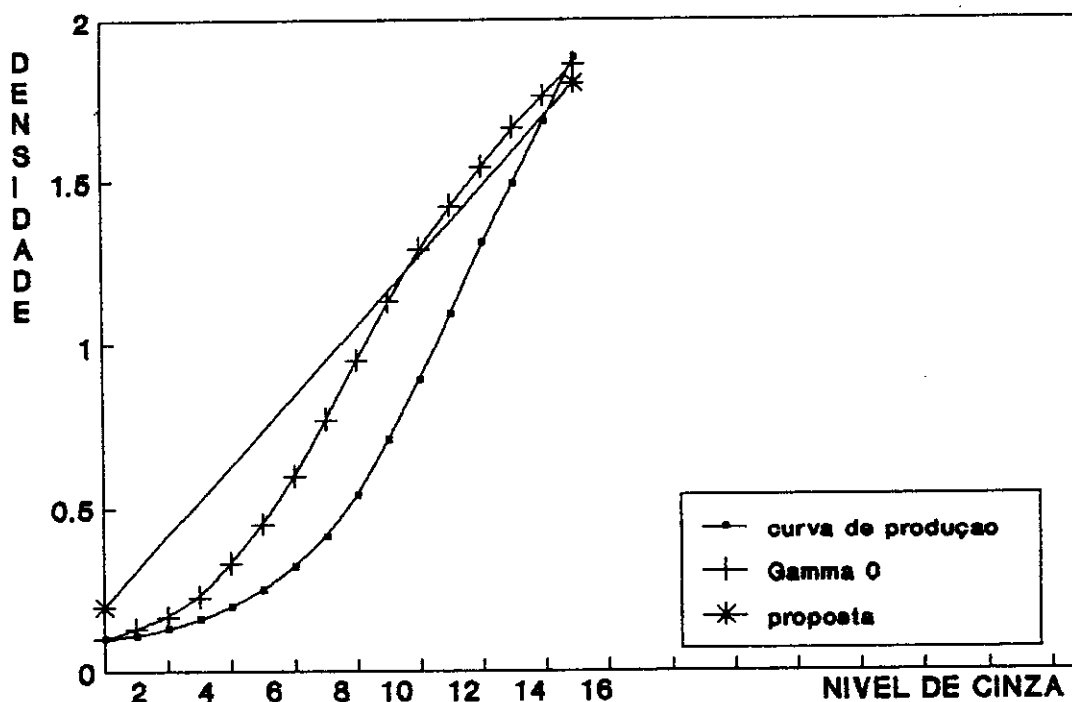


Fig. 5.3 - Comportamento da Curva de produção atual em Relação a Proposta pelo Trabalho.

Com estas alterações podemos rever o gráfico que relaciona o intervalo de nível de cinza aproveitado pelo "master" em varias organizações no mundo. Onde podemos observar uma posição melhor em termos de retenção de informações (Figura 5.4). Com a curva de produção proposta, o intervalo de cinza aproveitado no "master" fotográfico, estaria em boa condição relativa aos demais países.

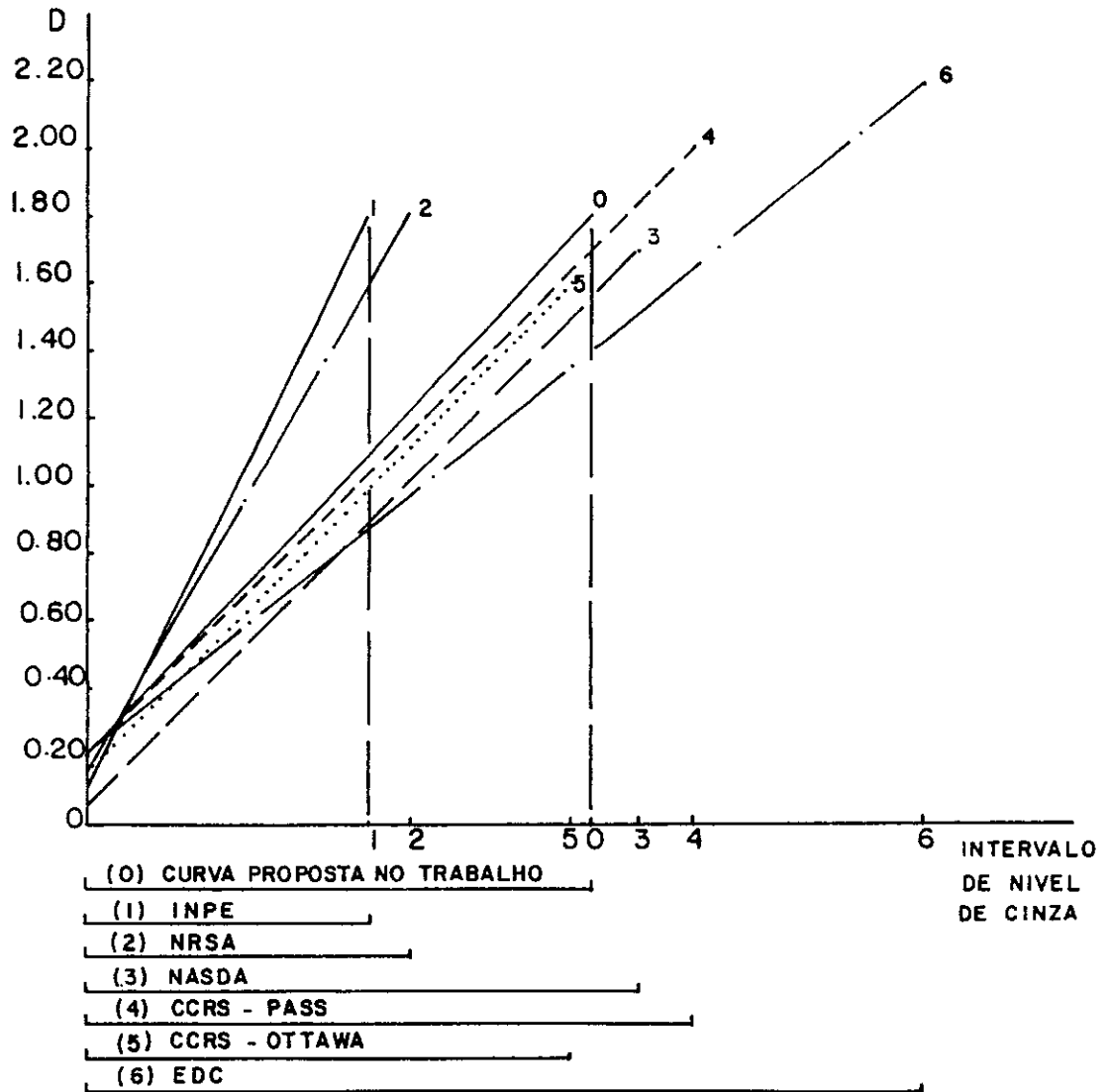


Fig. 5.4 - Densidade x Intervalo de Nível de Cinza.

Na 2ª Geração os parâmetros sensitométricos comportam uma variação de densidade que podem ser máxima em 1,77/1,80 tendo a mínima de 0,15/0,20, mantendo uma coerência densitométrica entre a 1ª e 2ª etapa de produção, podendo ser mantida também na 3ª Geração.

Para os produtos em papel preto e branco, sugerimos a utilização de material fotográfico com maior

latitude de exposição, por exemplo papel tipo policontraste, que permitirá melhor aproveitamento das informações registradas no filme. A dificuldade quanto a se utilizar este tipo de papel, é não se encontrar no mercado em tamanho adequado aos produtos do INPE. Atualmente a EDC nos Estados Unidos e a NRSA na Índia usam este material. Em caso de se produzir no tipo de papel hoje em uso no INPE, a segunda geração para produção em papel deve manter os atuais parâmetros de controle densitométrico.

Cabe salientar que embora não tenha sido objeto de estudo específico neste trabalho, os produtos coloridos por possuem a mesma 1ª geração do fluxo preto e branco, a princípio, só ganham com esta mudança, pois usando para composição falsa cor, imagens com melhores condições de informações, dentro dos padrões densitométricos que a segunda geração do colorido, tem condições de trabalho.

Seria interessante programar um filtro para reconstrução da imagem analógica, utilizando os dados da FTM, tentando compensar parcialmente as limitações do sistema de aquisição e processamento da reprodução fotográfica.

Como conclusão final pode-se avaliar que o fluxo está em plena coerência com as necessidades até hoje exigidas, mas do ponto de vista operacional poderia ser mais adequado no que se refere às transferências de informações e aos registros coletadas no satélite e expostas na 1ª geração, como foi observado tanto no estudo relativo a otimização dos parâmetros densitométricos (perda por transferência), quanto na escolha do gamma digital (perda na latitude da 1ª geração).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Australian Centre for Remote Sensing (ACRES). Dados sobre características de produção e especificações de produtos fotográficos orbitais fornecidos pela organização. Belconnen, Austrália, 1991.
- Baker, L.R., ed. **Quality assurance in optical & eletro-optical engineering**. Delft, Netherlands, SPIE, 1975. Proceedings of the Society of Photo-Optical instrumentation Engineers held in Delft, Netherlands, Sept. 2-4, 1975. v.73
- Belder, M.D.; Jones, R.A.; Sorem, A.L.; Welander, E. **Photographic modulation transfer functions**. Canadá, July Aug. 1972. Report by the Commission I Working Group of the International Society for Photogrammetry to the XIIth ICP.
- Blitzkow, D. **Função de transferência de modulação: aplicação ao estudo do desempenho dos sistemas aerofotográficos**. São José dos Campos, INPE, set. 1974. (INPE-525-LAFE)
- Busselle, M. **Tudo sobre fotografia**. [Master photography]. São Paulo, Livraria Pioneira, 1988. 224 p.
- Carrol, B. H.; Higgins, G.C.; James, T.H. **Introduction to Photographic Theory: the silver halide process**. New York, NY, John Wiley & Sons, 1980. 355 p.

Eastman Kodak **Properties of Kodak Materials for aerial photographic systems**: Kodak aerialfilms and photography plates. Rochester, NY, 1972, v.1. (Kodak M-61).

_____ **Filmes Kodak profissionais em preto e branco**. São Paulo, 1978. (Kodak F-5)

_____ **Kodak data for aerial photography**. Rochester, NY, 1982. (Kodak Publication M- 29).

_____ **Kodak data for aerial photography**. 5.ed. Rochester, NY, 1982. 136 p. (Kodak Publication M-29).

_____ **Kodak direct electron recording film, SO-219**. Rochester, s.d. 4 p.

Grosso, P.F.; Tarnowski, A.A. Electron beam recording on film: applications and performance. **Electro-Optical Systems Design**, 8(1):56-61, Aug. 1976.

Hempenius, S.A. Aspects of photographic systems engineering. **Applied Optics**, 3(1):45-53, Jan. 1964.

Higgins, G.C. Methods for analyzing the photographic system, including the effects of nonlinearity and spatial frequency response. **Photographic Science and Engineering**, 15(2):106-119, Mar.-Abr. 1971.

Image Graphics (IGI) **Raster scan translator.** Fairfield, CT, s.d.

_____ **Operation and maintenance manual raster scan translator.** Fairfield, CT, s.d.

_____ **Instruction manual for SEP electron beam record.** Fairfield, CT, s.d.

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Société Européene de Propulsion. (INPE.SEP) **General system analysis: EBR technical specifications.** s.l., 1981. (TS/B/RR/400/5/81)

_____ **General system analysis.** s.l., 1982. (TS/B 40013/81). v.1

_____ **Acceptance test procedures for SPI.** s.l., 1983. (DTI/SYB/MN 40014/83).

_____ **Sistema Landsat: estação brasileira para recepção e processamento dos dados TM dos satélites Landsat.** São José dos Campos, s.d.

James, T.H. **The theory of the photographic process.** 4.ed. New York, NY, Macmillan Publishing, 1977. 714 p.

Joyce-Loebl. **Instruction manual for microdensitometer 3**
CS. England, s.d.

Landsat Technical Working Group (LTWG). TM photo products
quality assurance standards and procedures. In: _____.
Suggested guideline for product quality assurance
standards and process. India, NRSA, 1990. pt. 2, p.
11-21. (Lib-Ref-0051).

Landsat Technical Working Group (LTWG), 5., Sioux Falls,
SD, Sept. 29-30, 1983. **Proceedings.** Sioux Falls, SD,
EROS Data Center, 1983. (LIB-PRO-0013).

Landsat Technical Working Group (LTWG), 6., São José dos
Campos, SP, June 12-15, 1984. **Proceedings.** São José dos
Campos, SP, INPE, 1984. (LIB-PRO-0014).

Landsat Technical Working Group (LTWG), 10., Singapore,
Feb. 2-6, 1987. **Proceedings.** Singapore, EOSAT, 1987.

Landsat Technical Working Group (LTWG), 11., Washington,
D.C., Sep. 28-Oct. 2, 1987. EOSAT, 1987. **Proceedings.**
Washington, D.C.

Landsat Technical Working Group (LTWG), 12., Rome, Italy,
Oct. 24-28, 1988. **Proceedings.** Rome, Italy, ESA, 1988.

Machado e Silva, A.J.F. et al **Estudo da qualidade geométrica das imagens MSS-LANDSAT.** São José dos Campos, INPE, ago. 1988. (INPE-4563-PRE/1360).

_____ **Modelos de correção geométrica para imagens HRV-SPOT.** Dissertação de Mestrado em Computação Aplicada - Instituto de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1989. 239 p. (INPE-5001-TDL/395).

_____ **Procedimentos para avaliação da qualidade geométrica de produtos orbitais analógicas processadas no Instituto de Pesquisas Espaciais.** Cachoeira Paulista, INPE, s.d.

Naithani, K.K. Can satellite images replace aerial photographs? A photogrammetrist's view. **ITC Journal**, (1): 29-31, 1990.

NASA. Manned Spacecraft Center. **The meaning of resolving power and the modulation transfer function.** Houston, TX, May 1968. 41 p. (Technical working paper LEC/HASD N. TWP-68-17).

NASDA. Earth Observation Center. **Dados sobre características de produção e especificações de produtos fotográficos orbitais fornecidos pela organização.** Ohashi, Japan, 1991.

Neblete, C.B. **Photography its principles and practice.** 4.ed. New York, NY, D. Van Nostrand, 1942. 865p.

_____ et al. **Photography its materials and processes.**
16.ed. New York, NY, Van Nostrand Reinhold, 1962. 499p.

Pereira, S.P. **Landsat data quality control standards and procedures, brazilian Landsat ground station.** São José dos Campos, INPE, s.d. 17p.

Radarsat International Ins (RADARSAT). **Dados sobre características de produção e especificações de produtos fotográficos orbitais fornecidos pela organização.** Richmond, BC, 1991.

Sanchez, R.D.; Mcsweeny, J.A. **Principles and practices of satellite multispectral image mapping in the N.S. geological survey.** Reston, VA, U.S. Geological Survey, 1986. 48 p.

Schnabel Jr., J.J.; Kalshiven Jr., J.E.; Tom, D.
Modulation transfer function (MTF) Measurement techniques for lenses and linear detector arrays. Greenbelt, MD, NASA.GSFC, 1984. 16p. (NASA TM 86168).

Simonds, J.L.; Kelch, J.R.; Higgins, G.C. **Analysis of fine detail reproduction in photographic systems.** *Applied Optics*, 3(1):23-28, Jan. 1964.

Slater, P.N. **Remote sensing: optics and optical systems.**
Reading, MA, Addison-Wesley, 1980. 575 p.

Société Européenne de Propulsion (SEP) INPE/Brazil Land-
sat D Station: E.B.R. technical specifications. In:
General system analysis. Puteaux, 1981. v.2, cap. 2,3.

Standard Operating Procedure (SOP) In: Process and
end product quality control. s.l., 1972. (SOP 2C-06).

Tarnowski, A.A.; Evans, C.H. Photographic data recording
by direct exposure with electrons. **Journal of the SMPTE,**
71:765-768, Oct. 1962.

Thomas Junior, W. **SPSE handbook of photogrammetric science
and engineering.** New York, NY, John Wiley & Sons, 1973.
1416 p. (Open-File Report 86.008).

U.S. Department of Air Force **Precision photographic
processing management. Sensitometric control techniques,
technical training.** Lowry Air Force Base, CO, Technical
Training Wing, Oct. 1985.

Welch, R. Modulation transfer functions. **Photogrammetric
Engineering,** 37(3):247-259, Mar. 1971.