

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA

Paracer

Este exemplar corresponde a redação final da dissertação de Mestrado defendida por Antonio Celso Joaquim e aprovada pela Comissão Ju-
dora em 27 de março de 1998. Campinas, 27 de abril de 1998

IDENTIFICAÇÃO DE VARIEDADES DE CANA-DE-AÇÚCAR EM
TRÊS CLASSES TEXTURAIS DE SOLOS, NA REGIÃO DE
ARARAQUARA-SP, ATRAVÉS DA ANÁLISE DE NÍVEL DE CINZA
EM IMAGENS LANDSAT/TM

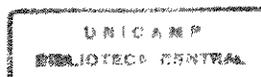
por

ANTONIO CELSO JOAQUIM

ORIENTADOR: Prof. Dr. JANSLE VIEIRA ROCHA

Dissertação apresentada a Faculdade de Engenharia
Agrícola da Universidade Estadual de Campinas-
UNICAMP, para a obtenção do título de mestre em
Engenharia Agrícola, com área de concentração em
Planejamento e Produção Agropecuária.

CAMPINAS/SP
MARÇO, 1998



| | |
|--------------|-------------------------------------|
| UNIDADE | BC |
| N.º CHAMADA: | TUNICAMP |
| | JOSIA |
| V. Ex. | |
| TUMBO BR/ | 34,254 |
| PROG. | 395/98 |
| C | <input type="checkbox"/> |
| D | <input checked="" type="checkbox"/> |
| PREÇO | R\$ 11,00 |
| DATA | 16/06/98 |
| N.º CPD | |

CM.00112641.3

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA - BAE - UNICAMP

J574i

Joaquim, Antonio Celso

Identificação de variedades de cana-de-açúcar em três classes texturais de solos, na região de Araraquara-SP, através da análise de nível de cinza em imagens LANDSAT/TM. / Antonio Celso Joaquim.--Campinas, SP: [s.n.], 1998.

Orientador: Jansle Vieira Rocha

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola.

1. Cana-de-açúcar - Variedades. 2. Sensoriamento remoto. 3. Processamento de imagens - Técnicas digitais. I. Rocha, Jansle Vieira. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Agrícola. III. Título.

À minha esposa **Laudicéia**
e aos meus filhos **Lucas e Luis Fernando**

Dedico

À minha mãe **Assunta**, pelo incentivo
desde os primeiros dias de escola

Ofereço

AGRADECIMENTOS

- Ao Prof. Dr. Jansle Vieira Rocha pela amizade, incentivo, apoio e orientação na realização deste trabalho.
- Ao Engenheiro Agrônomo Jorge Luiz Donzelli, do Centro de tecnologia Copersucar, pela oportunidade, incentivo, revisão do texto e sugestões.
- À Cooperativa de Produtores de Cana, Açúcar e Álcool do Estado de São Paulo Ltda. pelo apoio e pela oportunidade de aperfeiçoamento oferecida.
- À Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas pela oportunidade de realização do curso.
- Ao Pesquisador Rubens Augusto Camargo Lamparelli, do Centro de Pesquisas da Agricultura - CEPAGRI da Universidade Estadual de Campinas pela co-orientação e sugestões.
- Ao Engenheiro Agrônomo Claudimir Pedro Penatti, da Seção de Manejo de Solos do Centro de tecnologia Copersucar, pelo incentivo, revisão do texto, colaboração na análise estatística dos dados e sugestões.
- Ao Prof. Dr. João Domingos Biagi pelas sugestões na coleta e análise estatística dos dados.
- Ao Pesquisador Jurandir Zullo Jr., do Centro de Pesquisas da Agricultura - CEPAGRI da Universidade Estadual de Campinas pelas sugestões e pela correção radiométrica das imagens de satélite.
- À Desenhista Projetista Solange Maria Mina Padula pela confecção de figuras utilizadas neste relatório.
- Ao Desenhista projetista Tristão D'Avila Pinto Neto pela contribuição na manipulação das imagens de satélite.
- À Secretária Lucimara Andréia de M. Cruz pela tabulação deste relatório.
- À todos os amigos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

| | |
|---|-----------|
| SUMÁRIO..... | IV |
| LISTA DE ABREVIATURAS..... | VI |
| LISTA DE FIGURAS..... | VII |
| LISTA DE TABELAS..... | X |
| RESUMO..... | XII |
| ABSTRACT..... | XIV |
| 1. INTRODUÇÃO..... | 1 |
| 2. OBJETIVO..... | 5 |
| 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA..... | 6 |
| 3.1 CULTURA DA CANA-DE-AÇÚCAR..... | 6 |
| 3.1.1 <i>Variedades de Cana-de-Açúcar</i> | 9 |
| 3.1.2 <i>Solos Cultivados Com Cana-de-Açúcar</i> | 11 |
| 3.1.2.1 O ambiente edáfico para a cana-de-açúcar..... | 12 |
| 3.1.2.2 Tipos de levantamentos de solos utilizados na cana-de-açúcar..... | 13 |
| 3.1.3 Banco de dados utilizados na cana-de-açúcar..... | 13 |
| 3.2 CONCEITOS GERAIS DE SENSORIAMENTO REMOTO..... | 15 |
| 3.2.1 <i>Comportamento Espectral da Vegetação</i> | 17 |
| 3.2.2 <i>Comportamento Espectral de Solos</i> | 19 |
| 3.2.3 <i>Imagens LANDSAT/TM</i> | 20 |
| 3.2.4 <i>Processamento Digital de Imagens</i> | 21 |
| 3.2.4.1 Alterações radiométricas e geométricas em imagens digitais..... | 23 |
| 3.2.4.2 Pré-processamento de imagens de satélite..... | 25 |
| 3.2.5 <i>Níveis de Cinza</i> | 27 |
| 3.3 UTILIZAÇÃO DO SENSORIAMENTO REMOTO NA CULTURA DA CANA-DE-AÇÚCAR..... | 30 |
| 3.4 UTILIZAÇÃO DE MÉTODOS ESTATÍSTICOS NA AVALIAÇÃO DA EXATIDÃO DAS CLASSIFICAÇÕES..... | 32 |
| 4. MATERIAL E MÉTODOS..... | 35 |
| 4.1 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO..... | 35 |
| 4.2 IMAGENS DE SATÉLITE E MATERIAL CARTOGRÁFICO..... | 37 |
| 4.2.1 <i>Imagens LANDSAT/TM</i> | 37 |

| | |
|---|-----------|
| 4.2.2 Correção radiométrica das imagens de satélite | 39 |
| 4.2.3 - Material cartográfico..... | 40 |
| 4.3 CLASSES TEXTURAIS DE SOLOS..... | 42 |
| 4.4 VARIEDADES DE CANA-DE-AÇÚCAR..... | 42 |
| 4.4.1 Característica Botânica das Três Variedades de Cana-de-Açúcar | 43 |
| 4.5 BANCO DE DADOS AGRONÔMICOS..... | 46 |
| 4.6 AMOSTRAGENS DOS NÍVEIS DE CINZA..... | 46 |
| 4.7 METODOLOGIA DA ANÁLISE DE DADOS..... | 50 |
| 4.8 ANÁLISE DE EXATIDÃO ATRAVÉS DO ÍNDICE KAPPA | 50 |
| 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO | 53 |
| 5.1 NÍVEIS DE CINZA DAS VARIEDADES X TEXTURAS DE SOLO..... | 53 |
| 5.1.1 Níveis de Cinza da Variedade SP70-1143..... | 53 |
| 5.1.2 - Níveis de Cinza da Variedade SP71-1406..... | 60 |
| 5.1.3 - Níveis de Cinza da Variedade SP71-6163..... | 66 |
| 5.2 COMPARATIVO ENTRE OS NÍVEIS DE CINZA DAS VARIEDADES SP70-1143, SP71-1406 E SP71-6163..... | 72 |
| 5.3 MÉTODO ESTATÍSTICO "KAPPA" | 84 |
| 6. CONCLUSÕES..... | 87 |
| 7. BIBLIOGRAFIA CONSULTADA..... | 89 |
| 8. ANEXOS..... | 96 |

LISTA DE ABREVIATURAS

| | |
|-------------------|---|
| COPERSUCAR | Cooperativa de Produtores de Cana, Açúcar e Álcool do Estado de São Paulo |
| EMBRAPA | Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária |
| GA | Gerenciamento Agrícola |
| IBGE | Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística |
| INPE | Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais |
| IPT | Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo |
| NASA | National Aeronautics and Space Administration |
| SCORADIS | Sistema de Correção Radiométrica de Imagens de Satélite |
| SIG | Sistema de Informações Geográficas |
| SITIM | Sistema de Tratamento de Imagem |
| SNLCS | Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de solo |
| TM | Thematic Mapper |

LISTA DE FIGURAS

| | | | |
|-------------------|---|---|----|
| Figura 3.1 | - | Ciclo evolutivo de cana de 12 e 18 meses na região Sudeste. | 8 |
| Figura 3.2 | - | Espectro das ondas eletromagnética, com indicação das faixas utilizadas em sensoriamento remoto e respectivos sistema sensores. . | 16 |
| Figura 3.3 | - | Resposta espectral característica de vegetação verde | 18 |
| Figura 3.4 | - | Reflectância espectral de solo com textura arenosa e argilosa. | 20 |
| Figura 3.5 | - | Relação das faixas espectrais do sensor Thematic Mapper..... | 21 |
| Figura 3.6 | - | Níveis de cinza dos pixels na banda 5 da imagem de satélite LANDSAT/TM..... | 29 |
| Figura 4.1 | - | Localização da área de estudo, região de Araraquara/SP. | 35 |
| Figura 4.2 | - | Região de estudo com delimitação das áreas amostradas (níveis de cinza), na imagem LANDSAT/TM..... | 36 |
| Figura 4.3 | - | Relação das três faixas espectrais do sensor TM e reflectância espectral de alvos da superfície terrestre. | 39 |
| Figura 4.4 | - | Imagem de satélite LANDSAT/TM sem correção atmosférica. | 41 |
| Figura 4.5 | - | Imagem de satélite LANDSAT/TM com correção atmosférica. | 41 |
| Figura 4.6 | - | Variedade SP70-1143. | 43 |
| Figura 4.7 | - | Variedade SP71-1406. | 44 |
| Figura 4.8 | - | Variedade SP71-6163. | 45 |
| Figura 4.9 | - | Imagem LANDSAT/TM com duas texturas (média e argilosa) e as três variedades estudadas, baseadas em banco de dados..... | 46 |

| | | |
|--------------------|---|----|
| Figura 4.10 | - Pixels amostrados (pontos em amarelo) na área de controle das variedades SP70-1143 e SP71-6163 para a análise do Kappa..... | 51 |
| Figura 4.11 | - Mapa das áreas de controle baseados em banco de dados. | 52 |
| Figura 5.1 | - Média e desvio padrão dos níveis de cinza da variedade SP70-1143, em três texturas e três cortes, na banda 3. | 55 |
| Figura 5.2 | - Média e desvio padrão dos níveis de cinza da variedade SP70-1143, em três texturas e três cortes, na banda 4. | 57 |
| Figura 5.3 | - Média e desvio padrão dos níveis de cinza da variedade SP70-1143, em três texturas e três cortes, na banda 5. | 59 |
| Figura 5.4 | - Média e desvio padrão dos níveis de cinza da variedade SP71-1406, em três texturas e três cortes, na banda 3. | 62 |
| Figura 5.5 | - Média e desvio padrão dos níveis de cinza da variedade SP71-1406, em três texturas e três cortes, na banda 4. | 64 |
| Figura 5.6 | - Média e desvio padrão dos níveis de cinza da variedade SP71-1406, em três texturas e três cortes, na banda 5. | 66 |
| Figura 5.7 | - Média e desvio padrão dos níveis de cinza da variedade SP71-6163, em três texturas e três cortes, na banda 3. | 68 |
| Figura 5.8 | - Média e desvio padrão dos níveis de cinza da variedade SP71-6163, em três texturas e três cortes, na banda 4. | 70 |
| Figura 5.9 | - Média e desvio padrão dos níveis de cinza da variedade SP71-6163, em três texturas e três cortes, na banda 5. | 71 |
| Figura 5.10 | - Média e desvio padrão dos níveis de cinza das variedades SP70-1143 e SP71-1406, em três texturas e três cortes, na banda 3..... | 73 |
| Figura 5.11 | - Média e desvio padrão dos níveis de cinza das variedades SP70-1143 e SP71-6163, em três texturas e três cortes, na banda 3..... | 73 |

| | |
|---|----|
| Figura 5.12 - Média e desvio padrão dos níveis de cinza das variedades SP71-6163 e SP71-1406, em três texturas e três cortes, na banda 3. | 74 |
| Figura 5.13 - Média e desvio padrão dos níveis de cinza das variedades SP70-1143 e SP71-1406, em três texturas e três cortes, na banda 4. | 75 |
| Figura 5.14 - Média e desvio padrão dos níveis de cinza das variedades SP70-1143 e SP71-6163, em três texturas e três cortes, na banda 4. | 75 |
| Figura 5.15 - Média e desvio padrão dos níveis de cinza das variedades SP71-6163 e SP71-1406, em três texturas e três cortes, na banda 4. | 76 |
| Figura 5.16 - Média e desvio padrão dos níveis de cinza das variedades SP70-1143 e SP71-1406, em três texturas e três cortes, na banda 5. | 77 |
| Figura 5.17 - Média e desvio padrão dos níveis de cinza das variedades SP70-1143 e SP71-6163, em três texturas e três cortes, na banda 5. | 77 |
| Figura 5.18 - Média e desvio padrão dos níveis de cinza das variedades SP71-1406 e SP71-6163, em três texturas e três cortes, na banda 5. | 78 |
| Figura 5.19 - Média e desvio padrão dos níveis de cinza das variedades SP70-1143, SP71-1406 e SP71-6163, em três cortes, na banda 3. | 80 |
| Figura 5.20 - Média e desvio padrão dos níveis de cinza das variedades SP70-1143, SP71-1406 e SP71-6163, em três cortes, na banda 4. | 81 |
| Figura 5.21 - Média e desvio padrão dos níveis de cinza das variedades SP70-1143, SP71-1406 e SP71-6163, em três cortes, na banda 5. | 83 |
| Figura 5.22 - Área de controle classificada digitalmente por fatiamento..... | 85 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 3.1 - Área cultivada com cana-de-açúcar por Estado em 1996..... | 10 |
| Tabela 3.2 - Porcentagem das principais variedades de cana-de-açúcar cultivadas nas usinas cooperadas à Copersucar. | 10 |
| Tabela 3.3 - Principais aplicações das bandas (canais) do sensor Thematic Mapper (TM). | 21 |
| Tabela 3.4 - Qualidade da classificação associada a um valor da estatística "KAPPA"..... | 34 |
| Tabela 4.1 - Ponto órbita, quadrante e data das imagens LANDSAT/TM..... | 37 |
| Tabela 4.2 - Parâmetros atmosféricos utilizados na correção atmosférica..... | 40 |
| Tabela 4.3 - Porcentagem da área total ocupada pelas três variedades de cana em três safras..... | 42 |
| Tabela 4.4 - Dados utilizados na amostragem do 1º corte..... | 49 |
| Tabela 4.5 - Dados utilizados na amostragem do 2º corte..... | 49 |
| Tabela 4.6 - Dados utilizados na amostragem do 3º corte..... | 49 |
| Tabela 5.1 - Níveis de cinza na banda 3 variedade SP70-1143 avaliada em três cortes e três texturas de solos. | 54 |
| Tabela 5.2 - Níveis de cinza na banda 4, da variedade SP70-1143, avaliada em três cortes e três texturas de solos. | 57 |
| Tabela 5.3 - Níveis de cinza na banda 5, da variedade SP70-1143, avaliada em três cortes e três texturas de solos. | 59 |

| | |
|--|----|
| Tabela 5.4 - Níveis de cinza na banda 3, da variedade SP71-1406, avaliada em três cortes e três texturas de solos. | 61 |
| Tabela 5.5 - Níveis de cinza na banda 4, da variedade SP71-1406, avaliada em três cortes e três texturas de solos. | 63 |
| Tabela 5.6 - Níveis de cinza na banda 5, da variedade SP71-1406, avaliada em três cortes e três texturas de solos. | 65 |
| Tabela 5.7 - Níveis de cinza na banda 3, da variedade SP71-6163, avaliada em três cortes e três texturas de solos. | 68 |
| Tabela 5.8 - Níveis de cinza na banda 4, da variedade SP71-6163, avaliada em três cortes e três texturas de solos. | 69 |
| Tabela 5.9 - Níveis de cinza na banda 5, da variedade SP71-6163, avaliada em três estágios de cortes e três texturas de solos..... | 71 |
| Tabela 5.10 - Níveis de cinza na banda 3, das variedades SP70-1143, SP71-1406 e SP71-6163, avaliada em três cortes. | 79 |
| Tabela 5.11 - Níveis de cinza na banda 4, das variedades SP70-1143, SP71-1406 e SP71-6163, avaliada em três cortes. | 81 |
| Tabela 5.12 - Níveis de cinza na banda 5, das variedades SP70-1143, SP71-1406 e SP71-6163, avaliada em três cortes. | 82 |
| Tabela 5.13 - Matriz de erro para cálculo do índice kappa, realizada no software IDRISI [®] (módulo ERRMATT), para as variedades SP70-1143 e SP71-6163. | 86 |

RESUMO

Visando a utilização de imagens do satélite LANDSAT/TM na identificação de variedades de cana-de-açúcar, na região de Araraquara-SP (safras 91/92, 92/93 e 93/94, correspondentes ao 1º, 2º e 3º cortes), foram utilizadas informações de variedades e texturas de solos, armazenados em banco de dados no Centro de Tecnologia Copersucar.

Foram utilizadas três imagens LANDSAT/TM com os canais 3, 4 e 5 da órbita ponto WRS 220-75 quadrante W, correspondentes as passagens de 21 de abril de 1991, 23 de abril de 1992 e 26 de abril de 1993. As variedades estudadas foram SP70-1143, SP71-1406 e SP71-6163 e as texturas de solos arenosa, média e argilosa.

Foram coletados os níveis de cinza através do software Sistema de Tratamento de Imagem (SITIM) para as nove condições existentes (três variedades x três texturas de solos) para os três estágios de cortes. Os resultados encontrados foram submetidos a análise ao nível de 5% de significância do teste

de Tukey e também através do método estatístico “KAPPA”. Os valores obtidos dos níveis de cinza médios permitiram concluir que é possível identificar e separar as três variedades de cana-de-açúcar, independentemente da textura do solo nos três cortes utilizando os três canais do LANDSAT/TM. Porém, no 3º corte existe a ressalva de perda de áreas principalmente em solos arenosos, sendo assim, recomenda-se utilizar apenas os resultados do 1º e 2º corte para a separação varietal.

As características botânicas das três variedades observadas nas figuras 4.6, 4.7 e 4.8 foram as principais responsáveis pela diferenciação das respostas espectrais captadas pelo sensor do satélite.

A análise da matriz de erro e do índice kappa mostrou um alto índice de concordância entre a classificação digital das variedades por fatiamento das bandas da imagem, baseado nos resultados da análise de níveis de cinza, e os dados de referência coletados no banco de dados.

ABSTRACT

LANDSAT/TM satellite images were used to identify varieties of sugar cane growing in the central areas of Sao Paulo state, Brazil [Araraquara-SP]. The information obtained was compared with data stored in the Copersucar Technology Center data bank, collected in three consecutive harvest seasons [91/92; 92/93 and 93/94]. Information such as varietal characteristics and soil texture were the primary factors to be compared with satellite images taken in the same years.

The three satellite images were taken on 21 April, 1991; 23 April, 1992 and 26 April, 1993 from point orbit WRS 220-75 square W. Channels 3, 4 and 5 were used to study the varieties SP70-1143, SP71-1406 and SP71-6163 growing on soils having three different textures: sand, loam and clay.

Gray levels from images were collected through software SITIM, an image treatment system. Nine conditions were observed [three varieties times three textures] during three successive cane cuts.

Statistical assessments were carried out with the Tukey test at the 5% level of significance, and by using the KAPPA statistical method. The results obtained lead to the conclusion that it is possible to identify separately the three sugar cane varieties, without reference to soil texture or the number of sugar cane cuts. Exceptions were observed in some areas with sandy soil and cane in the third cut.

These caused the correlations to be poorer. Hence it was recommended that only information from the first and second cuts should be used on sandy soils.

The botanical characteristics which caused different spectral responses in the satellite sensor are given in tables 4.6, 4.7 and 4.8.

The error matrix and Kappa index analyses showed a high degree of agreement between sugar cane variety digital classification through the band image slice process, based on gray levels analyses, and information stored in the Copersucar data bank.

1. INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar estabeleceu, ao longo de nossa história, ciclos de grande importância econômica. O emprego do álcool como combustível incentivou a exploração canavieira, criando novas situações sócio-econômicas.

O programa do álcool foi uma medida realizada para ajudar a solucionar o problema energético, e com isto a cultura da cana-de-açúcar assumiu especial destaque, não só no plano econômico, mas também no plano social.

As quantidades cada vez maiores de produção de açúcar e álcool, com a característica do processamento da matéria-prima, fazem com que a safra da cana-de-açúcar ocupe vários meses durante o ano. A curva de maturação ou o acúmulo de sacarose das variedades nesse período é progressivo, chegando a um pico e depois declinando, de acordo com a idade fisiológica e os “stresses” (hídrico e baixas temperaturas) pelos quais as plantas passam.

Torna-se necessário cultivar inúmeras variedades de cana-de-açúcar que se diferenciem em maturação precoce, média e tardia, de maneira a proporcionar

um teor adequado de sacarose durante todo o período da safra. Além disso, pela característica de exploração em grandes extensões, deve-se minimizar os inconvenientes da monocultura, diversificando os genótipos, evitando, por exemplo, a suscetibilidade a uma nova doença ou praga, que venha a colocar em risco a cultura como um todo.

A introdução de novas variedades, passou a ter um papel importante na melhoria da produtividade de cana, visto que, a duração de uma variedade é limitada, e por este motivo os trabalhos de criação de novas variedades devem ser contínuos e permanentes. A necessidade de aumento de produtividade, faz com que a busca de novas variedades conduz a uma verdadeira evolução no cultivo da cana-de-açúcar.

A identidade varietal é, portanto, de fundamental importância, pois permitirá um cultivo e manejo adequado das variedades, em cada uma de suas características peculiares. A identificação de variedades através de imagens de satélite permitirá o inventariamento de cada uma delas nas unidades produtoras de cana-de-açúcar.

Técnicas de sensoriamento remoto tem-se mostrado úteis no monitoramento de áreas agrícolas. Os dados de sensoriamento remoto, em particular aqueles obtidos pelo sistema LANDSAT, tem grande potencial para fornecer informações sobre a cultura da cana-de-açúcar. Trabalhos existentes estão mais relacionados com estimativas de produtividade agrícola, levantamento e mapeamento da cultura da cana-de-açúcar por satélite, porém, não se tem

conhecimento da utilização do sensoriamento remoto na identificação de variedades de cana-de-açúcar. Quando se pretende trabalhar com sensoriamento remoto em culturas agrícolas, é importante o entendimento das interações que ocorrem entre o alvo agrícola e a energia eletromagnética, energia esta que sensibiliza os sensores a bordo dos satélites de observação de recursos naturais.

A energia refletida pelo alvo representa a média da energia refletida pelos elementos que estão na superfície. Dessa forma, sempre que uma cultura não estiver cobrindo totalmente a superfície, o solo entrará como parte constituinte da radiância detectada pelo sensor. Esta participação será maior quanto maior for a exposição do solo ao detector.

A reunião de todos os componentes da vegetação acima da superfície do solo é denominada "dossel vegetal". O espectro de reflectância de um dossel vegetal apresenta diferenças quantitativas e qualitativas em relação ao espectro refletido de uma folha. Vários fatores influenciam a resposta espectral dos dosséis vegetais, e devem ser levados em conta nos estudos que utilizam o sensoriamento remoto em condições de campo. Entre as mais importantes variáveis que influenciam a reflectância dos dosséis estão: a área foliar, a percentagem de cobertura do solo, a reflectância do solo e as propriedades ópticas das folhas e dos outros componentes dos dosséis (BAUER et al., 1981).

Diferenças nestes parâmetros são causados por variações em fatores relacionados com o ambiente e com as próprias culturas. No caso da cana-de-açúcar as variedades podem diferenciar-se significativamente devido, por

exemplo, a distribuição dos ângulos foliares (arquitetura foliar), a absorção da radiação para a fotossíntese, diferenças em biomassa e concentração de água nas folhas, fazendo com que suas respostas nos sensores sejam diferentes em um ou mais canais do satélite.

2. OBJETIVO

Utilizar técnicas de sensoriamento remoto, em imagens de satélite LANDSAT-TM, para identificar três variedades de cana-de-açúcar em três classes texturais de solos no decorrer de três safras agrícolas, através da análise de níveis de cinza da imagem e utilização do índice de concordância kappa.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 CULTURA DA CANA-DE-AÇÚCAR

A cana-de-açúcar é uma gramínea semi-perene, pertencente ao gênero *Saccharum*, com origem provável no Sudeste da Ásia. O gênero *Saccharum* é representado por espécies como por exemplo a *S. officinarum*, *S. spontaneum* e *S. robustum*. Entretanto, as variedades atualmente cultivadas são quase todas híbridas entre duas ou mais espécies.

A cana-de-açúcar é cultivada em todas as regiões tropicais e subtropicais de ambos os lados do Equador, entre 35° de latitudes Norte e Sul, sendo o Brasil o maior produtor mundial. No Brasil tem-se notícia de seu cultivo desde os primórdios da colonização, na segunda década após o descobrimento, entre os anos de 1510 e 1520, quando já existiam plantações nos atuais Estados de Pernambuco e Rio de Janeiro. Acredita-se que a primeira exportação de açúcar tenha sido realizada em 1521, para Portugal.

A cultura de cana-de-açúcar desenvolveu-se em todos os Estados brasileiros. Entretanto, as regiões de grande produção estão concentradas em alguns Estados do Nordeste, do Sudeste e norte do Paraná, sendo São Paulo o principal produtor nacional, com cerca de 2.700.000 ha cultivados, responsável por cerca de 56% da produção brasileira de açúcar e 65% da produção de álcool, na safra 95/96 (COPERSUCAR, 1997).

A cana-de-açúcar é denominada cana planta até a primeira colheita. Quando a colheita é feita com aproximadamente 12 meses após o plantio, é denominada cana de ano, enquanto que a cana de ano-e-meio é aquela cuja colheita é realizada entre 14 a 18 meses após o plantio. O plantio mais comum é o de cana de ano-e-meio, que é realizado entre os meses de janeiro a março na região Centro-Sul. O gráfico da Figura 3.1 mostra o ciclo evolutivo da cana de 12 e 18 meses nas condições de cultivo da região Centro-Sul.

A cana-de-açúcar é uma planta de clima tropical, apresentando máximo potencial de produção na fase vegetativa quando se desenvolve entre temperaturas de 22°C a 30°C. Em temperaturas inferiores a 20°C o crescimento é muito reduzido e paralisado aos 10°C. Dependendo do clima, a cultura exige de 1500 a 2500 mm de água durante o período de crescimento. Para completar o ciclo vegetativo requer um déficit hídrico ou térmico a fim de acumular sacarose nos colmos.

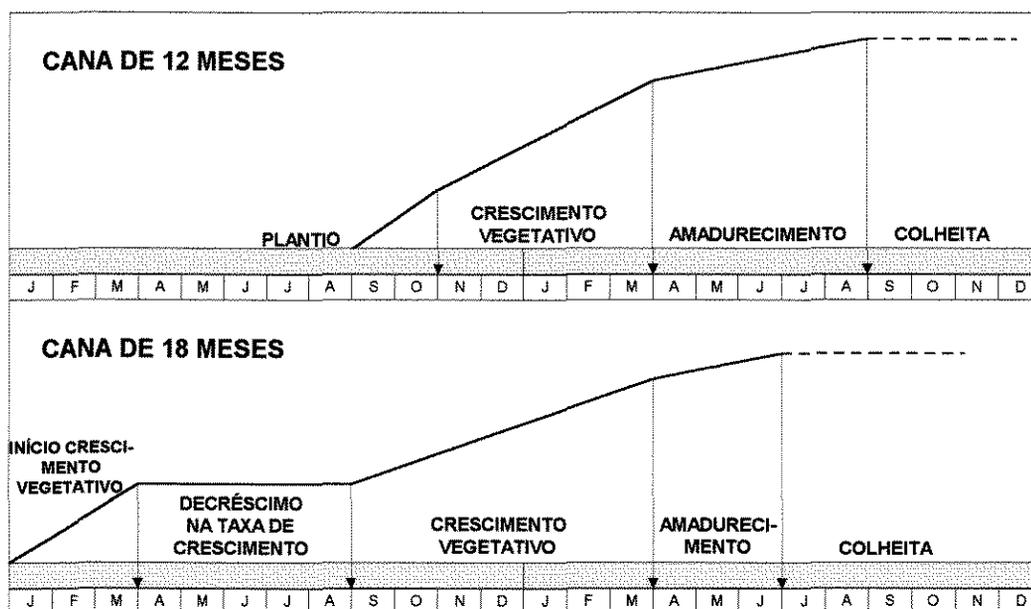


Figura 3.1 - Ciclo evolutivo de cana de 12 e 18 meses na região Sudeste.
Fonte: ALFONSI *et al.* (1987).

A cultura não é muito exigente em solos, todavia se desenvolve melhor em solos com profundidade acima de 1 metro, com boa aeração e boa drenagem. O pH ótimo está em torno de 6,5. A recomendação de adubação e calagem para cana planta e cana soca é baseada nos resultados das análises químicas dos solos (COPERSUCAR, 1988).

O desenvolvimento vegetativo da cultura muitas vezes está associado a quantidade de nutrientes que é colocado na adubação, fazendo com que existam diferenças no seu crescimento e assim interferindo na resposta espectral captada pelo satélite.

3.1.1 Variedades de Cana-de-Açúcar

Segundo MALGELSDORF (1966), as variedades comerciais têm ciclos de cultivos bem definidos, sendo que, após este período, começam a demonstrar sinais de degenerescência. Esta é acompanhada de significativas perdas em produtividade agrícola e por este motivo, elas precisam ser gradativamente substituídas por novos materiais mais estáveis e geneticamente superiores.

As siglas das variedades estão ligadas aos institutos que as desenvolveram. Atualmente as principais variedades cultivadas oriundas de instituições brasileiras são SP (Cooperativa dos Produtores de Açúcar e Álcool do Estado de São Paulo - Copersucar), RB (Rede Interinstitucional para o desenvolvimento do setor sucroalcooleiro-RIDESA), IAC (Instituto Agrônômico de Campinas), CB (Campos Brasil) e outras estrangeiras, que já alcançaram grandes áreas e estão gradualmente desaparecendo como a NA (Norte da Argentina).

As variedades mais utilizadas pelos produtores brasileiros em 1996 (COPERSUCAR, 1997) foram: RB72454, com 22% de área de cultivo, SP70-1143 (16%), SP71-6163 (9%), SP79-1011 (8%) e SP71-1406 (7%). Entre os produtores paulistas, as variedades que ocuparam maior área foram: RB72454 (24%), SP70-1143 (18%), SP71-6163 (14%), SP79-1011 (10%) e RB785148 (5%). A área cultivada com cana-de-açúcar no Brasil em 1996 foi de 5.519.650 ha. A Tabela 3.1 mostra, para cada Estado, a área cultivada com cana-de-açúcar e sua distribuição percentual em relação à área cultivada com cana no Brasil.

Tabela 3.1 - Área cultivada com cana-de-açúcar por Estado em 1996.

| ESTADO | ÁREA (ha) | % |
|---------------------|-----------|--------|
| São Paulo | 2.730.631 | 49,5 |
| Alagoas | 543.665 | 9,8 |
| Pernambuco | 505.063 | 9,1 |
| Minas Gerais | 323.423 | 5,9 |
| Paraná | 308.251 | 5,6 |
| Rio de Janeiro | 195.573 | 3,5 |
| Goiás | 126.320 | 2,3 |
| Mato Grosso | 119.560 | 2,2 |
| Bahia | 90.829 | 1,6 |
| Mato Grosso do Sul | 90.438 | 1,6 |
| Rio Grande do Norte | 68.327 | 1,2 |
| Ceará | 52.531 | 1,0 |
| Espírito Santo | 48.665 | 0,9 |
| Rio Grande do Sul | 32.520 | 0,6 |
| Maranhão | 29.631 | 0,5 |
| Pará | 8.594 | 0,2 |
| Outros Estados | 245.629 | 4,5 |
| Brasil | 5.519.650 | 100,00 |

Fonte: COPERSUCAR (1997).

A Tabela 3.2 apresenta as porcentagens das principais variedades, em termos de área total cultivada, entre os produtores cooperados à Copersucar, nos últimos sete anos e a previsão para 1997.

Tabela 3.2 - Porcentagem das principais variedades de cana-de-açúcar cultivadas nas usinas cooperadas à Copersucar.

| VARIETADES* | 1990 | 1991 | 1992 | 1993 | 1994 | 1995 | 1996 | 1997** |
|-------------|------|------|------|------|------|------|------|--------|
| RB72454 | 0,6 | 2,1 | 4,7 | 8,5 | 15,4 | 20,0 | 22,3 | 22,8 |
| SP71-6163 | 12,7 | 18,3 | 25,3 | 29,6 | 26,5 | 20,9 | 14,1 | 8,8 |
| SP70-1143 | 26,0 | 24,3 | 22,4 | 20,3 | 18,8 | 16,4 | 13,7 | 9,8 |
| SP79-1011 | 0,2 | 0,6 | 1,3 | 3,0 | 5,9 | 7,6 | 9,3 | 10,7 |
| RB785148 | 0,1 | 0,3 | 0,6 | 1,1 | 3,1 | 4,9 | 5,7 | 6,4 |
| RB806043 | - | - | 0,1 | 0,4 | 1,5 | 3,3 | 5,4 | 7,6 |
| SP80-1842 | - | - | - | - | 0,3 | 1,3 | 3,2 | 5,2 |
| SP71-1406 | 22,2 | 21,8 | 19,5 | 15,3 | 10,6 | 6,5 | 3,0 | 0,4 |
| RB765418 | 0,8 | 1,8 | 2,7 | 3,2 | 3,5 | 3,4 | 2,7 | 1,9 |

continuação Tabela 3.2

| VARIETADES* | 1990 | 1991 | 1992 | 1993 | 1994 | 1995 | 1996 | 1997** |
|-----------------------------|------|------|------|------|------|------|------|--------|
| RB835089 | - | - | - | - | 0,6 | 1,4 | 2,1 | 2,9 |
| RB835486 | - | - | - | - | 0,3 | 0,9 | 1,9 | 3,0 |
| SP79-2233 | - | - | - | - | 0,1 | 0,7 | 1,6 | 2,5 |
| SP70-1284 | 2,7 | 3,0 | 2,9 | 2,7 | 2,2 | 1,9 | 1,4 | 0,8 |
| SP81-3250 | - | - | - | - | - | 0,4 | 1,2 | 2,2 |
| RB825336 | - | - | - | - | 0,3 | 0,6 | 1,1 | 1,6 |
| Outras | 34,7 | 27,8 | 20,5 | 15,9 | 10,9 | 9,8 | 11,3 | 13,4 |
| Total de SP | 75,3 | 77,8 | 79,6 | 77,9 | 70,1 | 61,1 | 53,7 | 47,8 |
| Área(1000 ha) recenseada | 712 | 700 | 681 | 692 | 710 | 661 | 689 | |

* Variedades ordenadas pelo censo de 1996

** Estimativa

Fonte: COPERSUCAR (1997)

3.1.2 Solos Cultivados Com Cana-de-Açúcar

A grande extensão do território brasileiro, e o cultivo de cana-de-açúcar em 5,5 milhões de hectares distribuídos por todos os Estados, fazem com que a cultura se desenvolva sob os mais variados tipos de solo.

Nas usinas cooperadas à Copersucar, os principais solos cultivados com cana-de-açúcar são LR-Latossolo Roxo (30,3%); LE-Latossolo Vermelho Escuro, textura argilosa (7,5%); LE-Latossolo Vermelho Escuro, textura média (7,8%); LV-Latossolo Vermelho Amarelo, textura média (23,1%); TR-Terra Roxa Estruturada (5,6%); PV-Podzólico Vermelho Amarelo, textura arenosa/média (15,0%); AQ-Areia Quartzosa (9,7%) e outros (1,0%). O solo interfere nas respostas espectrais de uma cultura, quando o dossel vegetal não cubra totalmente a superfície.

3.1.2.1 O ambiente edáfico para a cana-de-açúcar

De modo geral, a cana-de-açúcar produz sob condições edáficas das mais diversas. Entretanto, tem-se observado que a economicidade dos empreendimentos agrícolas decresce à medida que as características do solo se afastam dos padrões ideais.

Conforme YATES (1977), o ambiente edáfico adequado para a cana-de-açúcar apresenta as características de relevo plano à suave ondulado (0 a 8% de declive) e solos com profundidades maiores do que um metro, de textura argilosa e bem estruturada. O perfil do solo deve ter uma taxa de infiltração rápida no horizonte superficial e satisfatória em profundidade.

Na prática, devido às diferentes variedades existentes, a cana-de-açúcar tem se mostrado uma cultura bastante adaptável, sendo cultivada em solos de textura muito variável, desde arenosas até muito argilosas.

Os solos arenosos são limitados por apresentarem baixa capacidade de armazenamento de água e grande perda de nutrientes por lixiviação, além de favorecerem o desenvolvimento de maiores populações de nematóides (praga de solo).

Os solos muito argilosos são propensos a uma drenagem mais lenta, propiciando uma menor aeração na zona das raízes, podendo apresentar adensamentos que limitam a penetração das raízes e o crescimento das plantas. Estes fatores tendem a influenciar no desenvolvimento vegetativo interferindo assim nas respostas espectrais da cultura.

3.1.2.2 Tipos de levantamentos de solos utilizados na cana-de-açúcar

Praticamente todo o território brasileiro encontra-se com seus solos mapeados e caracterizados. Entretanto, o nível dos levantamentos existentes varia muito de região para região, havendo desde os exploratórios realizados pelo Projeto RADAMBRASIL, na região Norte, os de reconhecimento - exploratório na região Sudeste, realizados pelo Serviço Nacional de Levantamento e Conservação do Solos (EMBRAPA/SNLCS), até semidetalhado produzidos em áreas parciais do Estado de São Paulo pelo Instituto Agrônomo de Campinas (IAC) em escala de 1:100.000. Em usinas, a Copersucar vem trabalhando em levantamentos a nível de semi-detálhe na escala de 1:20.000, onde se pode utilizar práticas a nível de talhão. Nos outros tipos de levantamentos citados anteriormente isto não é possível porque não permite que se possa fazer o controle e práticas agrícolas ao nível de talhão.

3.1.3 Banco de dados utilizados na cana-de-açúcar

Os bancos de dados são compostos por dados da lavoura desde o plantio até a colheita e organizados de forma lógica, permitindo um acesso rápido e direcionado às informações cadastradas. Os avanços da microeletrônica e da indústria de software ocasionaram uma verdadeira revolução na área da tecnologia da informação, possibilitando a criação de grandes bancos de dados eletrônicos de acesso rápido e fácil.

No caso específico do setor sucro-alcooleiro, devido ao grande número de usinas e destilarias existentes, um imenso volume de informações tem sido gerado ao longo dos anos. Dada a similaridade dessas empresas, no que se refere a produtos, insumos e procedimentos operacionais, as bases de dados geradas são parecidas. Um banco de dados reunindo informações de diversas regiões e usinas é uma ferramenta poderosa para a análise das relações solo-clima-planta, fornecendo padrões de comportamento a serem aplicados por sistemas de planejamento e na análise dos diferentes manejos adotados pelas usinas e destilarias.

A Copersucar, cooperativa que reúne diversas usinas de açúcar e álcool do Brasil, desenvolveu um programa chamado Gerenciamento Agrícola (GA) que é uma ferramenta de apoio na coleta, organização e processamento das diversas informações geradas pela área agrícola das usinas. A implantação desse sistema nas unidades cooperadas possibilitou uma padronização na forma como os dados são armazenados, facilitando a utilização desses dados em estudos diversos. A análise dos relatórios emitidos permite melhor planejamento e controle técnico da área agrícola, avaliando os ganhos de eficiência conseguidos com a introdução de novas tecnologias de produção.

Uma das questões mais exploradas pelo sistema de Gerenciamento Agrícola (GA) refere-se ao planejamento, otimização e controle da safra da cana-de-açúcar. Além disso, os resultados armazenados nos bancos de dados podem

ser utilizados para a criação de índices comparativos entre usinas, permitindo que cada uma avalie seu desempenho frente às demais.

O banco de dados na cultura da cana-de-açúcar pode armazenar informações de diversas safras e tem como a menor unidade de coleta de informações o talhão.

O sistema trabalha atualmente também com um Banco de Dados Geográfico, onde relaciona as informações do banco com informações geográficas, permitindo a visualização de informações na forma de mapas.

Os dados armazenados no banco de dados da Copersucar forneceram informações sobre as variedades, texturas de solos e safras agrícolas analisadas.

3.2 CONCEITOS GERAIS DE SENSORIAMENTO REMOTO

O sensoriamento remoto pode ser definido como a ciência de se obter informações sobre determinado alvo, através da análise de dados coletados por sensores, sem entrar em contato direto com o alvo em questão, através de aviões e satélites, que são as plataformas mais comuns. O termo sensoriamento remoto é restrito aos métodos que se utilizam da energia eletromagnética na detecção e medida das características de objetos, incluindo-se aqui as energias relativas a luz, calor e ondas de rádios (GARCIA, 1982).

A energia refletida ou emitida por um objeto pode se captada por sensores que operam em intervalos específicos do espectro eletromagnético (MENDONÇA, 1986).

O espectro das ondas eletromagnéticas está dividido em diversas regiões que vão desde os raios cósmicos até as ondas de rádio e as de baixa frequência.

Na Figura 3.2 são mostradas as principais regiões do espectro eletromagnético utilizadas em sensoriamento remoto.

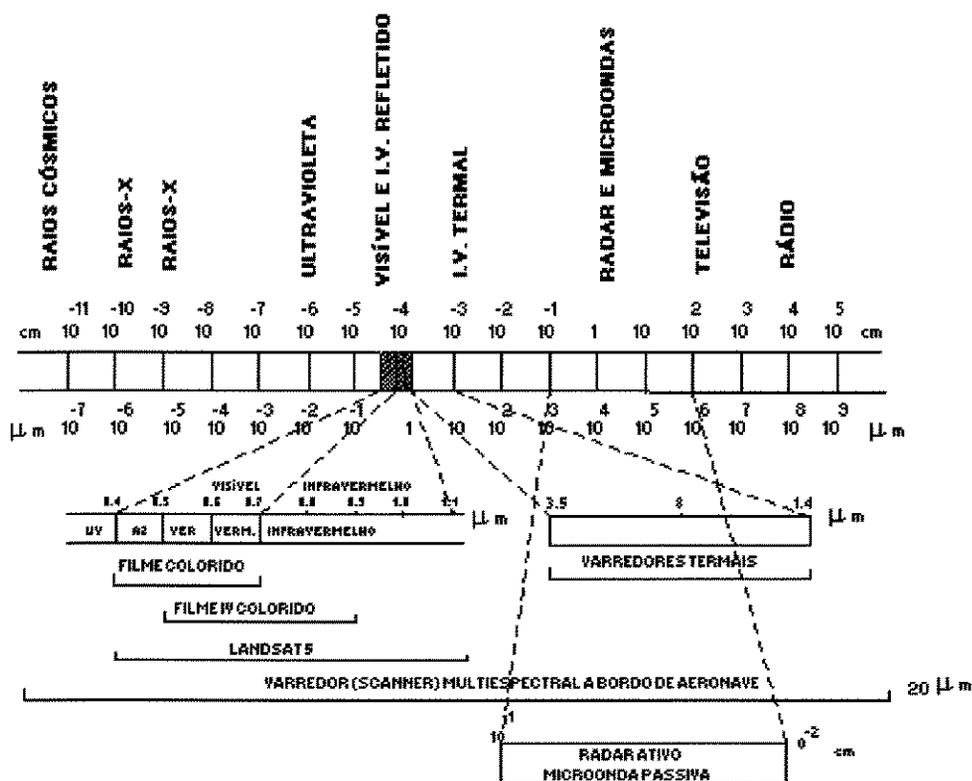


Figura 3.2 - Espectro das ondas eletromagnética, com indicação das faixas utilizadas em sensoriamento remoto e respectivos sistemas sensores.

Fonte: HARDING e SCOTT, 1978.

A faixa mais usada em Sensoriamento Remoto está entre $0,3 \mu\text{m}$ e $15,0 \mu\text{m}$, conhecida como espectro óptico, já que nesta faixa os componentes ópticos de reflexão e refração, tais como lentes, espelhos e prismas, são utilizados para coletar e orientar a radiação.

As fontes de radiação eletromagnética podem ser divididas em naturais (Sol, Terra e Radioatividade) e artificiais (exemplo: Radar e Laser). O sol é a mais importante fonte natural, pois sua energia, ao interagir com as diversas substâncias da superfície da Terra, origina uma série de fenômenos (reflexão, absorção, transmissão, luminescência e aquecimento) investigados pelo Sensoriamento Remoto.

3.2.1 Comportamento Espectral da Vegetação

Segundo HOFFER (1978), a reflectância de uma vegetação verde é distinta e completamente variável com o comprimento de onda, como ilustra a Figura 3.3.

A energia refletida por uma área cultivada é, na realidade, uma integração dos valores de reflectância da planta e da superfície de fundo (solo).

Segundo GAUSMAN (1985), na curva padrão de reflectância espectral de uma folha verde sadia, observam-se picos de absorção na faixa de 0,4 a 0,75 μm , região da luz visível, ocasionada pela presença de pigmentos da folha. HOFFER (1978) mostra que na região do infravermelho próximo (0,75 a 1,4 μm), as folhas verdes e sadias possuem altos valores de reflectância e transmitância (45 a 50%) e baixos valores de absortância (menor que 5%), sendo muito influenciada pela estrutura interna da folha.

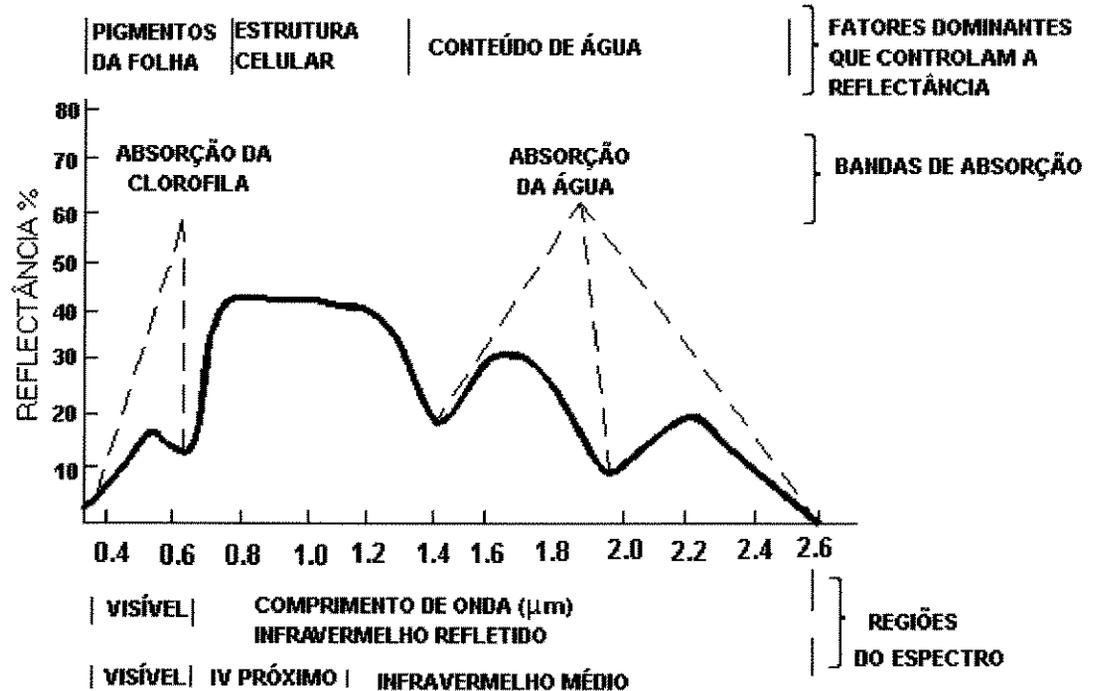


Figura 3.3 - Resposta espectral característica de vegetação verde.
Fonte: HOFFER (1978).

A reflectância no infravermelho médio, situada no intervalo de 1,35 μm a 2,5 μm, é influenciada pela estrutura interna das folhas e pela presença de água, que provoca bandas de absorção em 1,45 μm a 1,95 μm (GAUSMAN, 1985).

Para FORMAGGIO (1989), as folhas são consideradas os elementos dominantes das plantas quanto às influências sobre as propriedades espectrais de dosséis vegetais, quando a cobertura do solo é completa.

BUNNIK (1978) destacou a importância dos ângulos foliares (arquitetura foliar) como um dos parâmetros influenciadores na reflectância espectral. Baseando-se na possibilidade da distribuição presente na natureza, definiu as

seguintes classes de distribuição dos ângulos foliares: planófilas, erectófilas, plagiófilas e extremófilas.

Segundo KOLLENKARK et al. (1982), podem alterar a reflectância espectral das culturas agrícolas o padrão de crescimento da cultura, práticas culturais como variações no espaçamento, população de plantas e data de plantio, entre outras variáveis.

Muitos são os fatores que influenciam a reflectância espectral de dosséis agrícolas, entretanto, é possível considerar que a reflectância espectral de um alvo agrícola é composta por duas grandes componentes, ou seja, a reflectância da vegetação e a do substrato, o solo.

3.2.2 Comportamento Espectral de Solos

Da mesma forma que a vegetação, a reflectância espectral do solo é influenciada por diversos fatores, entre eles pode-se destacar a umidade, o teor de matéria orgânica, a estrutura, a granulometria, o material de origem e o teor de ferro.

EIPHANIO et al. (1992) realizaram um trabalho onde uma ampla revisão dos aspectos envolvidos no comportamento espectral dos solos foi efetuada, além de analisarem as curvas espectrais de 111 amostras de solos do Estado de São Paulo, no que se refere a reflectância. A partir deste, foi possível avaliar a importância do comportamento espectral dos solos no estudo de alvos agrícolas utilizando-se sensoriamento remoto.

A Figura 3.4 ilustra as respostas espectrais de solo arenoso e solo argiloso nos diferentes comprimentos de onda.

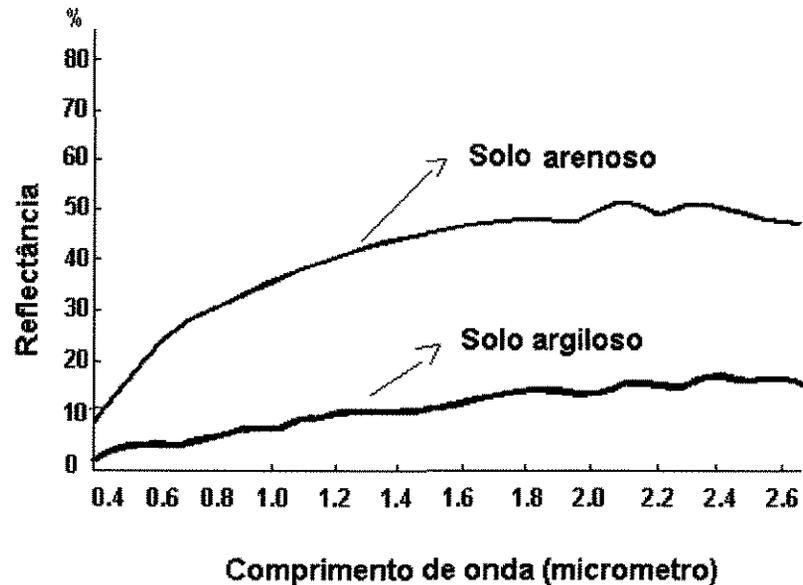


Figura 3.4 - Reflectância espectral de solo com textura arenosa e argilosa.

Fonte: GAUSMAN (1985).

3.2.3 Imagens LANDSAT/TM

O sistema LANDSAT compõe-se até o momento de cinco satélites, que foram desenvolvidos pela National Aeronautics and Space Administration (NASA). O satélite atual LANDSAT-5, lançado em 1984, utiliza o sensor Thematic Mapper (TM), operando em sete faixas espectrais, sendo uma na faixa do infravermelho termal (banda 6) e as outras seis dentro da faixa do visível e dos infravermelhos próximo e médio que são as mais comuns para o uso em agricultura (Figura 3.5 e a Tabela 3.3).

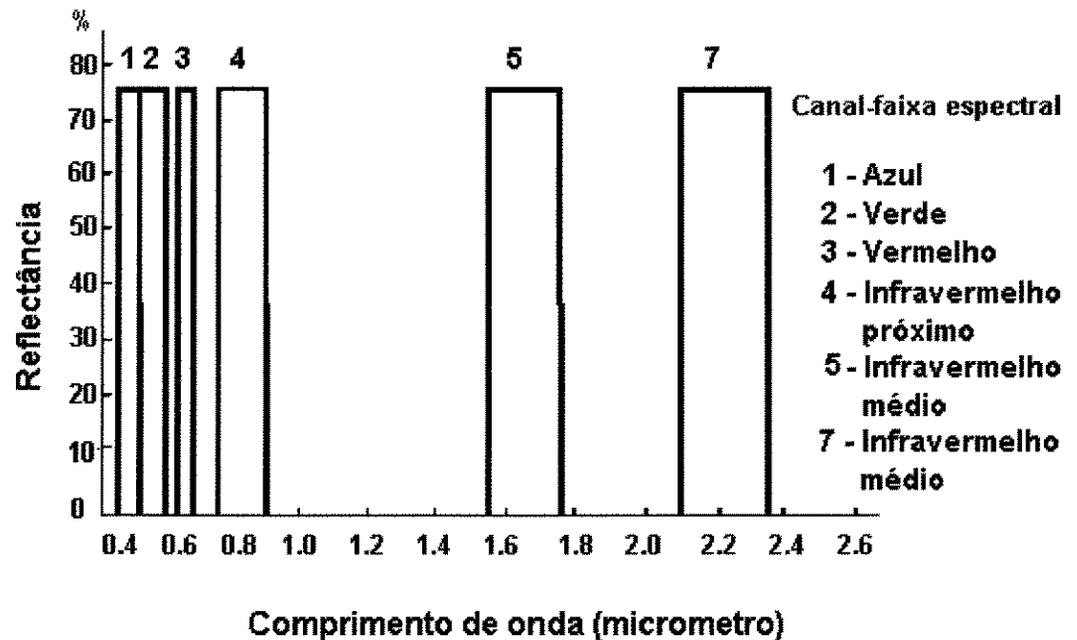


Figura 3.5 - Relação das faixas espectrais do sensor Thematic Mapper.

Fonte: GAUSMAN (1985).

Tabela 3.3 - Principais aplicações das bandas (canais) do sensor Thematic Mapper (TM).

| Banda | Faixa Espectral (μm) | Principais aplicações |
|-------|-----------------------------------|---|
| 1 | 0,45 - 0,52 | Mapeamento de águas costeiras Diferenciação entre solo e vegetal Diferenciação entre vegetação conífera e decídua |
| 2 | 0,52 - 0,60 | Reflectância da vegetação verde sadia |
| 3 | 0,63 - 0,69 | Absorção de clorofila Diferenciação de espécies vegetais |
| 4 | 0,76 - 0,90 | Levantamento de biomassa Delineamento de corpos d'água |
| 5 | 1,55 - 1,75 | Medidas de umidade da vegetação Diferenciação entre nuvens e neve |
| 7 | 2,08 - 2,35 | Mapeamento hidrotermal |

A resolução espacial das bandas do sensor Thematic Mapper (TM) na parte refletida do espectro eletromagnético é de 30 metros (elemento de resolução do terreno = 30 metros x 30 metros) denominado de “pixel” que é a menor área mapeada pelo satélite.

3.2.4 Processamento Digital de Imagens

Para RICHARDS (1986), quando os dados de uma imagem orbital estão disponíveis na forma digital, espacialmente quantificados em pixels e radiometricamente quantificados em níveis de cinza, há duas abordagens que podem ser adotados com o objetivo de se extrair informações da mesma.

A primeira abordagem envolve um analista extraindo informações pela interpretação visual da imagem. Este procedimento é conhecido como fotointerpretação, seu sucesso depende do modo como o analista explora os elementos espaciais, espectrais e temporais presentes na composição produzida. A segunda envolve o uso do computador para examinar cada pixel da imagem, individualmente através de um classificador estatístico. Este último procedimento é conhecido como análise quantitativa.

O processamento digital de imagens de sensoriamento remoto trata especificamente das técnicas utilizadas para identificar, extrair, condensar e realçar informação de interesse para determinados fins, a partir de uma enorme quantidade de dados que usualmente compõe essas imagens (CRÓSTA, 1993).

Nesse sentido, sistemas de computação são utilizados para atividades interativas de análise e manipulação das imagens brutas. O resultado desse processo é a produção de outras imagens, estas já contendo informações específicas, extraídas e realçadas a partir das imagens brutas. A informação de interesse é caracterizada em função das propriedades dos objetos ou padrões que compõem a imagem. Portanto, extrair informações de imagens envolve o reconhecimento de objetos ou padrões.

3.2.4.1 Alterações radiométricas e geométricas em imagens digitais

Todas as imagens sofrem alterações de natureza radiométrica e/ou geométrica. Entretanto, ao se trabalhar com imagens multitemporais (períodos distintos) para determinar as alterações sofridas por um determinado alvo dentro de um espaço de tempo, as alterações são mais evidentes e deve-se tomar conhecimento destas diferenças existentes entre as imagens.

Imagens geradas por sensores remotos, sejam elas fotografias aéreas ou imagens de satélite, são sujeitas a uma série de distorções espaciais, não possuindo, portanto, precisão cartográfica quanto ao posicionamento dos objetos, superfície, ou fenômenos nelas apresentados. Por isso, a informação extraída de imagens de sensoriamento remoto necessita muitas vezes ser integrada com outros tipos de informação, representados na forma de mapas. Esse tipo de uso é muito comum quando se trabalha com Sistemas de Informações Geográficas

(SIG), nos quais as imagens de sensoriamento remoto são uma das principais fontes de dados.

Para NELSON (1985), mesmo que um objeto não tenha sofrido nenhum tipo de alteração com o tempo, pode apresentar alterações radiométricas provenientes dos seguintes fatores:

- Alterações na radiância da cena ocasionadas por qualquer mudança operacional sofrida pelo sistema imageador;
- Alterações no sinal transmitido pelo sensor, provenientes das mudanças de geometria entre fonte - objeto - sensor; e
- Alterações provenientes dos fatores atmosféricos, ou seja, a radiância medida pelo sensor varia, devido às alterações sofridas pelo espalhamento e transmissão da radiância pela atmosfera.

Para realizar uma análise multitemporal de uma determinada cena, se faz necessária a realização de um pré-processamento nessas imagens.

Para que a precisão cartográfica seja introduzida em imagens de sensoriamento remoto, faz-se necessário que essas imagens digitais sejam corrigidas, segundo algum sistema de coordenadas. A transformação de uma imagem de modo que ela assuma as propriedades de escala e de projeção de um mapa é chamada de correção geométrica. Esse tipo de correção pode ser executado em um sistema de processamento digital de imagens.

3.2.4.2 Pré-processamento de imagens de satélite

As técnicas de pré-processamento têm o objetivo de melhorar a qualidade da imagem, realçando detalhes importantes e eliminando possíveis defeitos, para facilitar a análise dos dados pelo intérprete. Na maioria das vezes são utilizadas técnicas de pré-processamento, tais como a manipulação de contraste, a filtragem espacial e a detecção de bordas. A aplicação destas técnicas não é recomendável na análise digital, devido às modificações causadas nos valores radiométricos dos dados (CHEN, 1989).

Segundo MATHER (1987), a atmosfera influi na reflectância medida de um alvo basicamente através de dois processos: a absorção e o espalhamento atmosférico. O primeiro subtrai valores de brilho da energia radiante do alvo, enquanto o segundo adiciona valores à resposta original.

Para ZULLO JR (1994), os principais efeitos observados nas imagens de satélite, devido à presença real da atmosfera entre o satélite e a superfície terrestre, são a diminuição da faixa de valores digitais possíveis registrados pelo sensor, diminuição do contraste entre superfícies adjacentes e alteração do brilho de cada ponto da imagem. Os gases (principalmente vapor d'água, oxigênio, ozônio e dióxido de carbono) e os aerossóis (pequenas partículas materiais, distintas da água e do gelo, em suspensão com raio variando de 0,1 μ m a 10 μ m) absorvem e espalham a radiação solar desde quando ela atinge a atmosfera até quando a deixa, depois de refletida pelo solo.

Segundo ZULLO JR (1994), o espalhamento corresponde à mudança aleatória da direção de propagação da radiação solar devido a sua interação elástica com os componentes atmosféricos (moléculas e aerossóis). Os fótons não são perdidos, mas redistribuídos em todas as direções sem que haja mudança do comprimento de onda, provocando, com isso, uma atenuação do sinal na direção principal de propagação da radiação e um aumento em todas as outras direções.

A absorção também tem importância na perturbação das imagens de satélite. Ela pode ser definida como um processo de transformação da energia de um feixe luminoso em outras formas de energia, principalmente calor, com remissão em comprimentos de onda diferentes do original (ZULLO JR, 1994).

Em relação aos outros tipos de distorções, existem processos de normalização que podem ser utilizados para obter de forma equalizada os dados espectrais sobre os objetos.

As razões entre bandas espectrais é um desses processos que reduzem ou eliminam os efeitos multiplicativos que alteram o valor de radiância detectada pelo sensor, considerando que estes efeitos sejam iguais ou aproximadamente iguais nestas bandas. Estas razões podem diminuir a variabilidade entre os mesmos objetos devido à topografia, e enfatizar as mudanças do níveis de brilho entre os alvos observados (CHAVES, 1975).

Outro método de normalização de imagens é a transformação dos níveis de cinza digitais de uma imagem em radiância ou reflectância.

Quando se pretende trabalhar utilizando imagens multitemporais, o registro imagem-imagem é uma técnica importante e útil para avaliar as alterações espectrais sofridas por determinado alvo dentro de um espaço de tempo. Pode-se conceituar registro imagem-imagem como sendo uma transformação geométrica, de maneira que os pixels de imagens distintas sejam coincidentes (MASCARENHAS e VELASCO, 1989).

3.2.5 Níveis de Cinza

As imagens de sensoriamento remoto são adquiridas pelos sistemas sensores com uma determinada resolução radiométrica, que é normalmente de 6 ou 8 bits (2^8). Imagens de 8 bits possuem 256 valores de cinza, que são tonalidades de cores entre o preto e o branco. Geralmente os dados contidos numa imagem de satélite não espalham-se por todo o intervalo possível de níveis de cinza, sendo o mais comum a concentração em uma pequena faixa.

Segundo CROSTA (1993), o principal motivo disso é que os sistemas sensores são concebidos para registrar toda uma gama possível de valores de reflectância, originada por todos os tipos de materiais naturais e sob as mais diversas condições de iluminação. Desse modo, o ideal é que objetos cinza escuros não apareçam totalmente pretos e objetos claros não desapareçam devido à saturação do sensor.

Outras causas para o baixo contraste das imagens de satélite incluem a presença de bruma atmosférica, má iluminação solar da cena, performance deficiente do sensor e as próprias características da cena.

Uma vez que o sistema visual humano só consegue discriminar cerca de 30 tons de cinza, e assim mesmo só quando eles são bastante espalhados em relação ao intervalo de 0 (zero) a 255 das tonalidades de cinza, uma imagem de satélite vista de forma como é adquirida pelo sensor aparece visualmente com baixo contraste. Para que as informações nelas contidas possam ser extraídas por um analista, o seu histograma comprimido tem então que ser expandido para ocupar todo intervalo disponível. Esse conceito é a base do chamado aumento de contraste. O aumento de contraste é a mais usada técnica de processamento para melhorar a visualização e facilitar a extração de informações de imagens de sensoriamento remoto.

Quando se usa imagens de satélite, consideram-se os tons de cinza que são atribuídos aos pixels de uma imagem (Figura 3.6). O histograma é uma das formas de se representar a distribuição dos níveis de cinza de uma imagem e talvez a mais útil em processamento digital de imagens. Ele fornece a informação sobre quantos pixels na imagem possuem cada valor de nível de cinza entre o intervalo de 0 (zero) a 255.

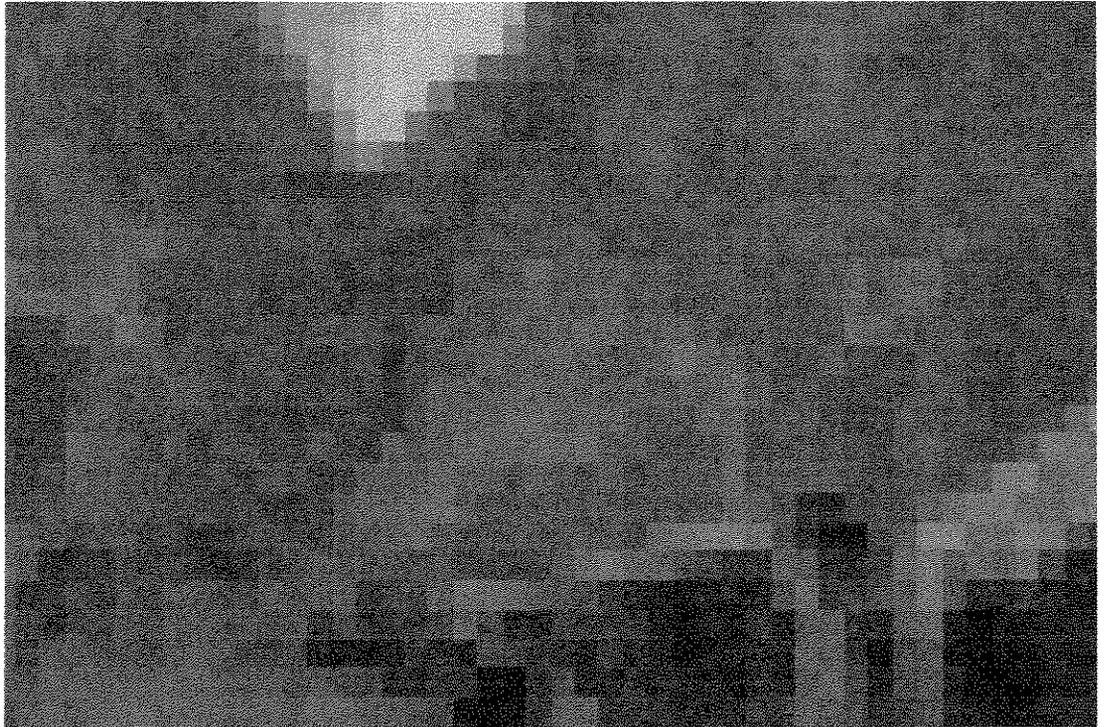


Figura 3.6 - Níveis de cinza dos pixels na banda 5 da imagem de satélite LANDSAT/TM.

Em histogramas de uma banda, a representação pode ser uma tabela ou um gráfico contendo o número de pixels atribuído a cada um dos possíveis níveis de cinza. O histograma pode ser calculado para uma imagem inteira ou apenas para uma porção da imagem.

Ao se observar o histograma de uma imagem, tem-se uma noção instantânea sobre as características da mesma. A forma do histograma fornece informações importantes no caso das imagens de sensoriamento remoto, tais como intensidade média e espalhamento dos valores dos níveis de cinza.

Os níveis de cinza dos pixels de uma imagem estão relacionados com a reflectância do objeto.

3.3 UTILIZAÇÃO DO SENSORIAMENTO REMOTO NA CULTURA DA CANA-DE-AÇÚCAR

A primeira pesquisa sobre identificação e mapeamento de áreas ocupadas com a cultura da cana-de-açúcar, através de dados de satélite, ocorreu no ano de 1975, no município de Jardinópolis/SP por BATISTA et al. (1976).

BATISTA et al. (1976) fizeram um estudo para identificar e mapear esta cultura nos dados digitalizados do LANDSAT-2. Em seguida, compararam os resultados com os obtidos através da interpretação de fotografia aéreas. A diferença dos resultados foi de 14%, sendo em parte, devido a impossibilidade de separar espectralmente, nos dados LANDSAT, as áreas de cana nova.

Em 1977, MENDONÇA et al. (1978) e BATISTA et al. (1978) fizeram um estudo comparativo de identificação da cana-de-açúcar através de processos visuais e digital de análise de dados de satélite, em duas áreas testes na região de Ribeirão Preto/SP. Segundo os autores, os resultados obtidos através da utilização do método de análise visual ou automática com dados do satélite LANDSAT, para a identificação de áreas ocupadas com a cultura da cana-de-açúcar, não diferiram significativamente entre si, quanto à precisão. Os resultados obtidos mostraram uma precisão da avaliação destas áreas, usando o método de análise digital, acima de 80%. Os fatores relacionados com a própria cultura da cana-de-açúcar, tais como a variedade, o estágio de desenvolvimento, a época de plantio e colheita influenciam decisivamente na resposta espectral da cana, o que

afeta, conseqüentemente, a precisão de identificação e avaliação de sua área nos dados do LANDSAT.

Em 1978 e 1979, MENDONÇA (1980) procurou alcançar o objetivo de identificar e mapear a área de cana-de-açúcar no Estado de São Paulo, através de dados do LANDSAT. Para atingir este objetivo, desenvolveu um projeto de pesquisa, baseado na análise digital de dados do LANDSAT. Os resultados obtidos apresentaram uma percentagem de classificação correta variando de 79,56 a 95,59%.

Em 1979, MENDONÇA et al. (1981) repetiram o inventário da cana-de-açúcar do Estado de São Paulo utilizando imagens LANDSAT na escala 1:250.000, tratadas visualmente. Os critérios básicos para a identificação da cultura foram a sua caracterização espectral nos canais 5 e 7, e a sua variação temporal, observada em diferentes passagens do satélite LANDSAT. Neste levantamento o intervalo de classificação correta calculado variou de 87,11 a 94,71%.

Em 1984, MENDONÇA et al. (1989), através do projeto CANASATE iniciou os trabalhos para estimar a área e distribuição da cana-de-açúcar, a nível nacional, utilizando técnicas de sensoriamento remoto. A média de 91% obtida na precisão do levantamento foi devida, sem dúvida, à metodologia adotada, a qual utilizou constante e eficazmente informações de campo para complementar os trabalhos propriamente ditos de interpretação dos dados orbitais.

RUDORFF (1985) avaliou o uso potencial dos dados LANDSAT, em conjunto com dados de um modelo agrometeorológico, para a previsão da produtividade da cana-de-acúcar. Nas imagens de satélite foram localizadas áreas canavieiras, extraindo-se os níveis de cinza que foram transformados em valores de reflectância e, em seguida, em índices vegetativos que devem expressar as condições de crescimento da cultura. Considerou que os melhores resultados foram alcançados com o uso dos dois modelos estudados em conjunto (agrometeorológico e índice vegetativo).

A regressão linear dos dois modelos juntos explicou 56% da variação, enquanto analisados separadamente os modelos agrometeorológico e índice vegetativo explicaram respectivamente 38% e 32% da variação. Embora os resultados mostrarem que os dados do satélite têm potencial para estimar produtividade, o modelo proposto no trabalho foi considerado como preliminar.

3.4 UTILIZAÇÃO DE MÉTODOS ESTATÍSTICOS NA AVALIAÇÃO DA EXATIDÃO DAS CLASSIFICAÇÕES

Devido à necessidade de avaliar os dados produzidos pelo sensoriamento remoto, procedimentos estatísticos foram desenvolvidos para determinar a exatidão das classificações visuais e/ou digitais.

A estatística KAPPA é utilizada para testar a concordância entre os resultados observados e os classificados em uma tabela de contingência (matriz de erro), usando o método da máxima probabilidade. KAPPA é uma medida da

atual concordância entre duas séries de dados menos a concordância ao acaso que ocorre entre a independência das linhas e das colunas.

A definição da estatística KAPPA, no caso de uma matriz, é dada a seguir, segundo HUDSON e RAMM (1987) (equação 3.1).

$$K = (N \sum x_{ii} - \sum x_{i+} x_{+i}) / (N^2 - \sum x_{i+} x_{+i}) \quad (3.1)$$

onde: "+" representa a somatória sobre o índice.

Para o cálculo da variância, a equação utilizada será (equação 3.2):

$$[k] = 1/N \{[\theta_1 (1-\theta_1) / (1 - \theta_2)^2] + [2 (1 - \theta_1) * (2 \theta_1 \theta_2 - \theta_3) / (1 - \theta_2)^3] + [(1 - \theta_1)^2 * (\theta_4 = 4 \theta_2^2) / (1 - \theta_2)^4]\} \quad (3.2)$$

Onde:

K= Índice Kappa

N = Número de pontos

X = Ponto

$$\theta_1 = \sum x_{ii}/N,$$

$$\theta_2 = \sum x_{i+} + x_{+i}/N^2,$$

$$\theta_3 = \sum x_{ii} (x_{+i} + x_{i+}) / N^2, \text{ e}$$

$$\theta_4 = \sum x_{ij} (x_{j+} + x_{+i})^2 / N^3.$$

Os valores resultantes da utilização deste método podem variar de "zero" a "um", onde os valores 0.00 (zero) indicam nenhuma similaridade (total independência) e 1.00 (um) indica igualdade (total dependência). Como mostra a Tabela 3.4 os valores podem ser agrupados em faixas, possibilitando uma análise dos resultados obtidos.

Tabela 3.4 - Qualidade da classificação associada a um valor da estatística "KAPPA".

| "KAPPA" | QUALIDADE |
|-------------|-----------|
| 0.00 - 0.20 | Ruim |
| 0.20 - 0.40 | Razoável |
| 0.40 - 0.60 | Boa |
| 0.60 - 0.80 | Muito Boa |
| 0.80 - 1.00 | Excelente |

Fonte: LANDIS e KOCH (1977)

Os autores relataram, ainda, que para cada produto, um teste de significância entre pares de valores de "K" pode ser realizado, utilizando-se um teste baseado numa curva de distribuição normal, usando a estatística "Z".

O valor de "Z" calculado é dado pela equação:

$$Z = (k_1 - k_2) / \sqrt{\hat{\sigma}_1 + \hat{\sigma}_2} \quad (3.3)$$

Se o valor calculado de Z for menor que 1,96 não se tem diferença significativa ao nível de 95% para um dado produto entre os resultados obtidos por dois intérpretes, ou seja, o desempenho de classificação dos dois intérpretes é homogêneo.

A utilização da estatística KAPPA vem crescendo e sua aplicação pode ser observada em vários trabalhos. No Brasil, alguns autores têm utilizado a estatística "KAPPA" em trabalhos que procuraram avaliar a exatidão de classificação, aplicada em vários campos de atuação.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo está localizada na região de Araraquara/SP, é caracterizada pelo intenso cultivo da cana-de-açúcar. Situa-se entre as coordenadas 21°30' e 22°00' latitude sul e 47°15' e 48°15' longitude oeste (Figura 4.1). Visualizada na imagem LANDSAT/TM (Figura 4.2).

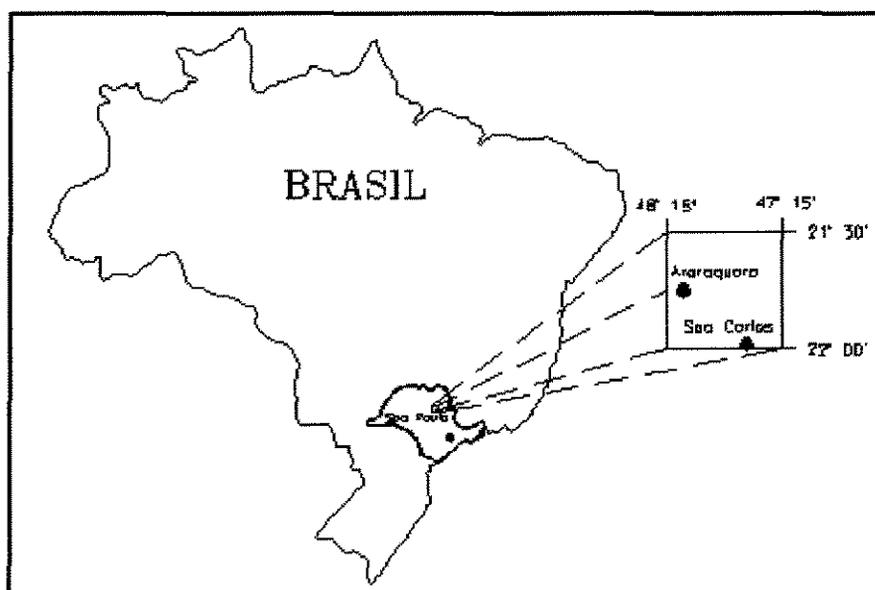


Figura 4.1 - Localização da área de estudo, região de Araraquara/SP.



Figura 4.2 - Região de estudo com delimitação das áreas amostradas (níveis de cinza), na imagem LANDSAT/TM.

A geologia da área encontra-se representada pela ocorrência de arenito do grupo Bauru, Arenito de Botucatu e de rochas basálticas do Grupo São Bento (IPT, 1981).

A escolha da área na região de Araraquara/SP se deve ao fato da região possuir as informações necessárias para o estudo e um controle em banco de dados armazenados no Centro de Tecnologia Copersucar. O relevo da área estudada é plano a suave ondulado com declividade menor do que 5%, e o espaçamento entre linhas é o mesmo para as três variedades.

4.2 IMAGENS DE SATÉLITE E MATERIAL CARTOGRÁFICO

4.2.1 Imagens LANDSAT/TM

Para a obtenção da informação espectral da área de estudo, foram utilizadas imagens LANDSAT/TM com três bandas do espectro eletromagnético (bandas 3, 4 e 5), das safras agrícolas 91/92, 92/93 e 93/94 correspondente ao 1º, 2º e 3º corte, respectivamente. O ponto órbita e as datas de passagens do satélite estão na Tabela 4.1. Selecionou-se datas do mês de abril devido a cultura estar próxima do seu máximo desenvolvimento vegetativo antes do início da colheita.

Tabela 4.1 - Ponto órbita, quadrante e data das imagens LANDSAT/TM.

| Ponto orbita | Quadrante | Data da imagem |
|---------------------|------------------|-----------------------|
| WRS 220-75 | W-04" | 21/04/91 |
| WRS 220-75 | W-04" | 23/04/92 |
| WRS 220-75 | W-04" | 26/04/93 |

- Banda 3 (faixa espectral do visível, vermelho) tem por característica medir a absorção da energia luminosa pelas folhas das plantas para a realização da fotossíntese. Como citado por GAUSMAN (1985) na região do visível do espectro eletromagnético, a resposta espectral das folhas é influenciada, principalmente, pelos pigmentos existentes nos cloroplastos amplamente encontrados nas células do mesófilo das folhas.

- Banda 4 (faixa espectral do infravermelho próximo) mostra o comportamento da vegetação quanto à reflectância. Uma vegetação sadia é caracterizada por uma maior percentagem de radiação refletida. A alta percentagem de radiação refletida pela folha na região do infravermelho próximo é causada essencialmente por sua estrutura celular. A quantidade desta radiação refletida por várias folhas é bem maior que a refletida por uma única folha.

- Banda 5 (faixa espectral do infravermelho médio) caracteriza a resposta espectral das folhas quanto a absorção da radiação pela água existente. A quantidade de energia solar incidente na região do infravermelho médio, absorvida pela vegetação é uma função da quantidade total de água presente na folha, que por sua vez, é uma função do teor de umidade e da espessura da folha.

A Figura 4.3 ilustra as respostas espectrais de vegetação verde, de solo arenoso, solo argiloso e a faixa de comprimento de ondas das três bandas do LANDSAT/TM.

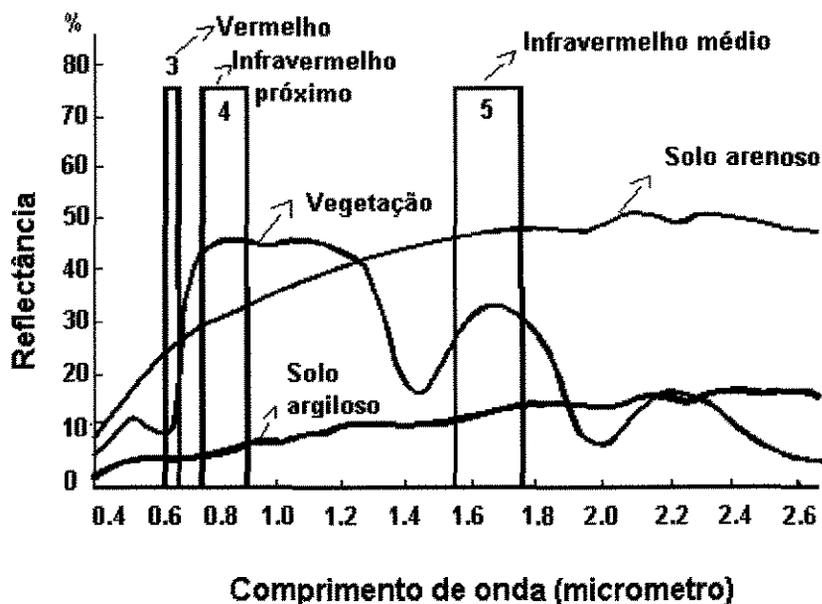


Figura 4.3 - Relação das três faixas espectrais do sensor TM e reflectância espectral de alvos das superfície terrestre.

Fonte: GAUSMAN, 1985.

Para a extração das imagens de fitas streamer utilizou-se o software Sistema de Tratamento de Imagem (SITIM) Versão 2.5, desenvolvido pelo Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE).

4.2.2 Correção radiométrica das imagens de satélite

Utilizou-se o Sistema de Correção Radiométrica de Imagens de Satélite (SCORADIS), desenvolvido por ZULLO JR (1994), que é um sistema computacional que tem como base a teoria e os parâmetros atmosféricos calculados pelo MODELO 5S (Simulation du Signal Satellitaire dans le Spectre Solaire).

O MODELO 5S, desenvolvido pelo Laboratório de Ótica Atmosférica de Lille na França, estima o sinal recebido pelos satélites no espectro solar (0,25 μm a 4,00 μm) na ausência de nuvens (Tauré et al. 1985, 1986 e 1990, citado por ZULLO JR (1994)).

A Tabela 4.2 apresenta os dados atmosféricos originais e os fatores de correção necessários à definição do modelo atmosférico dos componentes gasosos com base nos dados do aeroporto Leite Lopes de Ribeirão Preto/SP, que se encontra dentro das imagens de satélite estudadas. As imagens, sem e com a correção atmosférica, podem ser visualizadas nas figuras 4.4 e 4.5.

Tabela 4.2 - Parâmetros atmosféricos utilizados na correção atmosférica.

| data da imagem | visibilidade (km) | pressão atmosférica (hPa) | temperatura ($^{\circ}\text{C}$) | atmosfera | aerossol |
|----------------|-------------------|---------------------------|------------------------------------|-----------|-------------|
| 21/04/91 | 20 | 1023 | 23 | tropical | continental |
| 23/04/92 | 15 | 1016 | 26 | tropical | continental |
| 26/04/93 | 9 | 1018 | 24 | tropical | continental |

4.2.3 - Material cartográfico

Com base nas cartas topográficas do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) na escala de 1:50.000, utilizou-se folhas de Araraquara, Rincão, Porto Pulador, Ibaté, Matão, Bonfim Paulista e Boa Esperança do Sul para o geo-referenciamento das imagens. Utilizou-se também mapas planimétricos das fazendas com os talhões que continham as variedades estudadas nas três texturas de solos.



Figura 4.4 - Imagem de satélite LANDSAT/TM sem correção atmosférica.

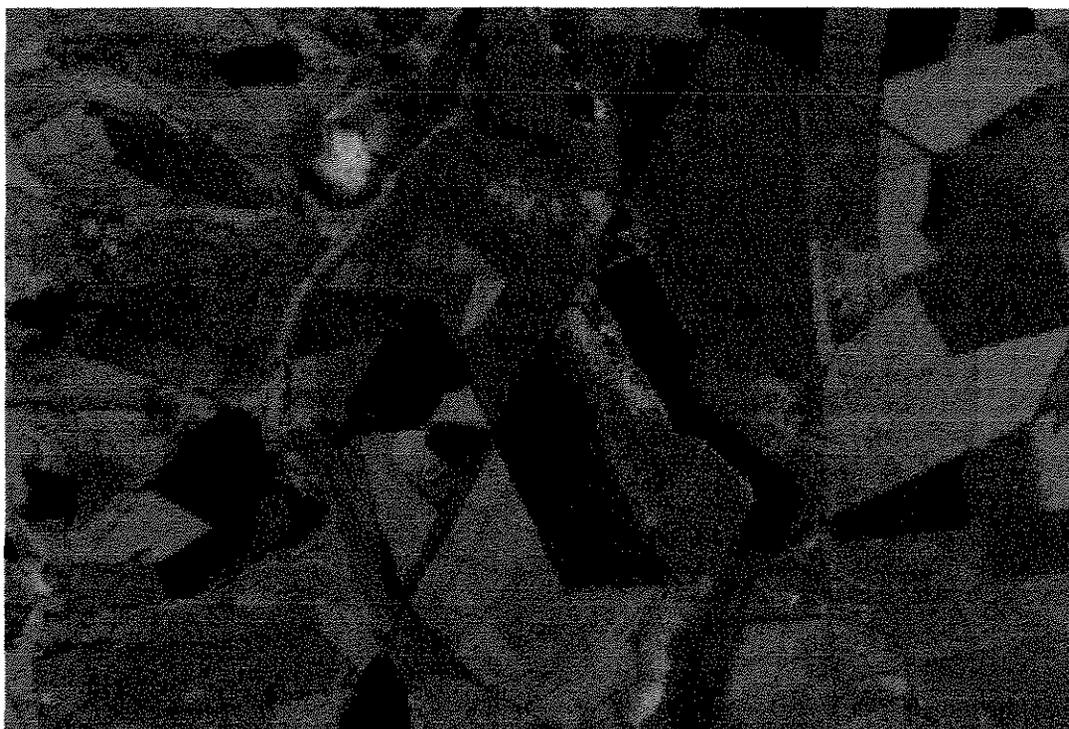


Figura 4.5 - Imagem do satélite LANDSAT/TM com correção atmosférica.

4.3 CLASSES TEXTURAIS DE SOLOS

Das usinas cooperadas localizadas na região de estudo, utilizou-se três classes texturais de solos para avaliar o efeito solo sobre as respostas espectrais das variedades de cana-de-açúcar.

Textura argilosa: É representada pelos solos Latossolo Roxo e Latossolo Vermelho Escuro.

Textura média: É representada pelos solos Latossolo Vermelho Escuro e Latossolo Vermelho Amarelo.

Textura arenosa: É representada pelos solos Latossolo Vermelho Amarelo, cuja camada superficial apresenta teor de argila menor do que 15% e pela Areia Quartzosa.

4.4 VARIEDADES DE CANA-DE-AÇÚCAR

As três variedades de cana-de-açúcar escolhidas, foram as mais importantes cultivadas nas safras 91/92, 92/93 e 93/94 no Estado de São Paulo (Tabela 4.3). As respostas espectrais das três variedades e também de duas texturas de solo podem ser visualizadas na figura 4.9.

Tabela 4.3 - Porcentagem da área total ocupada pelas três variedades nas três safras analisadas.

| Variedades | 91/92 | 92/93 | 93/94 |
|-------------------|--------------|--------------|--------------|
| SP71-6163 | 18,3 | 25,3 | 29,6 |
| SP70-1143 | 24,3 | 22,4 | 20,3 |
| SP71-1406 | 21,8 | 19,5 | 15,3 |

4.4.1 Característica Botânica das Três Variedades de Cana-de-Açúcar

SP70-1143 - Touceiras levemente decumbentes durante todo o ciclo. O ponteiro do colmo é de comprimento médio e levemente achatado, de cor verde e com pouca cera. Apresenta joçal no dorso da bainha. As folhas são curvadas no meio de largura média com bordos serrilhados e com presença de pilosidade (Figura 4.6).



Figura 4.6 - Variedade SP70-1143

SP71-1406 - Quando jovem, a touceira apresenta-se bastante aberta e inclinada e quando adulta fica semi-ereta. O ponteiro é de comprimento médio e redondo, verde arroxeadado, com pouca cera e joçal no dorso da bainha. As folhas são eretas, de largura média e as bordas pouco serrilhadas e com pouca pilosidade(Figura 4.7).



Figura 4.7 - Variedade SP71-1406

SP71-6163 - Touceiras eretas quando jovem e inclinadas quando adulta. O ponteiro é de comprimento médio e achatado, amarelado com pouca cera e joçal no dorso da bainha e na lateral. As folhas novas são eretas e as mais velhas medianamente curvadas ao meio. A largura é média, com bordos serrilhados e sem presença de pilosidade (Figura 4.8).



Figura 4.8 - Variedade SP71-6163

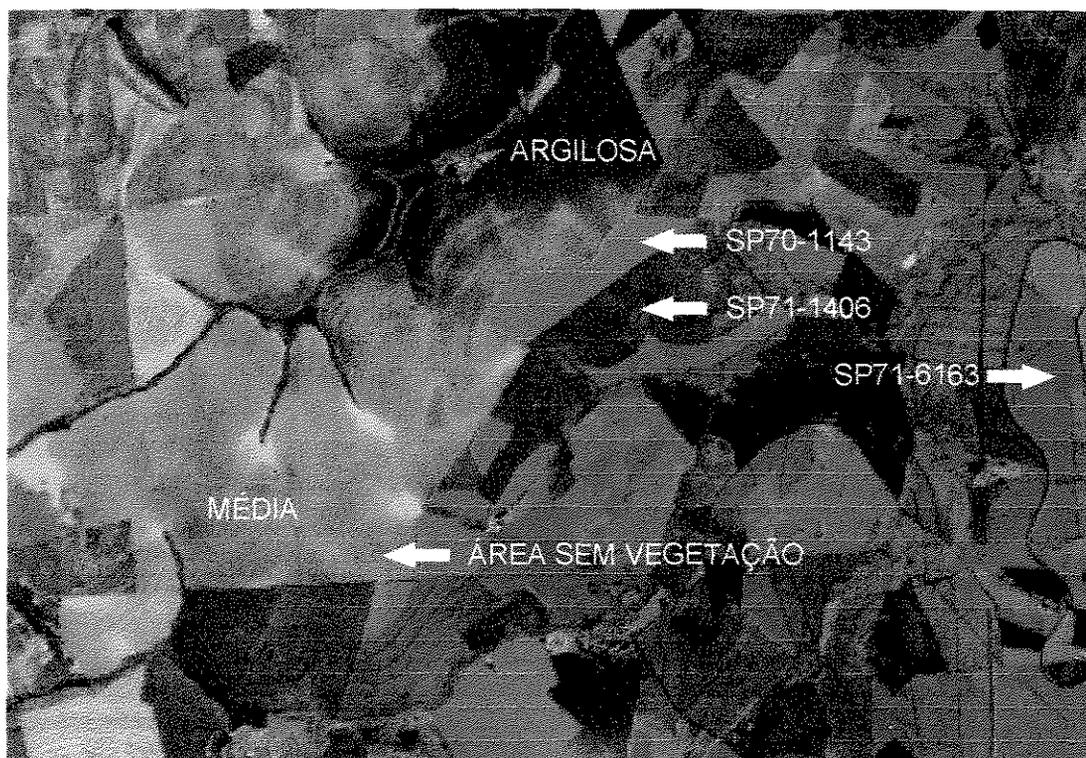


Figura 4.9 - Imagem Landsat/TM de 21/04/9 com duas texturas (média e argilosa) e as três variedades estudadas, baseadas em banco de dados.

4.5 BANCO DE DADOS AGRONÔMICOS

Através das informações armazenadas em banco de dados no Centro de Tecnologia Copersucar, das fazendas e talhões foi possível obter as variedades, tipos de solo e safras agrícolas analisadas.

4.6 AMOSTRAGENS DOS NÍVEIS DE CINZA

Quando a planta atinge o seu completo desenvolvimento vegetativo, cobrindo totalmente o solo, a influência deste se torna bem menor, havendo uma

predominância da energia refletida pela própria vegetação. Nesta fase são de grande importância os fatores que venham a alterar a energia refletida por esta vegetação, os quais afetam a pigmentação, a estrutura da folha ou a quantidade de água existente na planta (ASSUNÇÃO e FORMAGGIO, 1989).

Para ASSUNÇÃO e FORMAGGIO (1989) diferentes variedades de uma mesma espécie agrícola podem apresentar variações na quantidade de pigmentos ou na estrutura de suas folhas, variações estas que podem ser detectadas por certos tipos de sensores.

TOWNSHEND (1984), PITTS et al. (1984) e CHEN et al. (1986) citado por CHEN (1989), mostraram que a utilização de apenas três bandas, situadas respectivamente nas regiões do visível, infravermelho próximo e infravermelho médio, fornecem as melhores informações para a discriminação de culturas.

Para o estudo de identificação e separação das três variedades de cana utilizou-se para a região do visível, a banda 3. Para a região do infravermelho próximo, a banda 4 e para a região do infravermelho médio, a banda 5.

Para CHEN (1989), antes de iniciar a análise digital de determinada área de estudo, devem ser coletadas amostras de cada classe espectral para representar, de maneira significativa, os níveis de cinza em cada banda espectral, referentes a elas. Citou também que os pixels pertencentes a uma mesma classe espectral possuem valores de níveis de cinza semelhantes numa mesma banda espectral e tendem a agrupar-se dentro do espaço multiespectral.

Para o estudo de identificação varietal, selecionou-se para as safras agrícolas 91/92, 92/93 e 93/94 correspondente ao 1º, 2º e 3º corte, respectivamente, talhões para as nove condições existentes (três variedades x três texturas de solo). Definiu-se, de acordo com a variabilidade existente, a quantidade de talhões amostrados e a quantidade de amostras dentro do talhão para cada condição. As amostras dos níveis de cinza de cana de 1º corte foram feitas na imagem de 21/04/91, as amostras de 2º corte na imagem de 23/04/92 e as amostras de 3º corte na imagem de 26/04/93.

Para a extração dos níveis de cinza na imagem, utilizou-se o software Sistema de Tratamento de Imagem (SITIM), onde foram amostrados os pixels no interior dos talhões, evitando a coleta próximo aos carregadores. Foram amostrados em torno de 5% dos pixels de cada variedade e textura de solo nos três cortes. A quantidade de pixel amostrado variou para cada condição devido a área existente de cada variedade nas três texturas de solos (Tabelas 4.4, 4.5, 4.6). A obtenção dos níveis de cinza foi conseguida através do posicionamento do cursor sobre a área de estudo. Os níveis de cinza foram obtidos para as três bandas ao mesmo tempo.

As Tabelas 4.4, 4.5 e 4.6 mostram os dados utilizados para os três cortes e os anexos um a nove mostram a distribuição dos níveis de cinza amostrados.

Tabela 4.4 - Dados utilizados na amostragem do 1º corte.

| Variedade | textura | nº de talhões | área (ha) | nº de pixel total | nº de talhões amostrados | nº de pixels amostrados | % de pixel amostrado |
|-----------|----------|---------------|-----------|-------------------|--------------------------|-------------------------|----------------------|
| SP71-6163 | arenosa | 14 | 197,75 | 2.197 | 5 | 100 | 4,6 |
| | média | 24 | 276,42 | 3.071 | 7 | 112 | 3,6 |
| | argilosa | 31 | 247,48 | 2.750 | 13 | 162 | 5,9 |
| SP70-1143 | arenosa | 46 | 218,23 | 2.425 | 14 | 132 | 5,4 |
| | média | 15 | 204,37 | 2.270 | 6 | 120 | 5,3 |
| | argilosa | 17 | 113,19 | 1.256 | 5 | 67 | 5,3 |
| SP71-1406 | arenosa | 17 | 200,47 | 2.227 | 7 | 136 | 6,1 |
| | média | 16 | 230,93 | 2.565 | 5 | 92 | 3,7 |
| | argilosa | 34 | 331,08 | 3.679 | 9 | 152 | 4,1 |

Tabela 4.5 - Dados utilizados na amostragem do 2º corte.

| Variedade | textura | nº de talhões | área (ha) | nº de pixel total | nº de talhões amostrados | nº de pixel amostrado | % de pixel amostrado |
|-----------|----------|---------------|-----------|-------------------|--------------------------|-----------------------|----------------------|
| SP71-6163 | arenosa | 14 | 197,75 | 2.197 | 5 | 100 | 4,6 |
| | média | 24 | 276,42 | 3.071 | 7 | 113 | 3,6 |
| | argilosa | 31 | 247,48 | 2.750 | 13 | 162 | 5,9 |
| SP70-1143 | arenosa | 46 | 218,23 | 2.425 | 14 | 132 | 5,4 |
| | média | 14 | 182,15 | 2.023 | 5 | 92 | 4,5 |
| | argilosa | 17 | 113,19 | 1.256 | 5 | 67 | 5,3 |
| SP71-1406 | arenosa | 17 | 200,47 | 2.227 | 7 | 136 | 6,1 |
| | média | 16 | 230,93 | 2.565 | 5 | 92 | 3,7 |
| | argilosa | 34 | 331,08 | 3.679 | 9 | 152 | 4,1 |

Tabela 4.6 - Dados utilizados na amostragem do 3º corte

| Variedade | textura | nº de talhões | área (ha) | nº de pixel total | nº de talhões amostrados | nº de pixel amostrado | % de pixel amostrado |
|-----------|----------|---------------|-----------|-------------------|--------------------------|-----------------------|----------------------|
| SP71-6163 | arenosa | 14 | 197,75 | 2.197 | 5 | 100 | 4,6 |
| | média | 24 | 276,42 | 3.071 | 7 | 113 | 3,6 |
| | argilosa | 27 | 222,22 | 2.469 | 10 | 139 | 5,6 |
| SP70-1143 | arenosa | 26 | 160,92 | 1.788 | 7 | 82 | 4,6 |
| | média | 13 | 182,15 | 2.024 | 5 | 106 | 5,2 |
| | argilosa | 17 | 113,19 | 1.256 | 5 | 64 | 5,3 |
| SP71-1406 | arenosa | 17 | 200,47 | 2.227 | 7 | 136 | 6,1 |
| | média | 16 | 230,93 | 2.565 | 5 | 91 | 3,7 |
| | argilosa | 34 | 331,08 | 3.679 | 9 | 152 | 4,1 |

4.7 METODOLOGIA DA ANÁLISE DE DADOS

Foram realizadas análises estatísticas através do teste de Tukey ao nível de 5% de significância para cada variedade nos três cortes, comparando-se as médias dos níveis de cinza das três texturas. Comparou-se também as médias em conjunto das três variedades independentemente da textura, para uma análise conjunta dos dados. Na análise estatística pelo teste de Tukey levou-se em consideração a diferença no número de pixels amostrados.

Analisou-se o coeficiente de variação e o desvio padrão onde pode-se medir o grau de dispersão das amostras. Os intervalos dos desvios padrão serviram, juntos com a média, para construir os gráficos que estão sob a forma de figuras nos resultados e discussão. Facilitando com isso a visualização e interpretação dos resultados.

4.8 ANÁLISE DE EXATIDÃO ATRAVÉS DO ÍNDICE KAPPA

Escolheu-se uma imagem de satélite do 2º corte, onde os níveis de cinza na banda 5 das variedades SP70-1143 e SP71-6163 mostraram os melhores resultados de identificação e separação entre duas variedades.

Utilizou-se, para o cálculo do índice Kappa, o software Idrisi® onde a imagem foi classificada digitalmente através da técnica de reclassificação e fatiamento de níveis de cinza, baseado nas médias e desvios padrão conforme os resultados expressos na Tabela 5.12. Foram coletados 21 amostras de pixels de referência numa área de controle (Figura 4.10) e foram definidas três categorias

onde a categoria 0 (zero) foi considerada como sendo todos os níveis de cinza fora dos intervalos das duas variedades. A categoria 1 (um) a SP71-6163 e a categoria 2 (dois) a SP70-1143.

A imagem resultante deste processo foi comparada com dados de controle obtidos no banco de dados (Figura 4.11). Obtendo-se a matriz de erro (dentro do módulo ERRMAT do Idrisi[®]) e o índice Kappa.



Figura 4.10 - Pixels amostrados (pontos em amarelo) na área de controle das variedades SP70-1143 e SP71-6163 para a análise do Kappa.

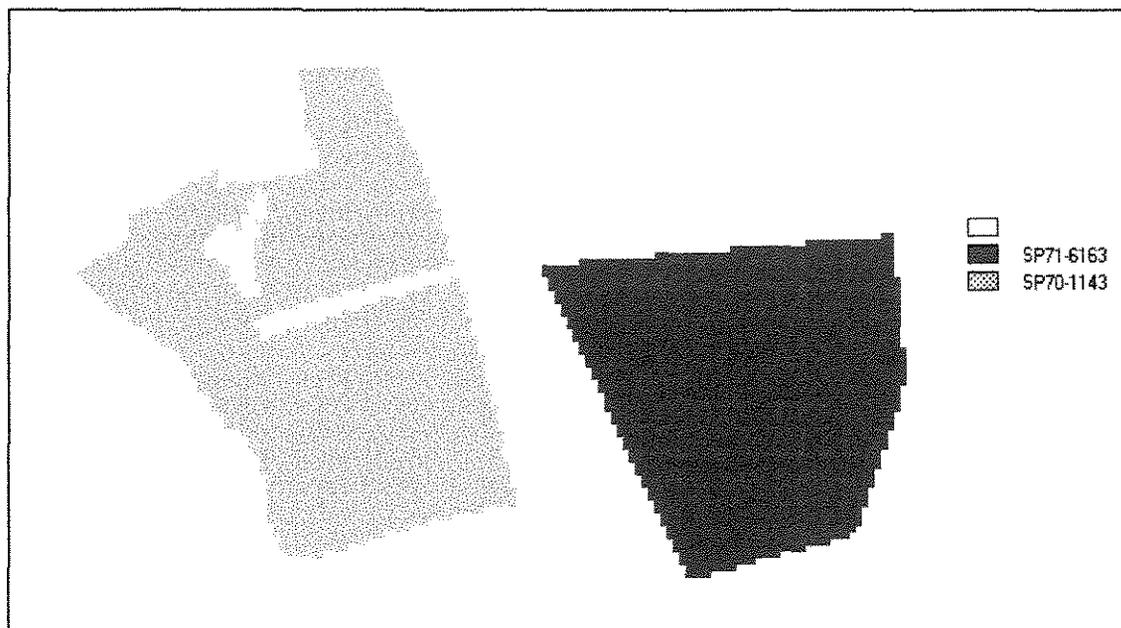


Figura 4.11- Mapa das áreas de controle baseados em banco de dados.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados encontrados permitiram fazer análises a nível de variedade x textura de solo e variedade x variedade nas três safras agrícolas 91/92, 92/93 e 93/94, correspondentes aos três estágios de corte.

5.1 NÍVEIS DE CINZA DAS VARIEDADES X TEXTURAS DE SOLO

5.1.1 Níveis de Cinza da Variedade SP70-1143

Os níveis de cinza foram encontrados nas três texturas de solos para os três estágios de corte. Foi possível avaliar canas de 1º (91/92), 2º (92/93) e 3º (93/94) cortes nas três bandas analisadas. A distribuição dos níveis de cinza amostrados nos três cortes estão nos anexos 1, 2 e 3.

Obteve-se na banda 3 diferenças estatísticas significativas dos níveis de cinza entre as texturas no 1º corte, embora com valores muito próximos. O coeficiente de variação ocorrido demonstra que existe uma média dispersão entre as amostras, com a maior variação ocorrendo na textura argilosa. (Tabela 5.1).

No 2º corte observou-se que houve diferenciação estatística entre as três texturas. O menor coeficiente de variação ocorrido neste corte mostra que houve uma menor variação entre os níveis de cinza, nas três texturas (Tabela 5.1).

Os resultados obtidos no 3º corte nas texturas arenosa e média mostram igualdade nos níveis de cinza. A classe textural argilosa apresentou resultado significativamente diferente das outras duas texturas. O menor coeficiente de variação ocorrido na textura arenosa, foi devido a uma grande diminuição no número de talhões amostrados. (Tabela 5.1).

A figura 5.1 ilustra a média dos níveis de cinza e o desvio padrão, demonstrando graficamente a dispersão das amostras. Observa-se que no 3º corte ocorreu uma elevada dispersão.

Tabela 5.1 - Níveis de cinza na variedade SP70-1143 avaliada em três cortes e três texturas de solos na banda 3.

| Nível de cinza | 1º corte | | | 2º corte | | | 3º corte | | |
|---|----------------|--------------|-----------------|----------------|--------------|-----------------|----------------|--------------|-----------------|
| | arenosa (1) | média (2) | argilosa (3) | arenosa (1) | média (2) | argilosa (3) | arenosa (1) | média (2) | argilosa (3) |
| média | 13,9 | 13,1 | 12,3 | 16,6 | 16,1 | 15,3 | 12,9 | 13,4 | 10,5 |
| coef. variação | 12,36 | 10,82 | 15,30 | 8,13 | 9,05 | 10,37 | 20,79 | 25,46 | 43,78 |
| desvio padrão | 1,7 | 1,42 | 1,89 | 1,35 | 1,45 | 1,59 | 2,67 | 3,41 | 4,58 |
| Nível de probabilidade do contraste (1)-(2) | < 0,0001 | | | 0,0097 | | | 0,261 | | |
| Nível de probabilidade do contraste (2)-(3) | | 0,0031 | | | 0,0014 | | | < 0,0001 | |
| Nível de probabilidade do contraste (1)-(3) | < 0,0001 | | | < 0,0001 | | | 0,0003 | | |

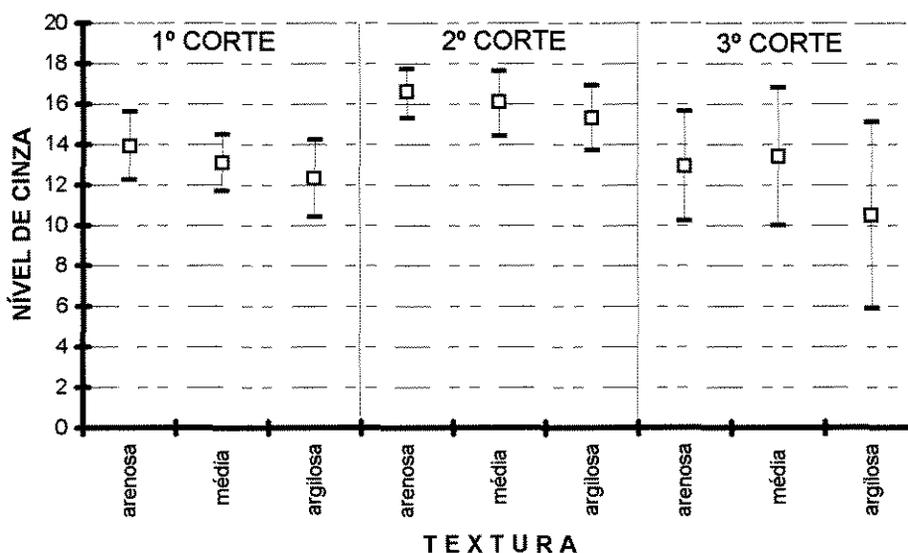


Figura 5.1 - Média e desvio padrão dos níveis de cinza da variedade SP70-1143, em três texturas e três cortes, na banda 3.

Na banda 4 os níveis de cinza mostraram muita semelhança entre os resultados para a mesma textura nos três cortes, exceto para a textura argilosa onde os dados do 1º corte foi diferente em relação ao 2º e 3º cortes (Tabela 5.2).

No 1º corte os níveis de cinza das texturas média e argilosa foram estatisticamente iguais e ambos diferiram da textura arenosa. O baixo coeficiente de variação das texturas média e argilosa indicam uma homogeneidade das amostras, com maior variação para a textura arenosa (Tabela 5.2).

Os níveis de cinza ocorridos no 2º corte (Tabela 5.2) mostraram diferenças significativas entre as três texturas. A maior diferença foi observada entre a textura arenosa (110,5) e a textura argilosa (128,3).

Os níveis de cinza no 3º corte foram muito semelhantes aos do 2º corte nas texturas média e argilosa e apresentaram pequenas diferenças entre os valores na textura arenosa. Ao nível de 1% de significância as texturas arenosa e média apresentaram igual nível de cinza e ambas diferiram da textura argilosa (Tabela 5.2).

Os níveis de cinza ocorridos na banda 4 nos três cortes foram semelhantes nas texturas arenosa e média. Na textura argilosa foram diferentes entre o 1º e 2º cortes e semelhantes entre o 2º e 3º cortes (Tabela 5.2).

Os níveis de cinza nos solos de textura argilosa, apresentaram a melhor homogeneidade no 1º e 2º cortes, devido a menor variabilidade dos resultados, observados no coeficiente de variação (Tabela 5.2).

Geralmente, os solos de textura argilosa promovem maiores produtividades de cana em relação às outras texturas nos estágios de corte mais avançados, mantendo assim uma maior biomassa. Este fato pode ser observado pelo aumento nas médias dos níveis de cinza. A exceção a esta regra foi constatada nos níveis de cinza no 1º corte, onde a expectativa era a ocorrência de um nível de cinza maior, fato que foi causado pelo acamamento da cultura interferindo na resposta espectral, já que o seu desenvolvimento vegetativo é maior em relação as texturas arenosa e média, refletindo num maior valor dos níveis de cinza na banda 4.

Tabela 5.2 - Níveis de cinza na banda 4, da variedade SP70-1143, avaliada em três cortes e três texturas de solos.

| Nível de cinza | 1º corte | | | 2º corte | | | 3º corte | | |
|---|-------------|-----------|--------------|-------------|-----------|--------------|-------------|-----------|--------------|
| | arenosa (1) | média (2) | argilosa (3) | arenosa (1) | média (2) | argilosa (3) | arenosa (1) | média (2) | argilosa (3) |
| média | 109,4 | 117,1 | 115,5 | 110,5 | 117,2 | 128,3 | 113,7 | 117,7 | 128,1 |
| coef. variação | 13,39 | 5,73 | 4,54 | 9,95 | 6,98 | 5,76 | 12,57 | 10,00 | 10,17 |
| desvio padrão | 12,46 | 6,71 | 5,24 | 11,00 | 8,19 | 7,39 | 14,29 | 11,76 | 13,04 |
| Nível de probabilidade do contraste (1) - (2) | < 0,0001 | | | < 0,0001 | | | 0,042 | | |
| Nível de probabilidade do contraste (2) - (3) | 0,0727 | | | < 0,0001 | | | < 0,0001 | | |
| Nível de probabilidade do contraste (1) - (3) | < 0,0001 | | | < 0,0001 | | | < 0,0001 | | |

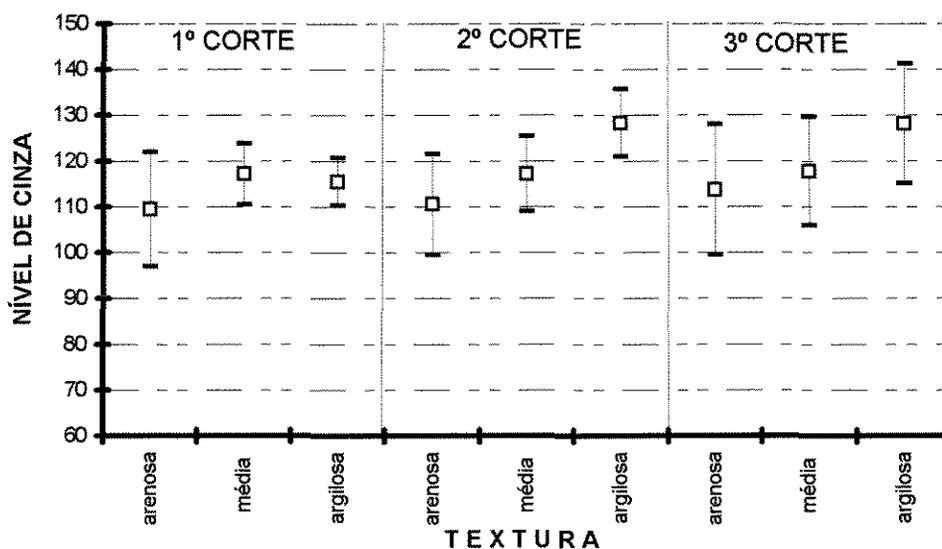


Figura 5.2 - Média e desvio padrão dos níveis de cinza da variedade SP70-1143, em três texturas e três cortes, na banda 4.

A menor variação entre os níveis de cinza da variedade SP70-1143 ocorreu na banda 5, tanto dentro da mesma textura como entre as texturas de solo. Esta pequena variação mostra uma homogeneidade entre as amostras,

facilitando com isso na sua identificação e separação em relação às outras variedades (Tabela 5.3).

Nos três cortes os níveis de cinza são estatisticamente iguais (1% de significância) entre as texturas arenosa e média. Ambas as texturas apresentaram valores superiores e estatisticamente diferentes (1% de significância) em relação a textura argilosa nos três cortes. A exceção ocorreu no 2º corte onde apesar da média dos níveis de cinza da textura arenosa ser superior ao da argilosa, ambas são estatisticamente iguais a 1% de significância (Tabela 5.3). A longevidade do canavial, é geralmente maior nos solos argilosos por apresentarem maior potencial em fornecer água e nutrientes para as plantas. Isto faz com que o índice de biomassa seja maior neste tipo de solo.

Na banda 5 onde a resposta espectral é influenciada pelo teor de água na estrutura da planta, quanto maior o índice de biomassa maior será a absorção da radiação pela planta. O reflexo desta diferença torna se mais evidente quanto à resposta espectral nos estágios de corte mais avançado e principalmente em solos mais arenosos onde a queda do índice de biomassa é maior. Esta ocorrência está bem evidenciada no 3º corte onde o nível de cinza na textura argilosa foi bem inferior aos de textura arenosa, o que não foi evidenciado nos dois primeiros cortes

Embora foram identificadas diferenças significativas (1% de significância) entre textura média e argilosa no 2º corte e arenosa e argilosa no 1º corte, as

maiores diferenças foram observadas entre as texturas arenosa e média em relação à textura argilosa no 3º corte (Tabela 5.3).

Tabela 5.3 - Níveis de cinza na banda 5, da variedade SP70-1143, avaliada em três cortes e três texturas de solos.

| Nível de cinza | 1º corte | | | 2º corte | | | 3º corte | | |
|---|-------------|-----------|--------------|-------------|-----------|--------------|-------------|-----------|--------------|
| | arenosa (1) | média (2) | argilosa (3) | arenosa (1) | média (2) | argilosa (3) | arenosa (1) | média (2) | argilosa (3) |
| média | 48,8 | 48,3 | 47,3 | 54,9 | 55,4 | 54,4 | 55,6 | 56,7 | 51,9 |
| coef. variação | 5,52 | 5,44 | 5,44 | 4,14 | 3,74 | 4,67 | 6,56 | 6,64 | 7,18 |
| desvio padrão | 2,69 | 2,63 | 2,63 | 2,28 | 2,07 | 2,54 | 3,65 | 3,76 | 3,72 |
| Nível de probabilidade do contraste (1) - (2) | 0,137 | | | 0,0896 | | | 0,0446 | | |
| Nível de probabilidade do contraste (2) - (3) | | 0,0316 | | | 0,0092 | | | < 0,0001 | |
| Nível de probabilidade do contraste (1) - (3) | 0,0013 | | | 0,1771 | | | < 0,0001 | | |

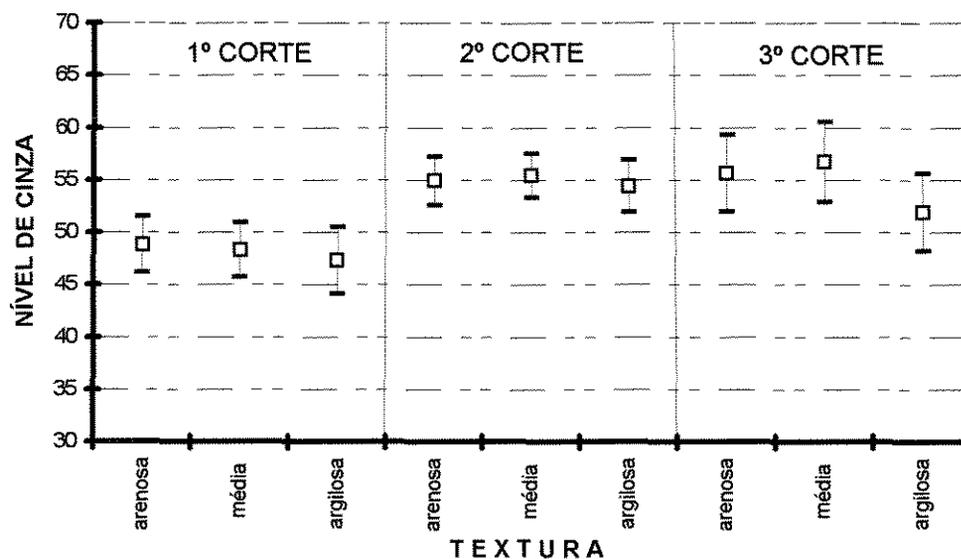


Figura 5.3 - Média e desvio padrão dos níveis de cinza da variedade SP70-1143, em três texturas e três cortes, na banda 5.

Os níveis de cinza encontrados mostram que pode-se agrupar os valores das três texturas para a identificação e separação desta variedade das outras duas na banda 5.

Nas três bandas ocorreram diminuição significativa no número de amostras (pixels) do 2º para o 3º corte na textura arenosa. Solos com esta característica, geralmente apresentam maiores reduções de produtividade de cana de um corte para outro devido a falhas de brotação causadas por seca edáfica, pragas de solos, ervas daninhas, deficiência nutricional e doenças. Estes fatos levam estas áreas a serem reformadas no 3º corte, como ocorreu em alguns talhões na área estudada.

5.1.2 - Níveis de Cinza da Variedade SP71-1406

A distribuição dos níveis de cinza amostrados nos três cortes estão nos anexos 4, 5 e 6. Os resultados dos níveis de cinza da variedade SP71-1406 obtidos na banda 3, mostraram valores muito próximos para as três texturas no 1º e 2º cortes. Estatisticamente (1% de significância) os níveis de cinza da textura arenosa foi diferente das texturas média e argilosa no 1º corte. No 2º corte a textura média diferenciou-se das texturas arenosa e argilosa. Já no 3º corte os valores obtidos foram muito inferiores aos cortes anteriores, destacando-se o valor de 8,1 obtido pelo solo de textura média (Tabela 5.4). Os resultados encontrados no 3º corte não mantiveram a expectativa, já que, a tendência é diminuir o índice de biomassa pela queda de produtividade esperada. Com isso

os níveis de cinza tenderiam a serem maiores do que os dos cortes anteriores. Isto ocorre porque na banda 3 quanto maior o índice de biomassa maior será a absorção da radiação fazendo com que os valores dos níveis de cinza diminua.

As maiores reduções foram encontradas nas texturas arenosa e argilosa, onde ocorreram diferenças superiores a 100%, ou seja, passando de 11,3 e 11,1 no 2º corte para 5,5 e 5,0 no 3º corte, respectivamente (Tabela 5.4).

Pela Figura 5.4 observa-se a semelhança de resultados no 1º e 2º cortes e a redução ocorrida no 3º corte, inclusive apresentando maiores desvios padrão para as três texturas.

Tabela 5-4 - Níveis de cinza na banda 3, da variedade SP71-1406, avaliada em três cortes e três texturas de solos.

| Nível de cinza | 1º corte | | | 2º corte | | | 3º corte | | |
|---|----------------|--------------|-----------------|----------------|--------------|-----------------|----------------|--------------|-----------------|
| | arenosa (1) | média (2) | argilosa (3) | arenosa (1) | média (2) | argilosa (3) | arenosa (1) | média (2) | argilosa (3) |
| média | 10,2 | 11,1 | 10,8 | 11,3 | 12,0 | 11,1 | 5,5 | 8,1 | 5,0 |
| coef. variação | 12,24 | 12,44 | 14,43 | 9,90 | 13,80 | 11,37 | 33,07 | 24,13 | 33,27 |
| desvio padrão | 1,25 | 1,38 | 1,56 | 1,12 | 1,66 | 1,26 | 1,83 | 1,96 | 1,68 |
| Nível de probabilidade do contraste (1) - (2) | < 0,0001 | | | 0,0005 | | | < 0,0001 | | |
| Nível de probabilidade do contraste (2) - (3) | | 0,1189 | | | < 0,0001 | | | < 0,0001 | |
| Nível de probabilidade do contraste (1) - (3) | 0,0003 | | | 0,1549 | | | 0,0168 | | |

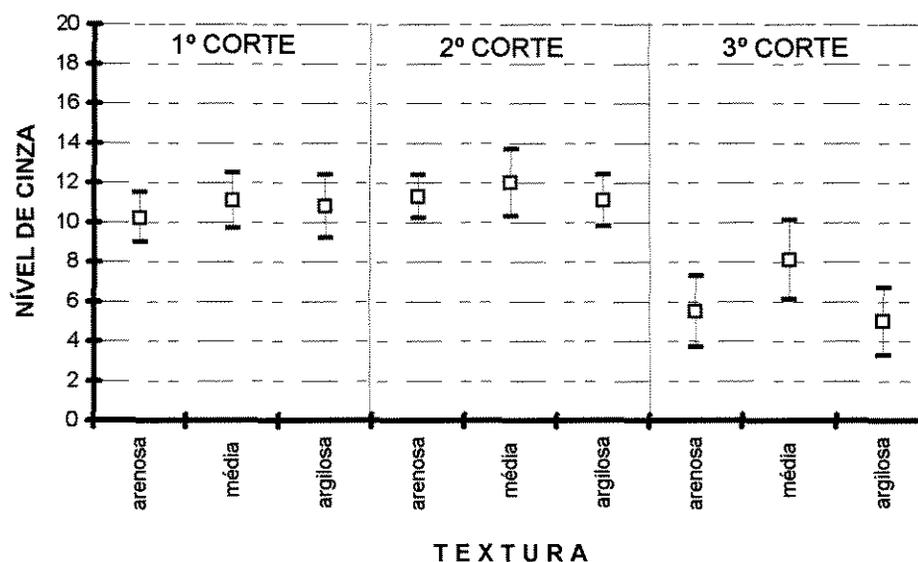


Figura 5.4 - Média e desvio padrão dos níveis de cinza da variedade SP71-1406, em três texturas e três cortes, na banda 3.

Na banda 4, os níveis de cinza da variedade SP71-1406 mantiveram a expectativa de diminuição nas médias dos níveis de cinza do 1º para o 3º corte e, mostraram maior variação na textura arenosa entre os três cortes, decrescendo de 96,6 no 1º corte para 78,1 no 3º corte. A exceção ocorreu na textura média do 2º para o 3º corte onde os níveis de cinza aumentaram. Esta variação ocorrida é devido a maior queda de produtividade de cana que ocorre nos solos arenosos, fazendo com que o índice de biomassa decresça.

O nível de cinza da textura arenosa foi significativamente diferente (1% de significância) em relação aos das texturas média e argilosa nos 1º e 2º corte. No 3º corte os níveis de cinza foram significativamente diferentes (1% de significância) entre as três texturas. Os níveis de cinza nos três cortes

apresentaram variação dentro da mesma textura e também entre as texturas, ocorrendo maior variação na textura arenosa (Tabela 5.5 e Figura 5.5).

A banda 4 mede a reflectância do dossel vegetal, ou seja, quanto maior o índice de biomassa maior será a reflectância aumentando assim os valores dos níveis de cinza. A previsão era de ocorrer um aumento nos valores dos níveis de cinza da textura arenosa para a textura argilosa, e isto não ocorreu, demonstrando a ocorrência de maiores produtividades nos solos mais arenosos em relação aos de texturas médias e argilosas no 1º e 2º cortes, observados em banco de dados.

Tabela 5-5 - Níveis de cinza na banda 4, da variedade SP71-1406, avaliada em três cortes e três texturas de solos.

| Nível de cinza | 1º corte | | | 2º corte | | | 3º corte | | |
|---|----------------|--------------|-----------------|----------------|--------------|-----------------|----------------|--------------|-----------------|
| | arenosa (1) | média (2) | argilosa (3) | arenosa (1) | média (2) | argilosa (3) | arenosa (1) | média (2) | argilosa (3) |
| média | 96,6 | 88,0 | 87,3 | 92,3 | 85,2 | 84,0 | 78,1 | 87,8 | 80,5 |
| coef. variação | 5,43 | 4,48 | 4,42 | 3,96 | 5,63 | 3,39 | 7,42 | 7,11 | 4,53 |
| desvio padrão | 5,24 | 3,95 | 3,86 | 3,65 | 4,79 | 2,85 | 5,79 | 6,24 | 3,65 |
| Nível de probabilidade do contraste (1) - (2) | < 0,0001 | | | < 0,0001 | | | < 0,0001 | | |
| Nível de probabilidade do contraste (2) - (3) | | 0,1237 | | | 0,0310 | | | < 0,0001 | |
| Nível de probabilidade do contraste (1) - (3) | < 0,0001 | | | < 0,0001 | | | < 0,0001 | | |

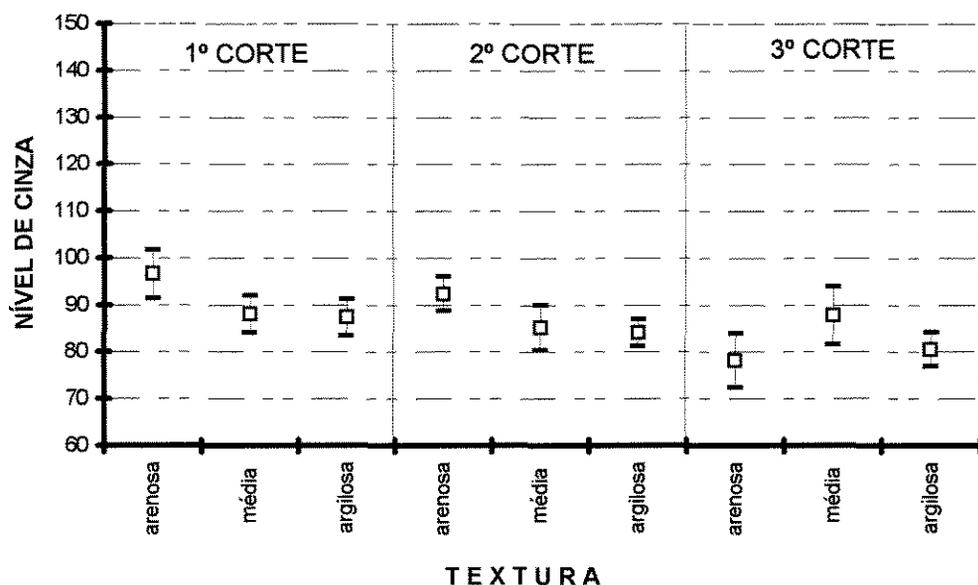


Figura 5.5 - Média e desvio padrão dos níveis de cinza da variedade SP71-1406, em três texturas e três cortes, na banda 4.

Assim como na banda 4, obteve-se homogeneidade nas amostragens dos três cortes na banda 5, de acordo com os baixos valores dos coeficientes de variação obtidos. Isto ocorreu devido a baixa diferença entre os valores dos níveis de cinza amostrados. Esta baixa variação ocorreu devido a uniformidade da lavoura (Tabela 5.6).

O menor número de amostras realizado na textura média (92 pixels), contra 136 na textura arenosa e 152 na textura argilosa (Tabela 4.4), mostrou que não houve diferenças nos resultados. Isto pode ser observado pelos resultados obtidos nos três cortes. No 1º corte o nível de cinza da textura média foi igual ao da textura argilosa e ambas diferentes significativamente (1% de significância) do nível de cinza da textura arenosa. No 2º corte a textura média foi igual a textura

arenosa e diferente da argilosa (1% de significância). Já no 3º corte os níveis de cinza das três texturas foram diferentes, devido às maiores variações nos níveis de cinza provocados pela desuniformidade da lavoura neste corte. (Tabela 5.6).

Os resultados encontrados no 1º e 2º cortes indicam que o número diferenciado de amostras entre as texturas não influenciaram a média dos níveis de cinza, denotando que para a variedade SP71-1406, o número de amostra por talhão podem ser diminuídas.

Observa-se na Tabela 5.6 ilustrado pela Figura 5.6 que na banda 5 ocorreu no 1º corte um aumento nos níveis de cinza da textura arenosa para a argilosa e o inverso no 2º corte. Já no 3º corte ocorreu maior diferença entre o nível de cinza da textura média em relação as outras duas. Os níveis de cinza das texturas arenosa e argilosa foram inferiores no 3º corte em relação aos dois cortes anteriores, mostrando que houve influências de fatores no comportamento espectral da variedade SP71-1406 neste corte.

Tabela 5.6 - Níveis de cinza na banda 5, da variedade SP71-1406, avaliada em três cortes e três texturas de solos.

| Nível de cinza | 1º corte | | | 2º corte | | | 3º corte | | |
|---|----------------|--------------|-----------------|----------------|--------------|-----------------|----------------|--------------|-----------------|
| | arenosa (1) | média (2) | argilosa (3) | arenosa (1) | média (2) | argilosa (3) | arenosa (1) | média (2) | argilosa (3) |
| média | 40,4 | 42,1 | 42,2 | 44,7 | 44,3 | 41,0 | 39,3 | 45,1 | 37,9 |
| coef. variação | 8,10 | 4,05 | 4,57 | 5,64 | 4,46 | 4,10 | 5,62 | 5,33 | 5,25 |
| desvio padrão | 3,27 | 1,70 | 1,94 | 2,52 | 1,98 | 1,68 | 2,20 | 2,40 | 1,99 |
| Nível de probabilidade do contraste (1) - (2) | < 0,0001 | | | 0,1821 | | | < 0,0001 | | |
| Nível de probabilidade do contraste (2) - (3) | | 0,0929 | | | < 0,0001 | | | < 0,0001 | |
| Nível de probabilidade do contraste (1) - (3) | < 0,0001 | | | < 0,0001 | | | < 0,0001 | | |

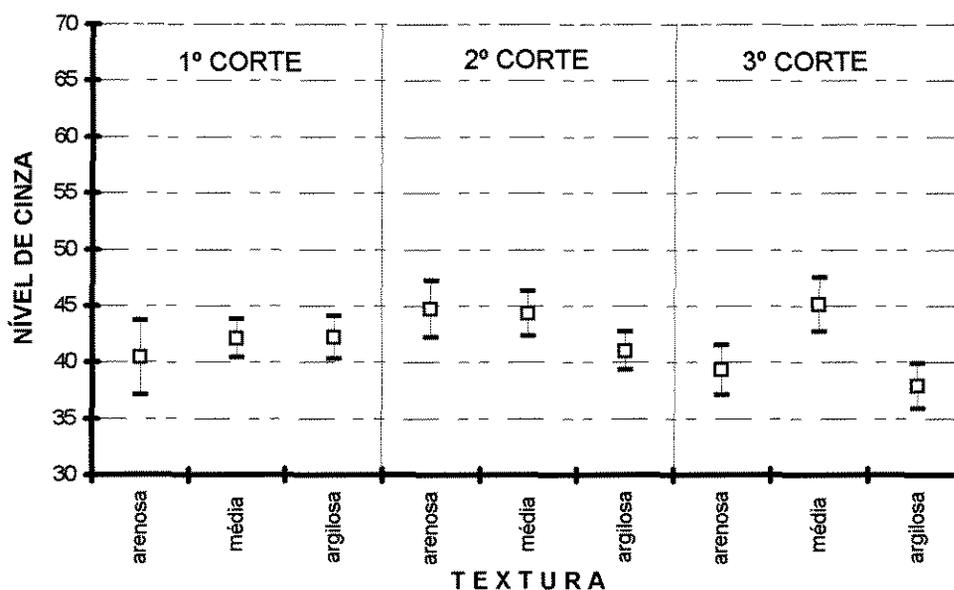


Figura 5.6 - Média e desvio padrão dos níveis de cinza da variedade SP71-1406, em três texturas e três cortes, na banda 5.

5.1.3 - Níveis de Cinza da Variedade SP71-6163

A distribuição dos níveis de cinza amostrados nos três cortes estão nos anexos 7, 8 e 9. Os resultados dos níveis de cinza da banda 3 no 1º corte mostram que os valores dos níveis de cinza são muito semelhantes entre as texturas. Observa-se que o valor variou de 8,3 na textura arenosa para 7,3 na textura média, ou seja uma diferença de apenas uma unidade no nível de cinza. Embora com valores muito próximos houve diferenças significativas (1% de significância) entre as três texturas. Esta diferença não interfere na identificação das variedades podendo assim agrupar os níveis de cinza das três texturas. (Tabela 5.7).

Os resultados do 2º corte foram iguais estatisticamente (1% de significância) e mostraram maior uniformidade entre as texturas dos solos, indicando com isto a possibilidade de agrupamento dos valores de cinza das texturas, sem interferência na identificação das variedades, mesmo em áreas sem o levantamento de solos (Tabela 5.7).

Os níveis de cinza ocorridos no 3º corte foram muito inferiores aos do 2º corte, e apresentaram um coeficiente de variação muito alto, demonstrando que ocorreu uma heterogeneidade elevada na amostragem ou nas amostras dos níveis de cinza, para as três texturas de solos estudadas. Esta variação elevada indica que este corte não deve ser recomendado para a identificação e separação desta variedade em relação às outras, na banda 3. (Tabela 5.7).

A Figura 5.7 ilustra a média dos níveis de cinza e o desvio padrão, onde observam-se médias iguais no 2º corte e ocorrência de menores desvios em relação a média. Destaca-se a maior diferenciação das médias ocorridas no 3º corte, devido a maior heterogeneidade entre as amostras, influenciada pela variação dentro dos talhões associadas à fatores como por exemplo pragas de solos, ervas daninhas e falhas.

Pelo conhecimento da resposta espectral da vegetação na banda 3 esperava-se um aumento nos níveis de cinza do 1º para o 3º corte e uma diminuição dos solos de textura arenosa para argilosa. Isto ocorreu do 1º para o 2º corte porém houve uma queda acentuada do 2º para o 3º corte.

Tabela 5.7 - Níveis de cinza na banda 3, da variedade SP71-6163, avaliada em três cortes e três texturas de solos.

| Nível de cinza | 1º corte | | | 2º corte | | | 3º corte | | |
|---|----------------|--------------|-----------------|----------------|--------------|-----------------|----------------|--------------|-----------------|
| | arenosa (1) | média (2) | argilosa (3) | arenosa (1) | média (2) | argilosa (3) | arenosa (1) | média (2) | argilosa (3) |
| média | 8,3 | 7,3 | 7,8 | 10,1 | 10,3 | 10,2 | 6,7 | 5,1 | 4,1 |
| coef. variação | 17,00 | 21,03 | 19,00 | 8,18 | 7,52 | 9,22 | 34,49 | 42,02 | 49,15 |
| desvio padrão | 1,40 | 1,53 | 1,49 | ,083 | 0,77 | 0,94 | 2,30 | 2,16 | 2,02 |
| Nível de probabilidade do contraste (1) - (2) | < 0,0001 | | | 0,0709 | | | < 0,0001 | | |
| Nível de probabilidade do contraste (2) - (3) | | 0,0077 | | | 0,3346 | | | 0,0002 | |
| Nível de probabilidade do contraste (1) - (3) | 0,0066 | | | 0,3690 | | | < 0,0001 | | |

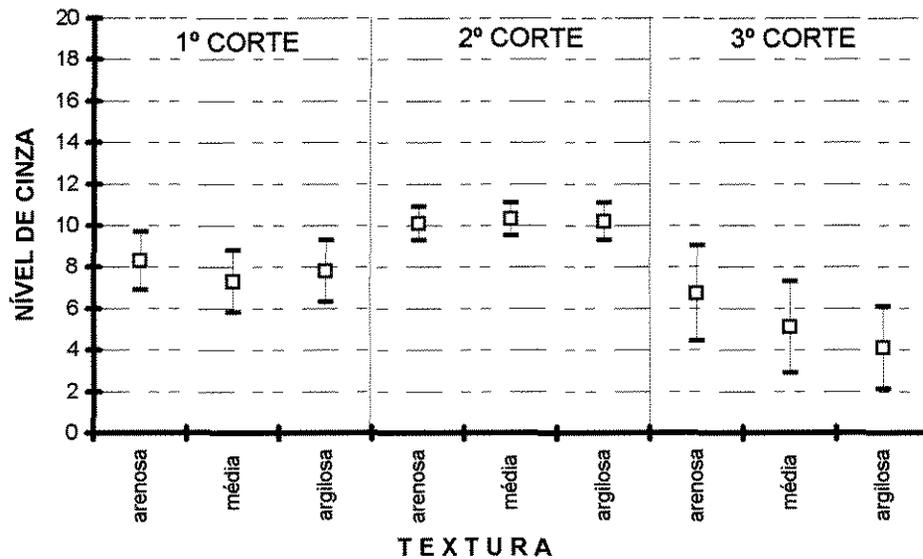


Figura 5.7- Média e desvio padrão dos níveis de cinza da variedade SP71-6163, em três texturas e três cortes, na banda 3.

Na banda 4 ocorreram as menores variações nos níveis de cinza da variedade SP71-6163 dentro da mesma textura e entre as texturas em relação a banda 3 (Tabela 5.7) e banda 5 (Tabela 5.9). O coeficiente de variação de 2,26 % ocorrido na banda 4 no 1º corte na textura arenosa foi o menor entre as três

variedades, texturas e cortes analisados, denotando uma grande uniformidade nos valores dos níveis de cinza amostrados (Tabela 5.8). Mostrando assim que houve uma uniformidade grande nos valores dos níveis de cinza amostrados.

Houve diferenças estatísticas (1% de significância) das médias dos níveis de cinza das texturas arenosa e argilosa em relação a textura média no 1º e 2º cortes. No 3º corte não houve diferença estatística (1% de significância) entre as médias das três texturas.

Tabela 5.8 - Níveis de cinza na banda 4, da variedade SP71-6163, avaliada em três cortes e três texturas de solos.

| Nível de cinza | 1º corte | | | 2º corte | | | 3º corte | | |
|---|----------------|--------------|-----------------|----------------|--------------|-----------------|----------------|--------------|-----------------|
| | arenosa (1) | média (2) | argilosa (3) | arenosa (1) | média (2) | argilosa (3) | arenosa (1) | média (2) | argilosa (3) |
| média | 109,3 | 111,9 | 108,5 | 102,8 | 107,6 | 102,0 | 97,4 | 98,3 | 97,3 |
| coef. variação | 2,26 | 4,52 | 3,69 | 3,55 | 5,51 | 4,19 | 5,93 | 4,99 | 4,54 |
| desvio padrão | 2,50 | 5,05 | 4,01 | 3,65 | 5,93 | 4,27 | 5,78 | 4,91 | 4,42 |
| Nível de probabilidade do contraste (1) - (2) | < 0,0001 | | | < 0,0001 | | | 0,2252 | | |
| Nível de probabilidade do contraste (2) - (3) | | < 0,0001 | | | < 0,0001 | | | 0,0941 | |
| Nível de probabilidade do contraste (1) - (3) | 0,0480 | | | 0,1081 | | | 0,8847 | | |

Assim como ocorreu na variedade SP71-1406 houve na banda 4 um decréscimo nos níveis de cinza do 1º para o 3º corte na variedade SP71-6163, o que pode ser explicado pela diminuição da produtividade e conseqüentemente diminuição no índice de biomassa. O inverso ocorreu na variedade SP70-1143, ou seja, houve um aumento nos níveis de cinza do 1º para o 3º corte, devido a característica da soqueira desta variedade na cobertura do solo.

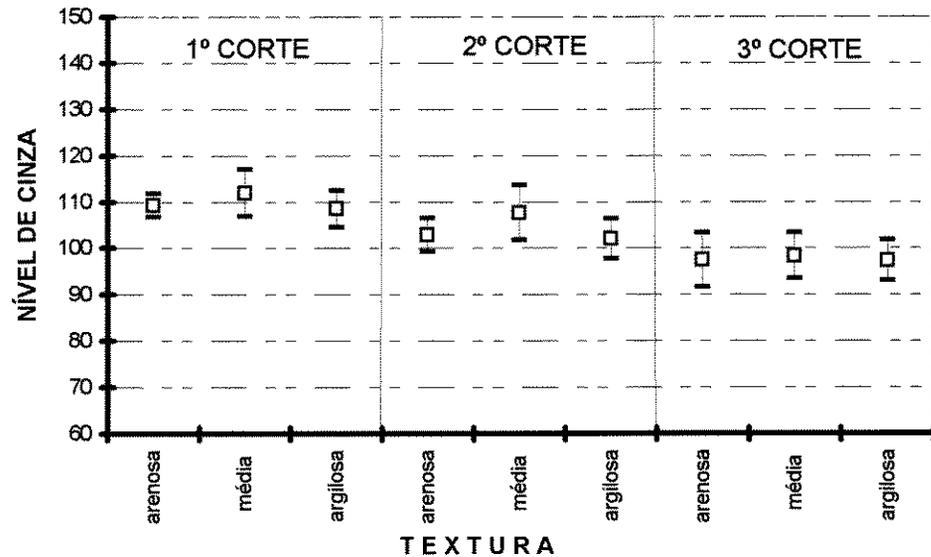


Figura 5.8 - Média e desvio padrão dos níveis de cinza da variedade SP71-6163, em três texturas e três cortes, na banda 4.

Na banda 5 ocorreram diferenças estatísticas (1% de significância) nos níveis de cinza entre as texturas nos três cortes, com exceção no 1º corte entre as texturas média e argilosa. A maior variação ocorreu no 3º corte (tabela 5.9).

Observa-se os níveis de cinza da banda 5 (Figura 5.9) que houve uma tendência de queda nos níveis de cinza da textura arenosa para a textura argilosa nos três cortes. Isto demonstra que o desenvolvimento vegetativo foi maior nos solos argilosos, causando assim uma maior absorção da radiação solar, diminuindo com isso os valores de cinza.

Tabela 5.9 - Níveis de cinza na banda 5, da variedade SP71-6163, avaliada em três cortes e três texturas de solos.

| Nível de cinza | 1º corte | | | 2º corte | | | 3º corte | | |
|---|----------------|--------------|-----------------|----------------|--------------|-----------------|----------------|--------------|-----------------|
| | arenosa (1) | média (2) | argilosa (3) | arenosa (1) | média (2) | argilosa (3) | arenosa (1) | média (2) | argilosa (3) |
| média | 39,2 | 37,6 | 36,8 | 39,1 | 40,1 | 37,9 | 42,4 | 39,4 | 36,6 |
| coef. variação | 5,06 | 6,75 | 8,79 | 3,18 | 5,05 | 6,46 | 8,88 | 5,13 | 9,20 |
| desvio padrão | 2,00 | 2,53 | 3,23 | 1,24 | 2,03 | 2,45 | 3,77 | 2,02 | 3,37 |
| Nível de probabilidade do contraste (1) - (2) | < 0,0001 | | | < 0,0001 | | | < 0,0001 | | |
| Nível de probabilidade do contraste (2) - (3) | 0,0225 | | | < 0,0001 | | | < 0,0001 | | |
| Nível de probabilidade do contraste (1) - (3) | < 0,0001 | | | < 0,0001 | | | < 0,0001 | | |

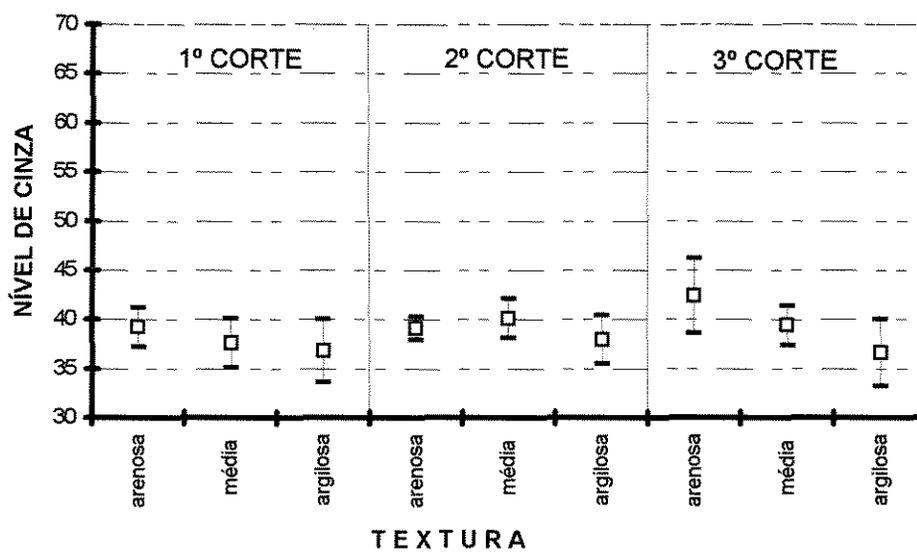


Figura 5.9 - Média e desvio padrão dos níveis de cinza da variedade SP71-6163, em três texturas e três cortes, na banda 5.

5.2 COMPARATIVO ENTRE OS NÍVEIS DE CINZA DAS VARIEDADES SP70-1143, SP71-1406 E SP71-6163

A distribuição dos níveis de cinza amostrados nos três cortes comparando duas variedades, independentemente da textura de solo, estão nos anexos 10 a 18 e para a três variedades, estão nos anexos 19 a 21.

As figuras 5.10, 5.11 e 5.12 mostram um comparativo entre os níveis de cinza e os desvios padrão das três texturas e três estágios de corte, entre as variedades na banda 3.

Observa-se na Figura 5.10 que no 1º e 3º cortes existe sobreposição entre os intervalos dos desvios padrão na textura argilosa entre as variedades SP70-1143 e SP71-1406 e, também ocorre no 1º corte na textura média . Apenas no 2º corte não houve sobreposição nas três texturas. Apesar de ocorrer sobreposição de valores é possível a separação destas duas variedades nos três cortes e nas três texturas, porém obtendo um maior índice de acerto no 2º corte.

A figura 5.11 mostra as diferenças dos níveis de cinza nas três texturas entre as variedades SP70-1143 e SP71-6163 na banda 3. Foi possível obter uma diferenciação nas três texturas para os três cortes.

Na área de estudo é possível separar a variedade SP71-6163 da SP71-1406 na banda 3, uma vez que as médias dos níveis de cinza da SP71-1406 são ligeiramente superiores às médias dos níveis de cinza da variedade SP71-6163 nos três cortes, com exceção na textura arenosa do 3º corte (Figura 5.12).

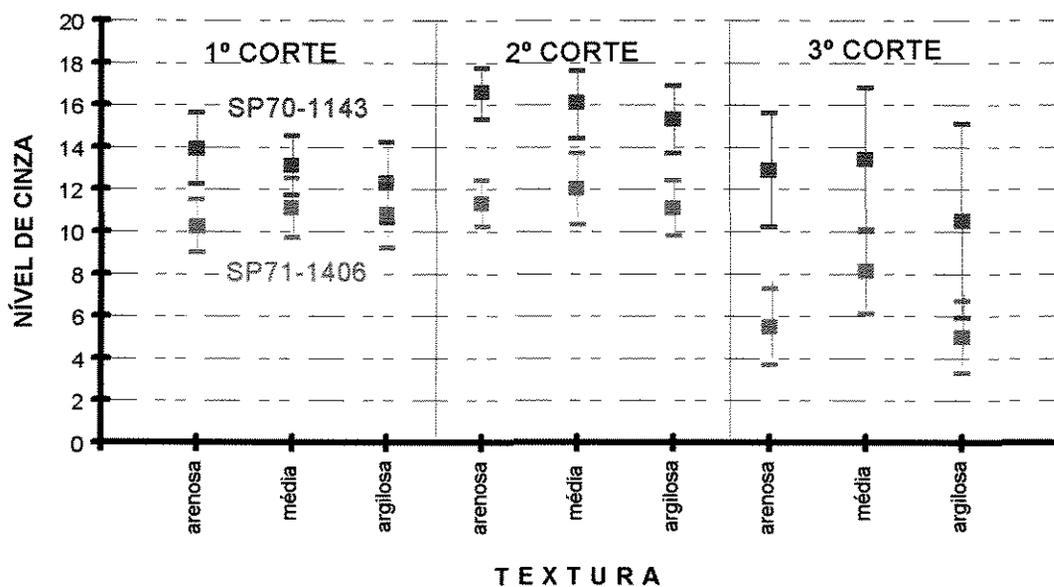


Figura 5.10 - Média e desvio padrão dos níveis de cinza das variedades SP70-1143 e SP71-1406, em três texturas e três cortes, na banda 3.

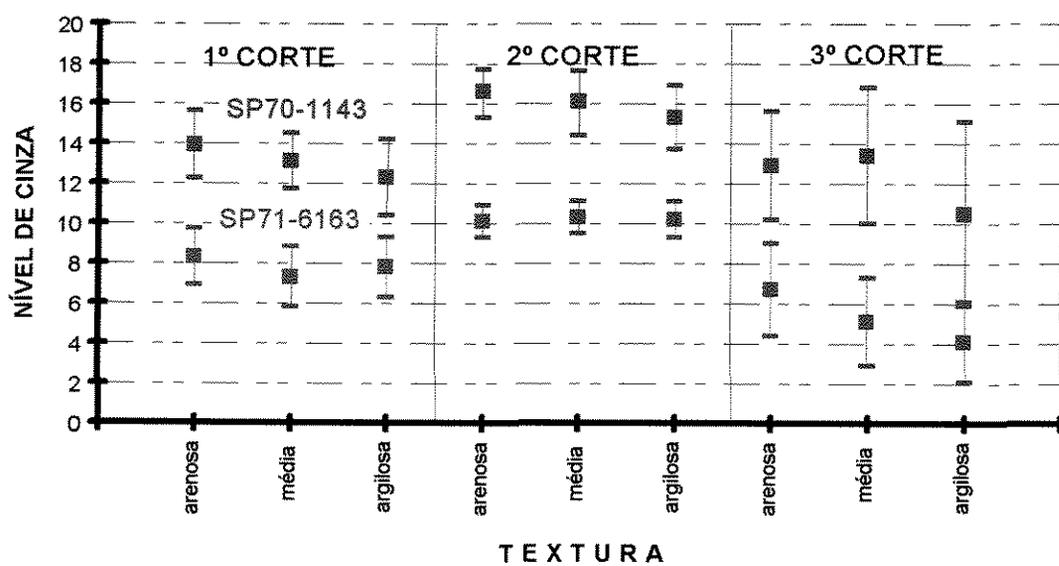


Figura 5.11 - Média e desvio padrão dos níveis de cinza das variedades SP70-1143 e SP71-6163, em três texturas e três cortes, na banda 3.

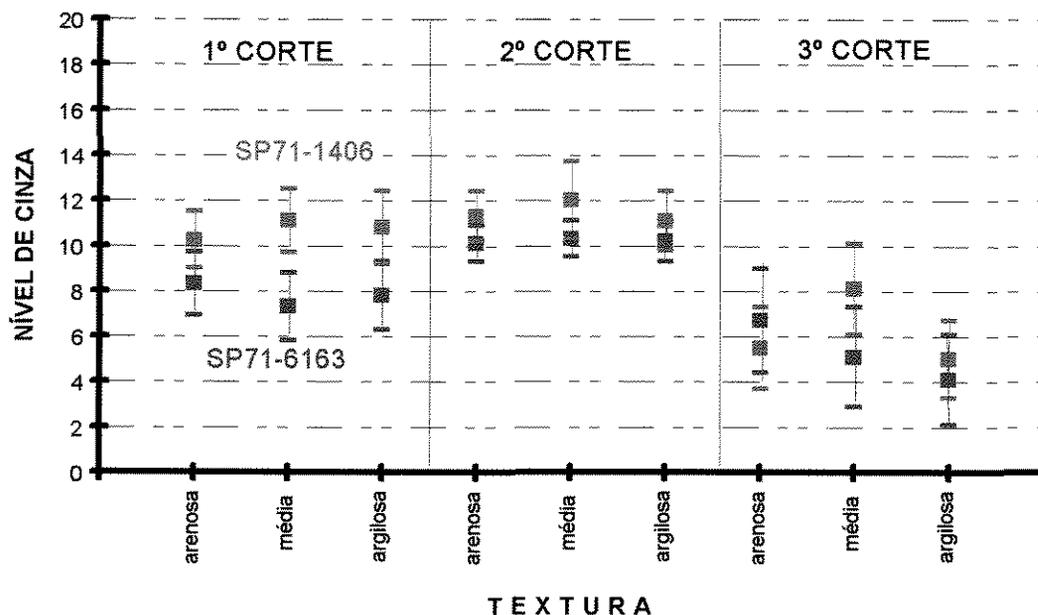


Figura 5.12 - Média e desvio padrão dos níveis de cinza das variedades SP71-6163 e SP71-1406, em três texturas e três cortes, na banda 3.

De maneira geral, é possível separar as três variedades nos três cortes e texturas de solos, banda 3. A melhor diferenciação ocorreu entre as variedades SP70-1143 e SP71-6163.

Na banda 4, os resultados dos três cortes mostram que é possível identificar e separar as três variedades nas três texturas, com exceção na textura arenosa entre as variedades SP70-1143 e SP71-6163 no 1º e 2º corte onde os valores dos níveis de cinza da SP71-6163 estão dentro do intervalo dos desvio padrão da SP70-1143 (Figuras 5.13, 5.14 e 5.15).

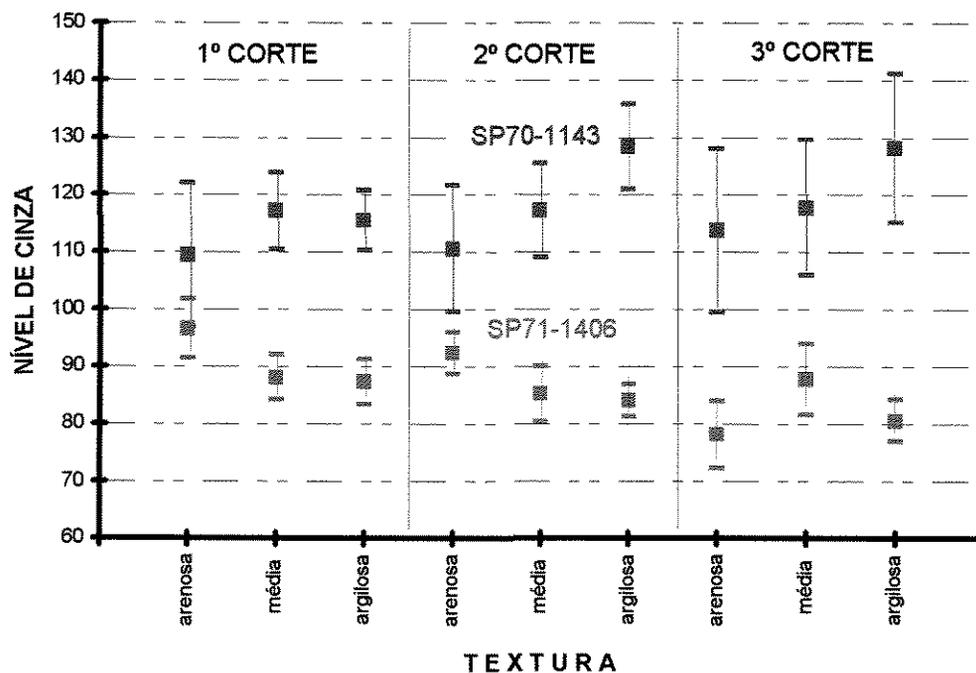


Figura 5.13 - Média e desvio padrão dos níveis de cinza das variedades SP70-1143 e SP71-1406, em três texturas e três cortes, na banda 4.

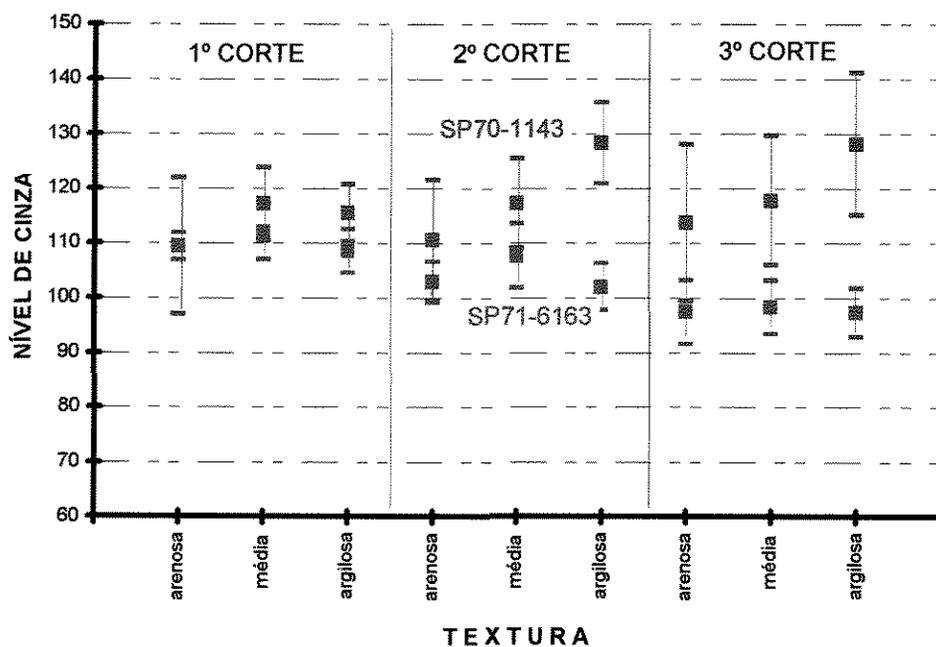


Figura 5.14 - Média e desvio padrão dos níveis de cinza das variedades SP70-1143 e SP71-6163, em três texturas e três cortes, na banda 4.

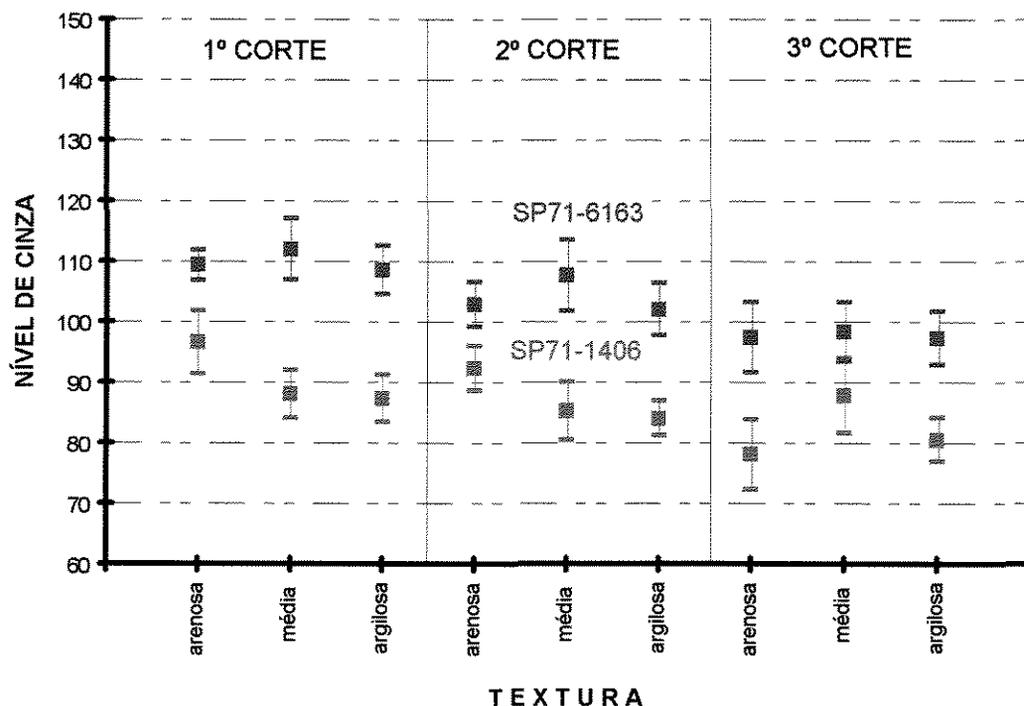


Figura 5.15 - Média e desvio padrão dos níveis de cinza das variedades SP71-6163 e SP71-1406, em três texturas e três cortes, na banda 4.

Na banda 4, as melhores separações entre duas variedades ocorreram entre SP70-1143 e SP71-1406 (Figura 5.13) e, entre a SP71-1406 e SP71-6163 (Figura 5.15).

Na banda 5, conforme diferenciação entre os níveis de cinza obtidos, é possível identificar e separar as três variedades nos três cortes e nas três texturas de solos. Embora existam diferenças entre as médias dos níveis de cinza das variedades SP71-1406 e SP71-6163, estas mostram sobreposição dos desvios padrão nos três cortes em uma ou mais texturas (Figura 5.18).

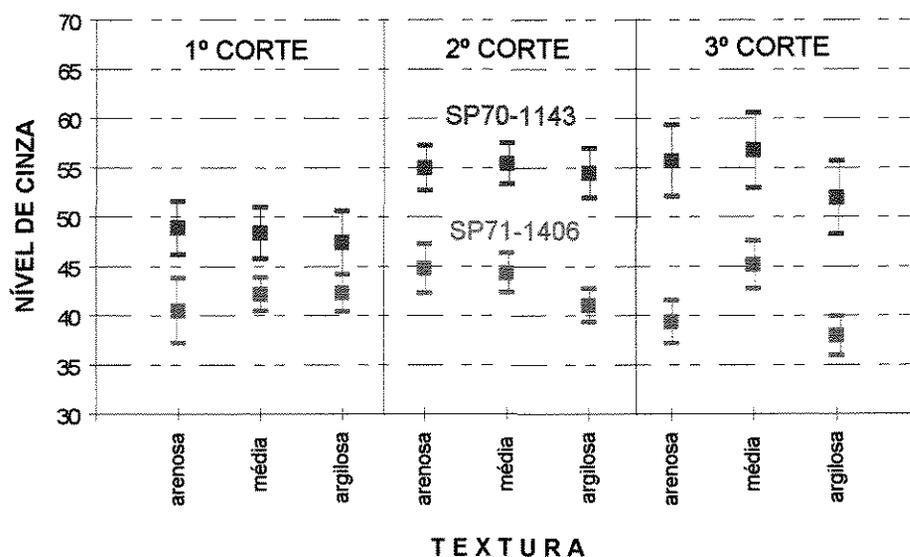


Figura 5.16 - Média e desvio padrão dos níveis de cinza das variedades SP70-1143 e SP71-1406, em três texturas e três cortes, na banda 5.

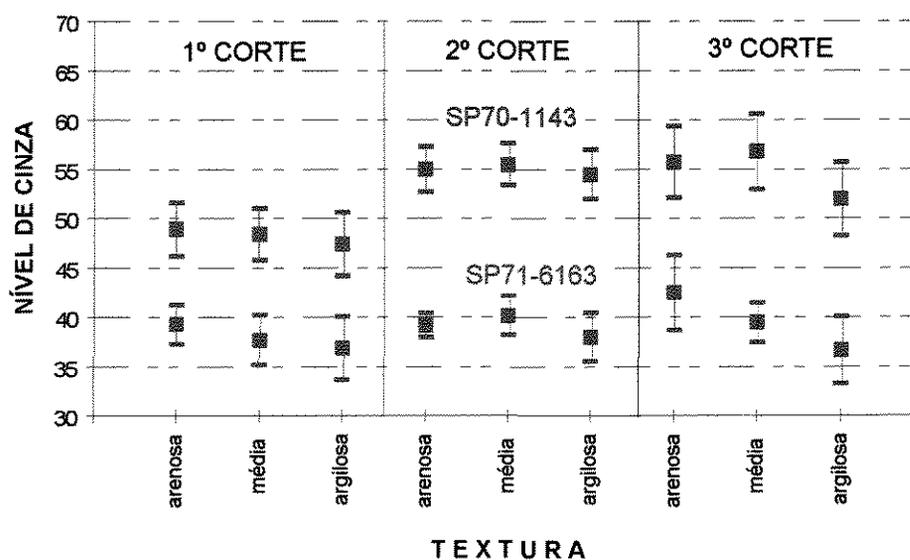


Figura 5.17 - Média e desvio padrão dos níveis de cinza das variedades SP70-1143 e SP71-6163, em três texturas e três cortes, na banda 5.

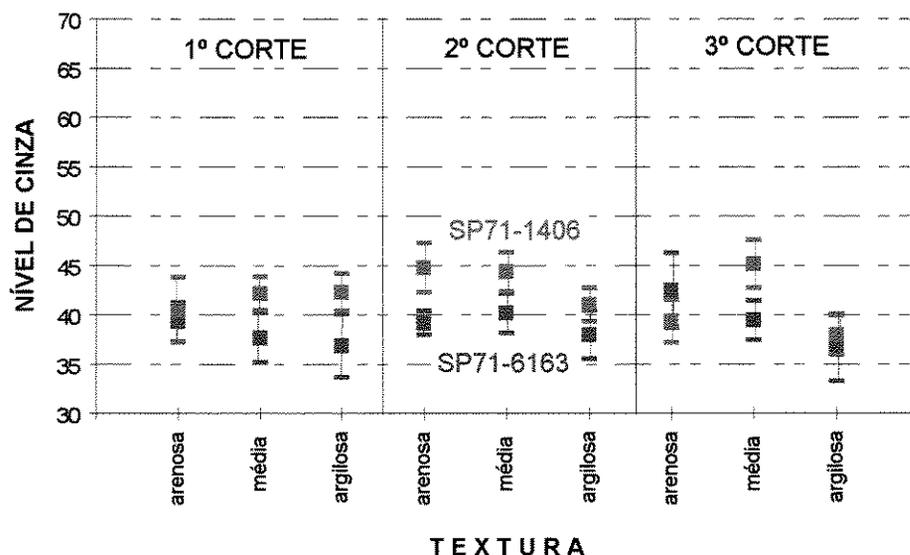


Figura 5.18 - Média e desvio padrão dos níveis de cinza das variedades SP71-1406 e SP71-6163, em três texturas e três cortes, na banda 5.

Na banda 5, as melhores separações entre duas variedades ocorreram entre SP70-1143 e SP71-1406 (Figura 5.16) e, entre a SP70-1143 e SP71-6163 (Figura 5.17).

Os resultados encontrados comparando as três variedades nas três texturas de solos (Figuras 5.10 a 5.18), demonstraram que pode-se agrupar os níveis de cinza das três texturas. Visando facilitar a identificação das três variedades independentemente da textura, agrupou-se então, os níveis de cinza das três texturas conforme os resultados das Tabelas 5.10, 5.11 e 5.12 e das Figuras 5.19, 5.20 e 5.21.

Na banda 3 existe diferença estatística significativa (1% de significância) entre as três variedades, nos três cortes. Analisando a área de estudo pelo valor

médio do nível de cinza dos pixels amostrados, é possível identificar e separar as três variedades em qualquer um dos três cortes (Tabela 5.10).

Na utilização de imagem de satélite, onde pode-se fazer uma classificação digital das variedades por fatiamento, é necessário fornecer os intervalos dos valores de níveis de cinza das variedades. Observa-se (Figura 5.19) que no 2º e 3º cortes haverá uma certa confusão entre as variedades SP71-1406 e SP71-6163, porém maior no 3º corte, diminuindo assim a precisão da separação entre estas duas variedades.

Tabela 5.10 - Níveis de cinza na banda 3, das variedades SP70-1143, SP71-1406 e SP71-6163, avaliada em três cortes.

| Estágio de corte | variedade | nível de cinza médio | desvio padrão | coeficiente de variação | Nível de probabilidade do contraste (1) -(2) | Nível de probabilidade do contraste (2) -(3) | Nível de probabilidade do contraste (1) -(3) |
|------------------|---------------|----------------------|---------------|-------------------------|--|--|--|
| 1º corte | SP70-1143 (1) | 13,3 | 1,75 | 12,36 | < 0,0001 | < 0,0001 | < 0,0001 |
| | SP71-1406 (2) | 10,7 | 1,45 | 13,24 | | | |
| | SP71-6163 (3) | 7,8 | 1,52 | 18,98 | | | |
| 2º corte | SP70-1143 (1) | 16,1 | 1,52 | 8,92 | < 0,0001 | < 0,0001 | < 0,0001 |
| | SP71-1406 (2) | 11,4 | 1,37 | 11,60 | | | |
| | SP71-6163 (3) | 10,2 | 0,86 | 8,46 | | | |
| 3º corte | SP70-1143 (1) | 12,1 | 3,70 | 23,02 | <0,0001 | < 0,0001 | < 0,0001 |
| | SP71-1406 (2) | 6,0 | 2,20 | 30,26 | | | |
| | SP71-6163 (3) | 5,2 | 2,40 | 41,56 | | | |

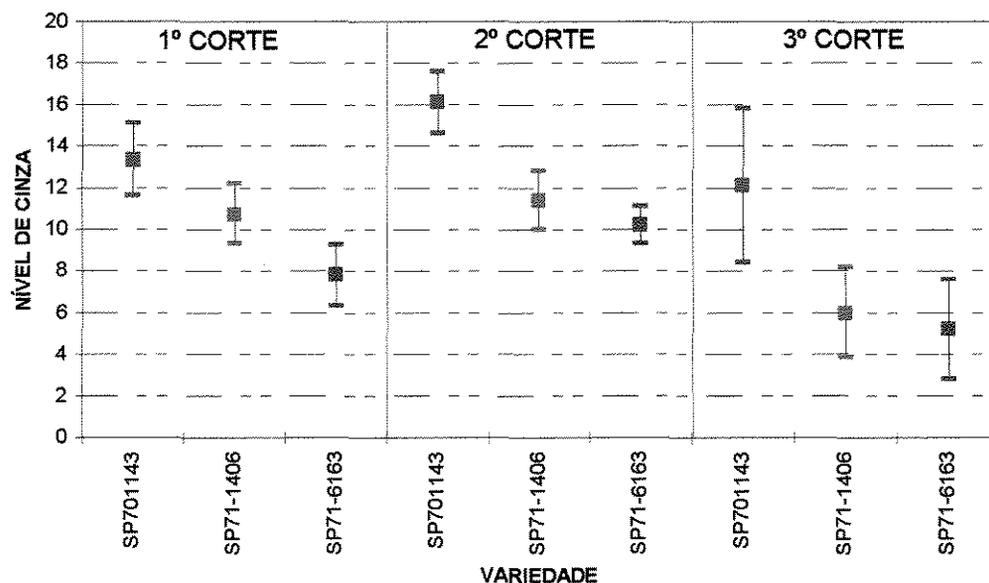


Figura 5.19 - Média e desvio padrão dos níveis de cinza das variedades SP70-1143 SP71-1406 e SP71-6163, em três cortes, na banda 3.

Na banda 4 existe diferença estatística significativa (1% de significância) entre as três variedades, nos três cortes. Analisando-se também a área de estudo pelo valor médio do nível de cinza dos pixels amostrados, é possível identificar e separar as três variedades em qualquer um dos três cortes (Tabela 5.11).

Na classificação digital das variedades por fatiamento, na banda 4 é possível separar a SP71-1406 das outras duas com um alto índice de acerto nos três cortes (Figura 5.20). Este índice de acerto é menor entre as variedades SP70-1143 e SP71-6163 no 1º e 2º corte, devido o intervalo de ocorrência dos níveis de cinza da SP71-6163 estarem contidos dentro do intervalo da SP70-1143 no 1º corte e, ocorrendo uma sobreposição parcial no 2º corte.

Tabela 5.11 - Níveis de cinza na banda 4, das variedades SP70-1143, SP71-1406 e SP71-6163, avaliada em três cortes.

| Estágio de corte | variedade | nível de cinza médio | desvio padrão | coeficiente de variação | Nível de probabilidade do contraste (1) - (2) | Nível de probabilidade do contraste (2) - (3) | Nível de probabilidade do contraste (1) - (3) |
|------------------|---------------|----------------------|---------------|-------------------------|---|---|---|
| 1º corte | SP70-1143 (1) | 113,6 | 9,97 | 8,21 | < 0,0001 | < 0,0001 | < 0,0001 |
| | SP71-1406 (2) | 90,8 | 6,15 | 4,89 | | | |
| | SP71-6163 (3) | 109,7 | 4,28 | 3,68 | | | |
| 2º corte | SP70-1143 (1) | 116,7 | 11,69 | 8,07 | < 0,0001 | < 0,0001 | < 0,0001 |
| | SP71-1406 (2) | 87,2 | 5,28 | 4,22 | | | |
| | SP71-6163 (3) | 103,9 | 5,29 | 4,52 | | | |
| 3º corte | SP70-1143 (1) | 119,1 | 14,1 | 10,86 | < 0,0001 | < 0,0001 | < 0,0001 |
| | SP71-1406 (2) | 81,4 | 6,4 | 6,36 | | | |
| | SP71-6163 (3) | 97,7 | 5,0 | 5,11 | | | |

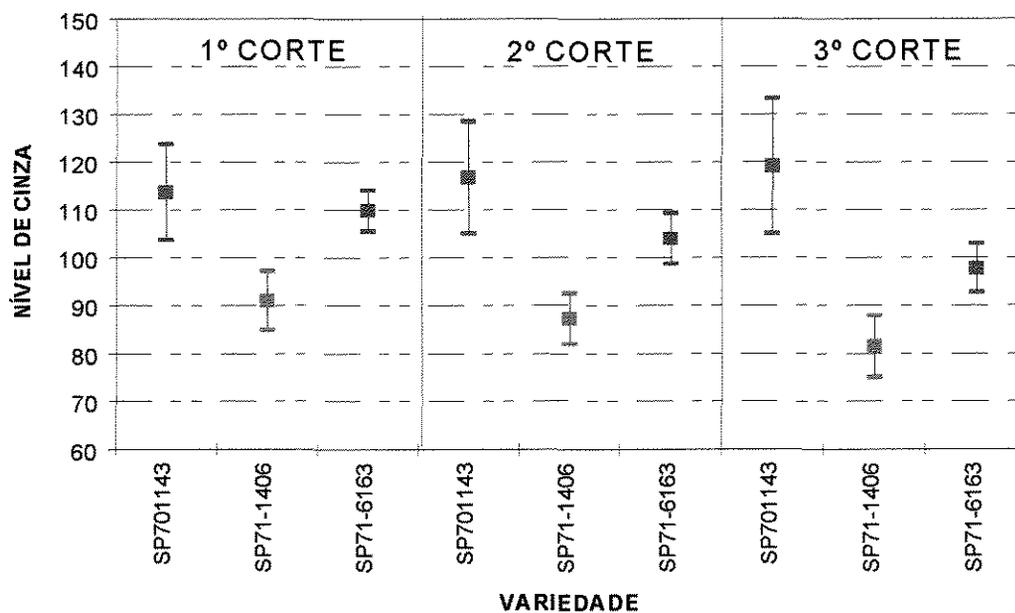


Figura 5.20 - Média e desvio padrão dos níveis de cinza das variedades SP70-1143 SP71-1406 e SP71-6163, em três cortes, na banda 4.

Com o agrupamento das texturas na banda 5 observa-se uma separação marcante da variedade SP70-1143 em relação as outras duas, nos três cortes (Figura 5.21). Na banda 5 existe diferença estatística significativa (1% de significância) entre as três variedades, nos três cortes. Considerando a área de estudo, pelo valor médio do nível de cinza dos pixels amostrados, é possível, identificar e separar as três variedades em qualquer um dos três cortes (Tabela 5.12).

Fazendo-se a classificação digital das variedades por fatiamento, na banda 5 é possível separar a variedade SP70-1143 das outras duas com um alto índice de acerto nos três cortes (Figura 5.21). Este índice de acerto é médio entre as variedades SP71-1406 e SP71-6163 no 1º e 2º corte e baixo no 3º corte.

Tabela 5.12 - Níveis de cinza na banda 5, das variedades SP70-1143, SP71-1406 e SP71-6163, avaliada em três cortes.

| Estágio de corte | variedade | nível de cinza médio | desvio padrão | coeficiente de variação | Nível de probabilidade do contraste (1)-(2) | Nível de probabilidade do contraste (2)-(3) | Nível de probabilidade do contraste (1)-(3) |
|------------------|---------------|----------------------|---------------|-------------------------|---|---|---|
| 1º corte | SP70-1143 (1) | 48,6 | 2,83 | 5,76 | < 0,0001 | < 0,0001 | < 0,0001 |
| | SP71-1406 (2) | 41,4 | 2,64 | 7,91 | | | |
| | SP71-6163 (3) | 37,7 | 2,91 | 7,28 | | | |
| 2º corte | SP70-1143 (1) | 55,0 | 2,30 | 4,14 | < 0,0001 | < 0,0001 | < 0,0001 |
| | SP71-1406 (2) | 43,2 | 2,70 | 4,84 | | | |
| | SP71-6163 (3) | 38,9 | 2,26 | 5,29 | | | |
| 3º corte | SP70-1143 (1) | 55,1 | 4,20 | 6,75 | < 0,0001 | 0,0013 | < 0,0001 |
| | SP71-1406 (2) | 40,1 | 3,60 | 5,42 | | | |
| | SP71-6163 (3) | 39,2 | 3,90 | 8,00 | | | |

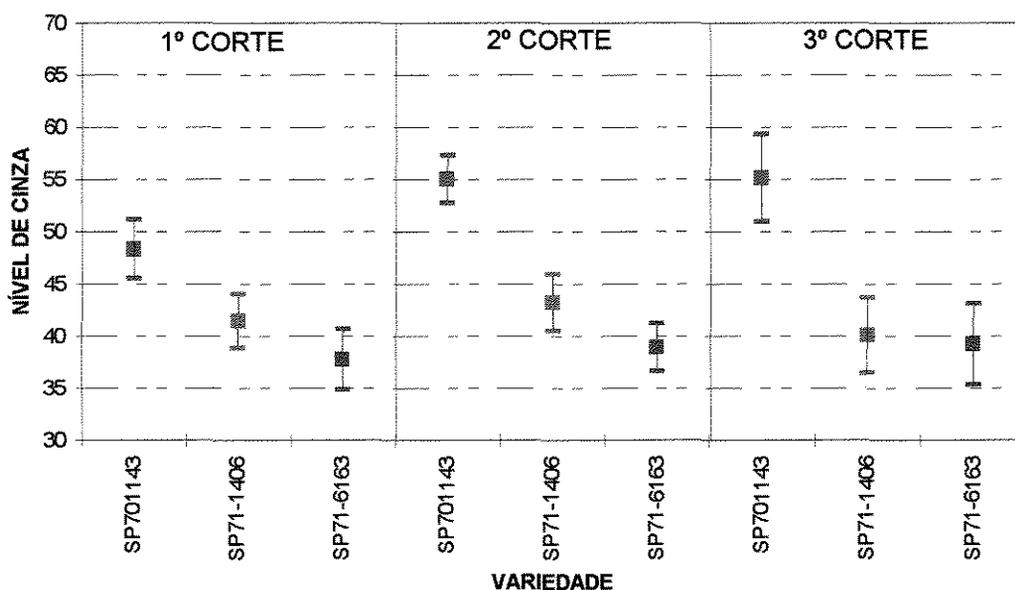


Figura 5.21 - Média e desvio padrão dos níveis de cinza das variedades SP70-1143 SP71-1406 e SP71-6163, em três cortes, na banda 5.

Os resultados encontrados na área de estudo, com o agrupamento das três texturas, mostraram que estatisticamente é possível identificar e separar as três variedades nas três bandas utilizadas. Na banda 3 a melhor separação foi da SP70-1143 em relação as outras duas variedades. Na banda 4 a melhor separação foi da SP71-1406 em relação as outras duas variedades e finalmente na banda 5 a melhor separação foi também da SP70-1143 em relação as outras duas variedades.

Embora demonstrado que é possível separar variedades nos três cortes, deve-se utilizar como base de identificação e separação destas, apenas o 1º e 2º cortes. Recomenda-se evitar os resultados do 3º corte porque existem quedas acentuadas no desenvolvimento vegetativo, principalmente em solos arenosos

com interferências nas respostas espectrais, influenciadas por outras espécies vegetais, como por exemplo as ervas daninhas, e também pelo solo. Um outro fator é a reforma de áreas principalmente em solos arenosos no 3º corte, como ocorreu em áreas analisadas neste trabalho. As características botânicas e morfológicas das três variedades observadas nas Figuras 4.6, 4.7 e 4.8 foram as principais responsáveis pela diferenciação das respostas espectrais captadas pelo sensor do satélite.

O uso de imagens de satélite na identificação de variedades independentemente da textura, permitirá o inventariamento de cada uma delas nas unidades produtoras de cana-de-açúcar, indicando não ser necessário a utilização de mapas de solo como fonte de cruzamento de informação.

5.3 MÉTODO ESTATÍSTICO “KAPPA”

A Figura 5.22 mostra o resultado da classificação digital por fatiamento para a área de controle. A matriz de erro (Tabela 5.13) foi construída através da extração e comparação das 21 amostras dos dados de referência (Arquivo REFKAPPA, Figura 4.11) representando as colunas e, resultado da classificação digital (Arquivo CLAKAPPA, Figura 5.22) representando as linhas.

Pela análise da matriz é possível notar que, das 21 amostras da referência (REFKAPPA), que representam a variedade SP71-6163, duas não foram classificadas como sendo desta variedade na classificação digital (CLAKAPPA), representando um erro de 9,52% (Acerto de 90,48%). Da mesma

forma, das 21 amostras tidas como variedade SP70-1143 na referência (REFKAPPA), uma foi classificada como não sendo desta variedade na classificação digital (CLAKAPPA), representando um erro de 4,76% (Acerto de 95,24%).

Tanto os índices de concordância entre a classificação digital por fatiamento das bandas da imagem (Figura 5.22) e os dados de referência (Figura 4. 11), encontrados para as duas variedades, como o índice kappa médio de 0,8667 (tabela 5.13), são considerados como excelentes pela classificação de LANDIS e KOCH (1977).

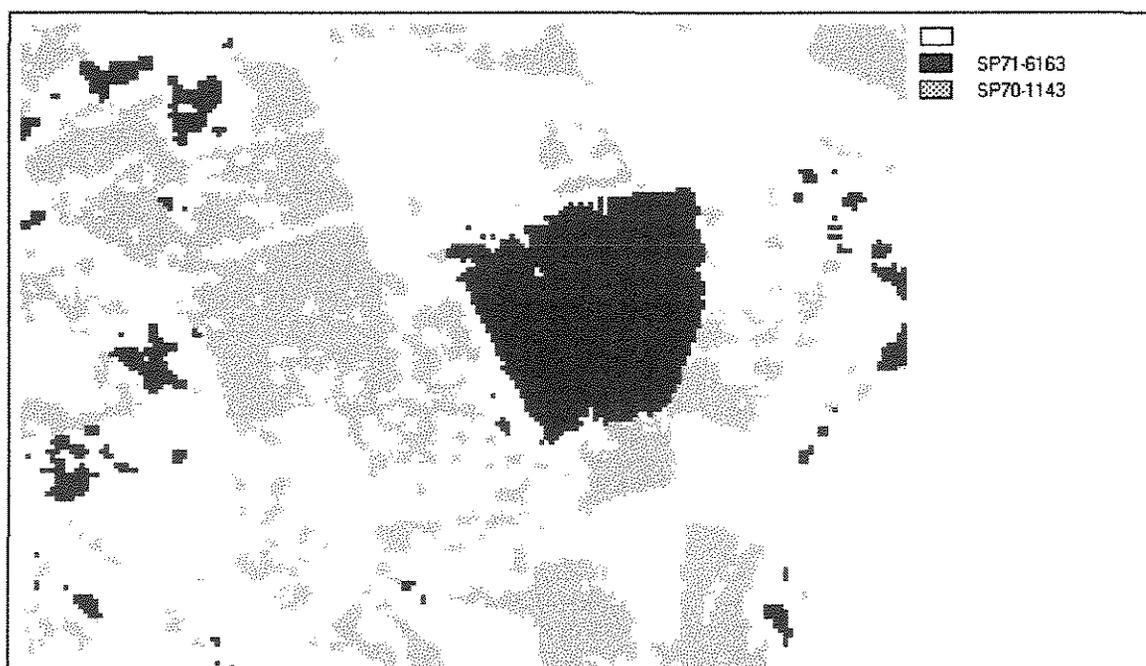


Figura 5.22 - Área de controle classificada digitalmente por fatiamento.

Tabela 5.13 - Matriz de erro para cálculo do índice kappa, realizada no software IDRISI[®] (módulo ERRMAT) para as variedades SP71-6163 (categoria 1) e SP70-1143 (categoria 2).

| Error Matrix Analysis of REFKAPPA (columns : truth) against CLAKAPPA (rows : mapped) | | | | |
|--|--------|--------|-------|--------|
| | 1 | 2 | Total | ErrorC |
| 0 | 2 | 1 | 3 | 1.0000 |
| 1 | 19 | 0 | 19 | 0.0000 |
| 2 | 0 | 20 | 20 | 0.0000 |
| ----- | | | | |
| Total | 21 | 21 | 42 | |
| ErrorO | 0.0952 | 0.0476 | | 0.0714 |
| ErrorO = Errors of Omission (expressed as proportions) | | | | |
| ErrorC = Errors of Commission (expressed as proportions) | | | | |
| 90% Confidence Interval = +/- 0.0654 (0.0061 - 0.1368) | | | | |
| 95% Confidence Interval = +/- 0.0779 (0.0000 - 0.1493) | | | | |
| 99% Confidence Interval = +/- 0.1025 (0.0000 - 0.1740) | | | | |
| KAPPA INDEX OF AGREEMENT (KIA) | | | | |
| ----- | | | | |
| Using CLAKAPPA as the reference image ... | | | | |
| Category | KIA | | | |
| 0 | 0.0000 | | | |
| 1 | 1.0000 | | | |
| 2 | 1.0000 | | | |
| CLAKAPPA | | | | |
| Category | KI | | | |
| 1 (SP71-6163) | 0.8261 | | | |
| 2 (SP70-1143) | 0.9091 | | | |
| Índice Kappa = 0.8667 | | | | |

6 CONCLUSÕES

Através das análises das médias dos níveis de cinza das variedades SP70-1143, SP71-1406 e SP71-6163 foi possível diferenciar uma variedade da outra através de imagens LANDSAT/TM, considerando a metodologia utilizada no trabalho.

A utilização conjunta das bandas 3, 4 e 5 permitiu a identificação e separação das variedades de cana-de-açúcar estudadas.

As texturas do solo não influenciaram as respostas dos níveis de cinza das variedades, indicando não ser necessário a utilização de mapas de solo como fonte de cruzamento de informação.

As características botânicas e morfológicas das três variedades observadas nas figuras 4.6, 4.7 e 4.8 foram as principais responsáveis pela diferenciação das respostas espectrais captadas pelo sensor do satélite.

Recomenda-se utilizar apenas o 1º e 2º cortes para a identificação e separação de variedades de cana-de-açúcar.

A análise da matriz de erro e do índice kappa mostrou um alto índice de concordância entre a classificação digital das variedades por fatiamento das bandas da imagem, baseado nos resultados da análise de níveis de cinza, e os dados de referência coletados no banco de dados.

7. BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

ALFONSI, R. R. et al. Condições climáticas para cana-de-açúcar. In: PARANHOS, S. B. (coord.) Cana-de-açúcar. Cultivo e utilização. Campinas/SP: Fundação Cargill, 1987. Vol. 1, cap. 1, p.42-54.

ALMEIDA, C.F.G.; SANTAELLA, M; BARATA, M.Q.F.; DODI JR, C. Sistema computacional para gerenciamento agrícola da lavoura de cana-de-açúcar. In: VI SEMINÁRIO DE TECNOLOGIA AGRONÔMICA COPERSUCAR, Centro de Tecnologia Copersucar, Piracicaba/SP, 1994. Anais. p.339-352.

ASSUNÇÃO, G.V.; FORMAGGIO, A.R. Interação da radiação solar com a cultura. In: ASSUNÇÃO, G.V. (coord.) O sensoriamento remoto na agricultura: Conceitos básicos, metodologia e aplicações. São José dos Campos/SP, INPE, 1989. Cap. 4, p. 45-52.

BATISTA, G.T.; MENDONÇA, F.J.; LEE, D.C.L.; TARDIN, A.T.; CHEN, S.C.; NOVAES, R.A. Uso de sensores remotos a bordo de satélite e

aeronave na identificação e avaliação de áreas de culturas para fins de previsão de safras. São José dos Campo/SP, INPE, 1978.

BATISTA, G.T.; NOVAES, R.A.; TARDIN, A.T.; MENDONÇA, F.J.; LEE, D. C.L.; SANTOS, J.R. dos; CHEN, S.C.; TOSCANO, L.P. Atividades do projeto estatísticas agrícolas durante o ano de 1975. São José dos Campos/SP, INPE, 1976.

BAUER, M.E.; DAUGHTRY, C.S.T.; VANDBERBILT, V.C. Spectral and agronomic relationships of maize, soybean and wheat canopies. IN: International Colloquium on Spectral Signatures of Objects In Remote Sensing, Avignon, 8-11 Sept. 1981. Proceedings. Monfavet, INRA, p. 261-271. 1981.

BUNNIK, N.J.J. The multispectral reflectance of shortwave radiation by agricultural crops in relation with their morphological and optical properties. Mededelingen Landbouwhogeschool wageningen 78-1; (communications Agricultural University Wageningen, the Netherlands). 1978. 176 p.

CHAVES JR., P. S. Atmospheric, solar and MTF corrections for ERTS digital imagery. IN: América Society of photogrammetry. Proceedings, Falls church, Va, 69, 1975.

CHEN, S.C. Metodologia de análise digital de dados orbitais. In: ASSUNÇÃO, G.V. (coord.) O sensoriamento remoto na agricultura:

- Conceitos básicos, metodologia e aplicações. São José dos Campos/SP, INPE, 1989. Cap. 8, p. 107-126.
- CHEN, S.C.; BATISTA, G.T.; TARDIN, A.T. Landsat TM band combinations for crop discriminations. Symposium on Remote Sensing for Resources Development and Environmental Management. Enschede, 1986.
- COPERSUCAR. Censo Varietal Quantitativo 1996. Piracicaba/SP : Centro de Tecnologia Copersucar, , 1997. 12 p.
- COPERSUCAR. Recomendação de adubação para a cultura da cana-de-açúcar. Piracicaba/SP : Centro de Tecnologia Copersucar, , 1988. 7 p.
- CROSTA, A.P. Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto. Campinas, IG/UNICAMP, 1993. 170 p.
- EPIPHANIO, J.C.N.; FORMAGGIO, A.R.; VALERIANO, M.M.; OLIVEIRA, J.B. Comportamento espectral de solos do Estado de São Paulo. INPE, São José dos Campos/SP, 1992. 132 p.
- FORMAGGIO, A.R. Características agronômicas e espectrais para sensoriamento remoto de trigo e de feijão. Piracicaba/SP: ESALQ-USP, 1989. 161 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiróz- Universidade Estadual de São Paulo, 1989.

- GARCIA, G.J. Sensoriamento remoto: princípios e interpretação de imagens. São Paulo/SP. Nobel. 1982. 357 p.
- GAUSSMAN, H.W. Plant leaf optical properties in visible and near-infrared light. Texas Tech University, Lubbock, Tx, 1985, 78p.
- HARDING, R.A.; SCOTT, R.B. Forest inventory with LANDSAT phase II. State of Washington Department of Natural Resources, 1978. p. 110.
- HOFFER, R.M. Biological and physical considerations in applying computer-aided analysis techniques to remote sensor data. In: SWAIN, P. H.; DAVIS, S. M. ed. Remot sensing: the quantitative approach. McGraw-Hill, New York/ NY, 1978. p. 228-289.
- HUDSON, W.D. E RAMM, C.W. Correct formulation of the coefficient of agreement. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing. 53(4):421-422, 1987.
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLOGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO Mapa geológico do Estado de São Paulo. IPT, São Paulo/SP, 1981.
- KOLLENKARK, J.C., DAUGHTRY, C.S.T.; BAUER, M.E.; HOUSLEY, T.L. Effects of cultural practices on agronomic and reflectance characteristics of soybean canopies. Agronomy Journal, 74:751-758, Jul-Aug., 1982.

- LANDIS, J.; KOCH, G.G. The measurements of observer agreement for categorical data. Biometrics, 33(3):159-174, 1977.
- MALGELSDORF. A.J. Um programa de melhoramento da cana-de-açúcar para a agroindústria canavieira do Brasil. Rio de Janeiro/RJ, Instituto do Açúcar e do Alcool, 1966. 63 p.
- MASCARENHAS, N.D.A.; VELASCO, F.R.D. Processamento digital de imagens. Buenos Aires, Kapelusz S.A., 1989.
- MATHER, P.M. Computer processing of remotely - sensed images: An introduction. Chichester, John Wiley & Sons, 1987. 352 p.
- MENDONÇA, F. J. Uso de dados do LANDSAT para avaliação de áreas ocupadas com cana-de-açúcar no estado de São Paulo. São José dos Campos/SP: INPE, 1980. Tese(Mestrado em Sensoriamento Remoto e Aplicações). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1980.
- MENDONÇA, F.J. CANASATE - Mapeamento da cana-de-açúcar por satélite. São José dos Campos/SP, INPE, 1986. 69 p.
- MENDONÇA, F.J.; BATISTA, G.T.; TARDIN, A.T. Projeto CANASATE: Sensoriamento remoto aplicado ao levantamento da cultura canavieira. São José dos Campos/SP, INPE, 1989.

MENDONÇA, F.J.; LEE, D.C.L.; TARDIN, A.T. Estudo comparativo de interpretação automática e visual em imagem LANDSAT visando a identificação da cultura da cana-de-açúcar. São José dos Campos/SP, INPE, 1978.

MENDONÇA, F.J.; LEE, D.C.L.; TARDIN, A.T.; SHIMABUKURD, Y.E.; CHEN, S.C.; LUCHT, L.A.M.; MOREIRA, M.A.; LIMA, A.M. de; MAIA, F.C.S. Levantamento da área canavieira do Estado de São Paulo utilizando dados do LANDSAT ano safra 79/80. São José dos Campos/SP, INPE, 1981. V 1.

NELSON, R. Reducing Landsat MSS scene variability. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing. 51 (5):583-593, 1985.

PITTS, D.E.; BADHWAR, G.D.; THOMPSON, D.R.; HENDERSON, K.E.; SHEN, S.S.; SORENSEN; C.T; CARNES, J.C. Evaluation of corn/soybeans separability using thematic mapper and thematic mapper simulator data. IEEE Trans. on Geas. and Rem. Sensing, 22 (3), may 1984.

RICHARDS, J.A. Remote sensing digital image analysis: An Introduction. Berlin, Germany, Springer-Verlag, 1986, 281p.

RUDORFF, B.F.T. Dados LANDSAT na estimativa da produtividade agrícola da cana-de-açúcar. São José dos Campos/SP :INPE,1985.

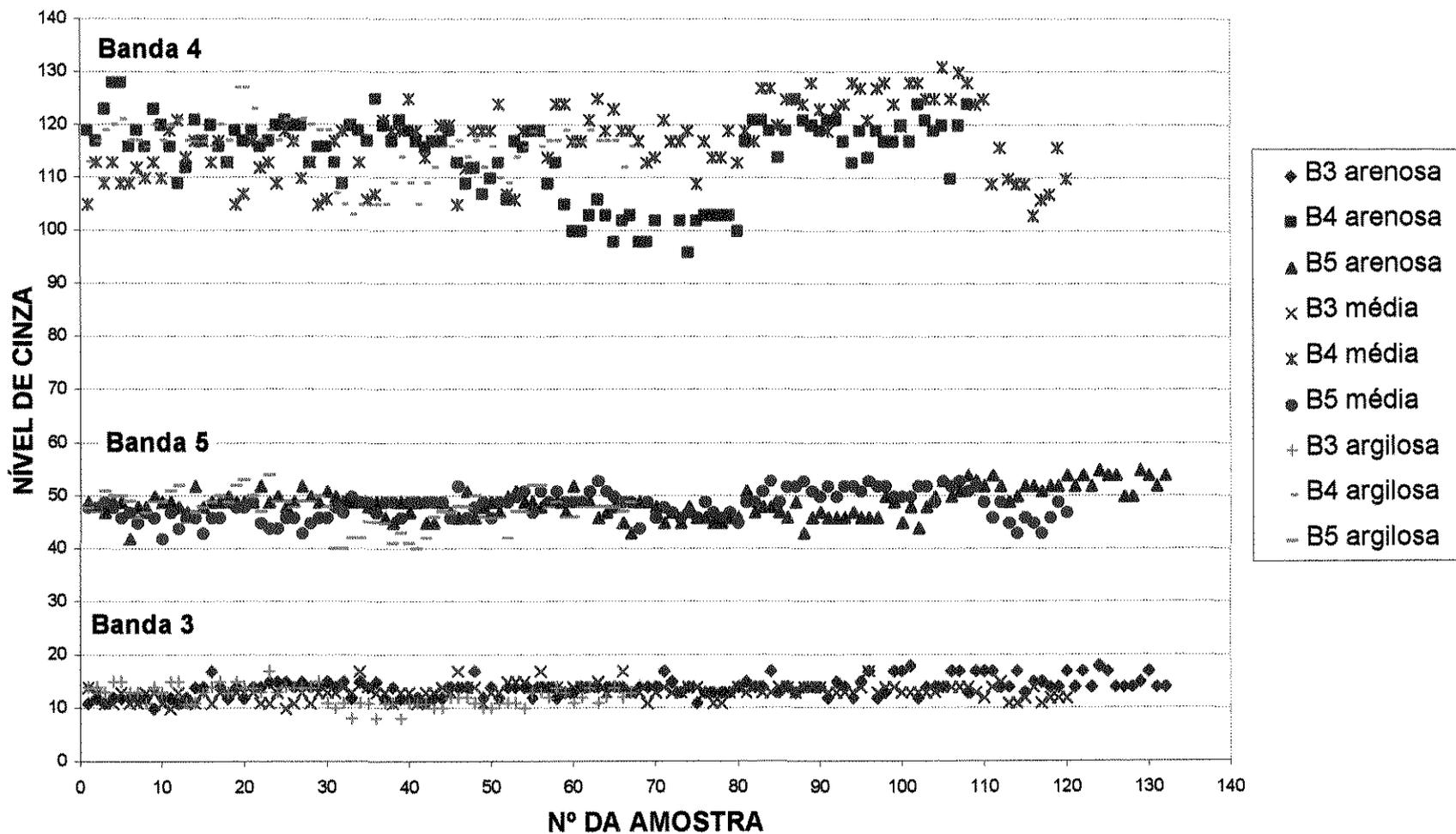
114p. Tese (mestrado em Sensoriamento Remoto e Aplicações).
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1985.

TOWNSHEND, J.G. Agricultural land-cover discrimination using thematic mapper spectral bands. Int. Journal of Remote Sensing, 5 (4) : 681-698, 1984.

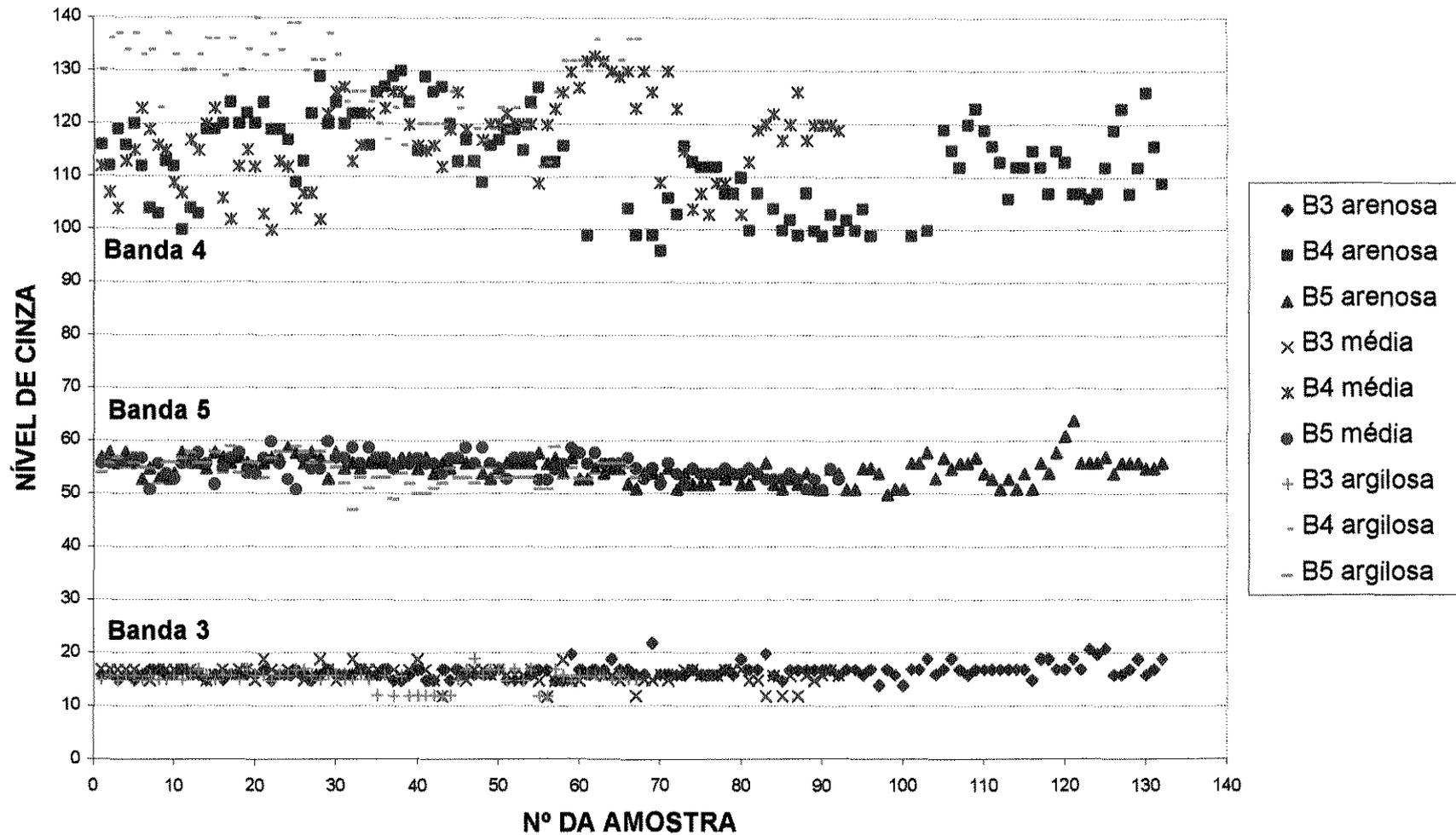
YATES, R.A. The environment for sugarcane. Roma, FAO, 1977. 18p.

ZULLO JR, J. Correção atmosférica de imagens de satélite e aplicações.
Campinas/SP: UNICAMP, 1994. Tese (Doutorado em Engenharia elétrica).

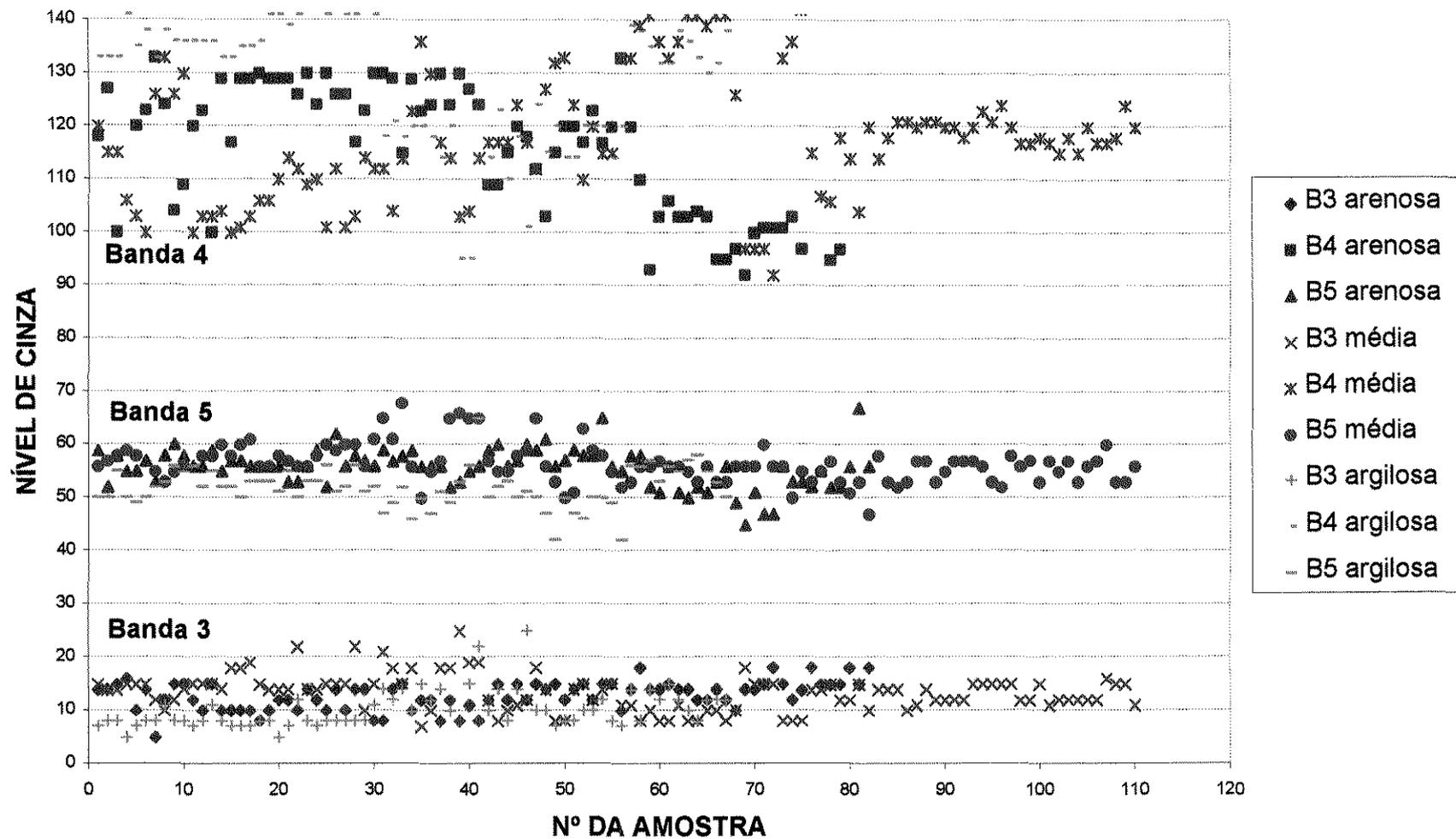
8 ANEXOS



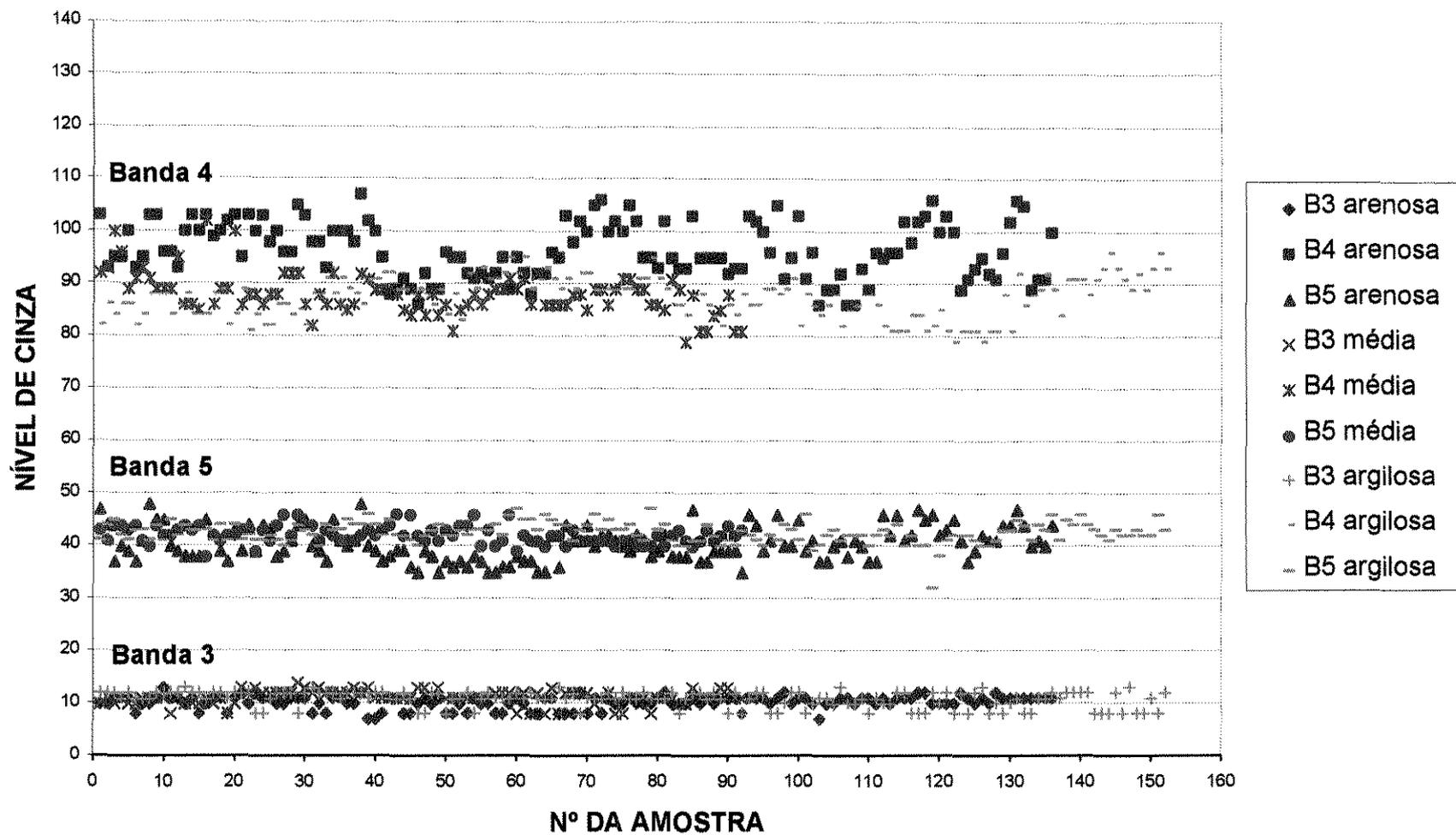
Anexo 1 - Níveis de cinza da variedade **SP70-1143**, nas bandas 3, 4 e 5, em cana de 1º corte, da safra 91/92.



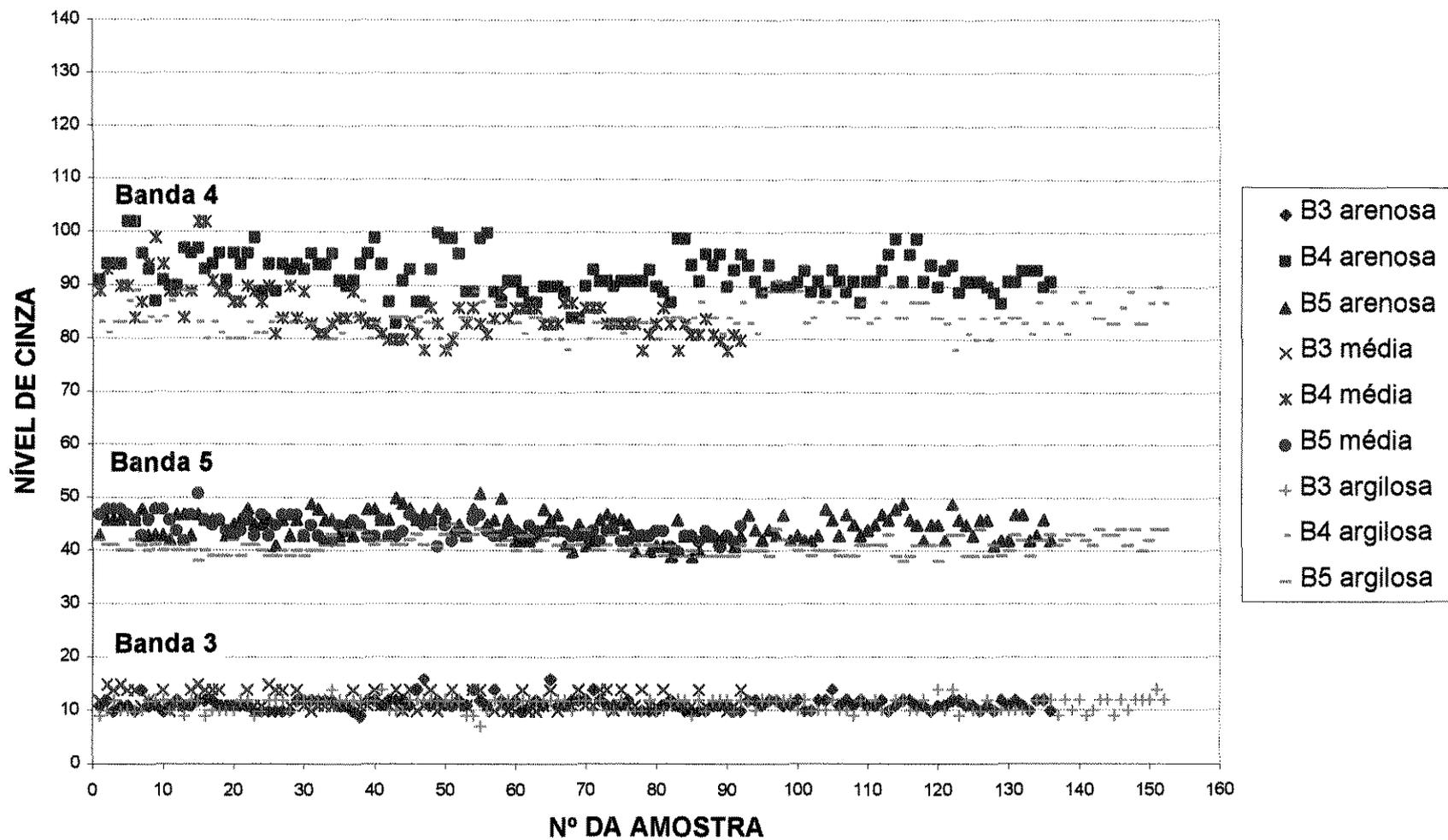
Anexo 2 - Níveis de cinza da variedade **SP70-1143**, nas bandas 3, 4 e 5, em cana de 2º corte, da safra 92/93.



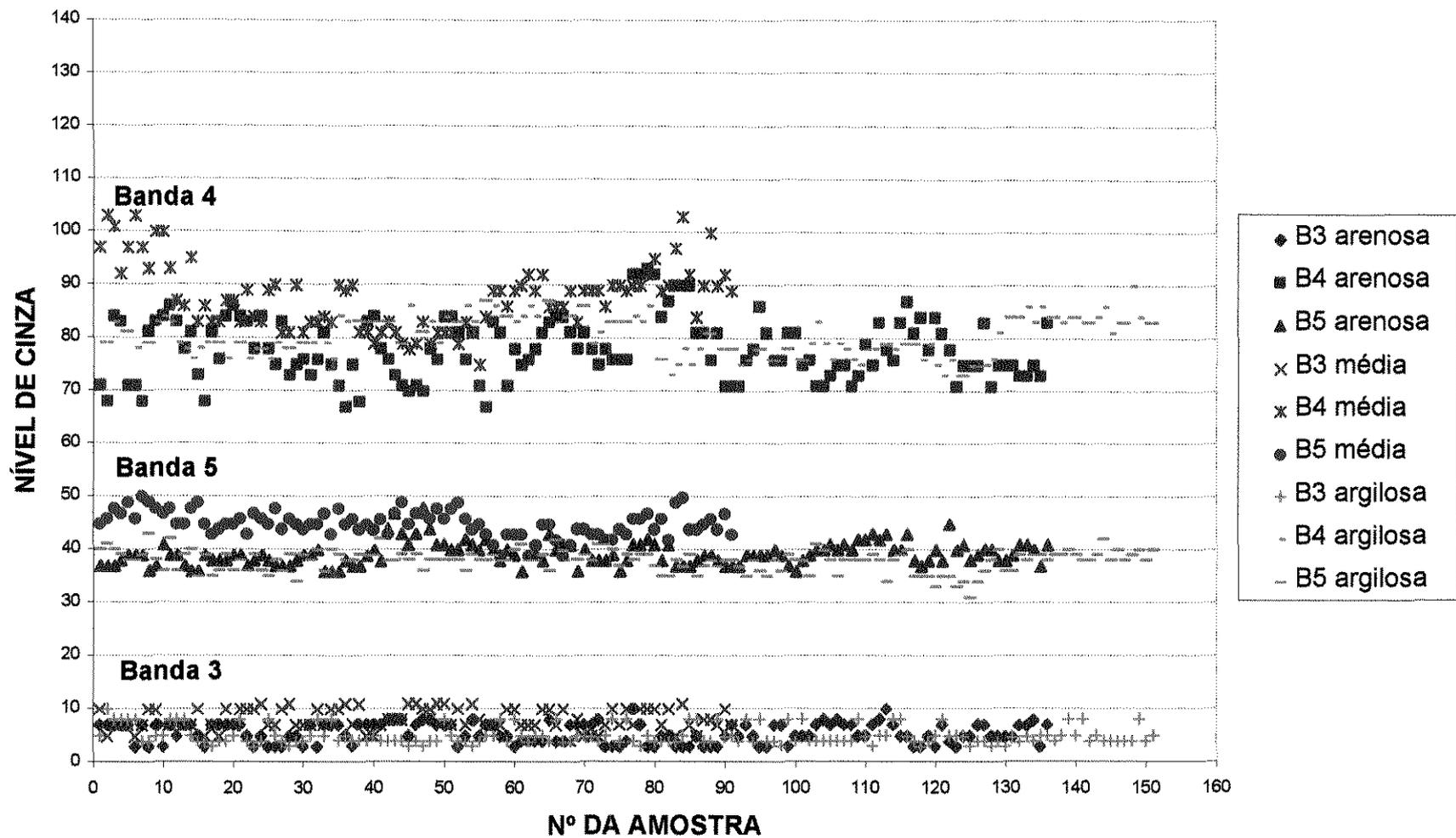
Anexo 3 - Níveis de cinza da variedade **SP70-1143**, nas bandas 3, 4 e 5, em cana de 3º corte, da safra 93/94.



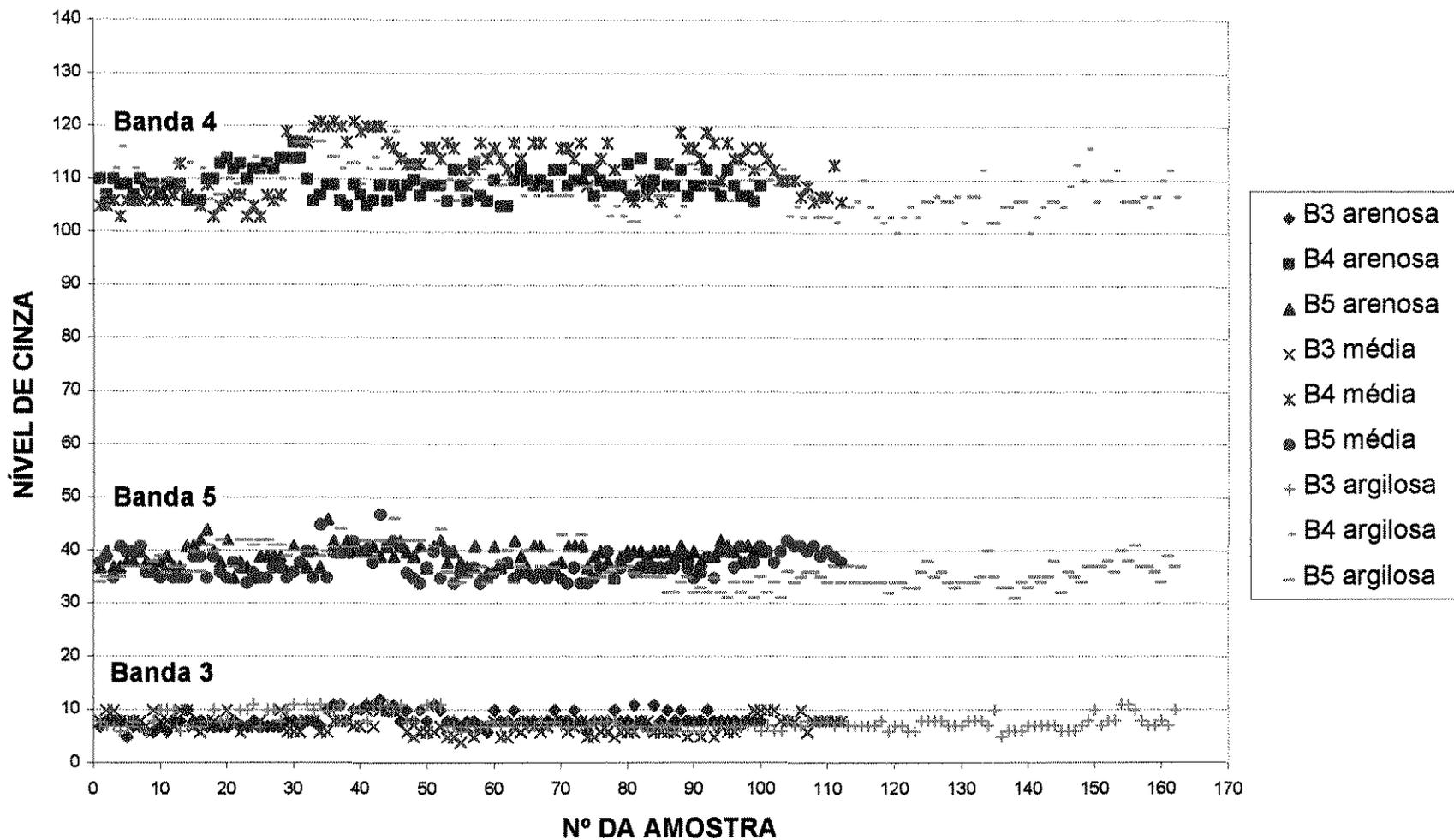
Anexo 4 - Níveis de cinza da variedade **SP71-1406**, nas bandas 3, 4 e 5, em cana de 1º corte, da safra 91/92.



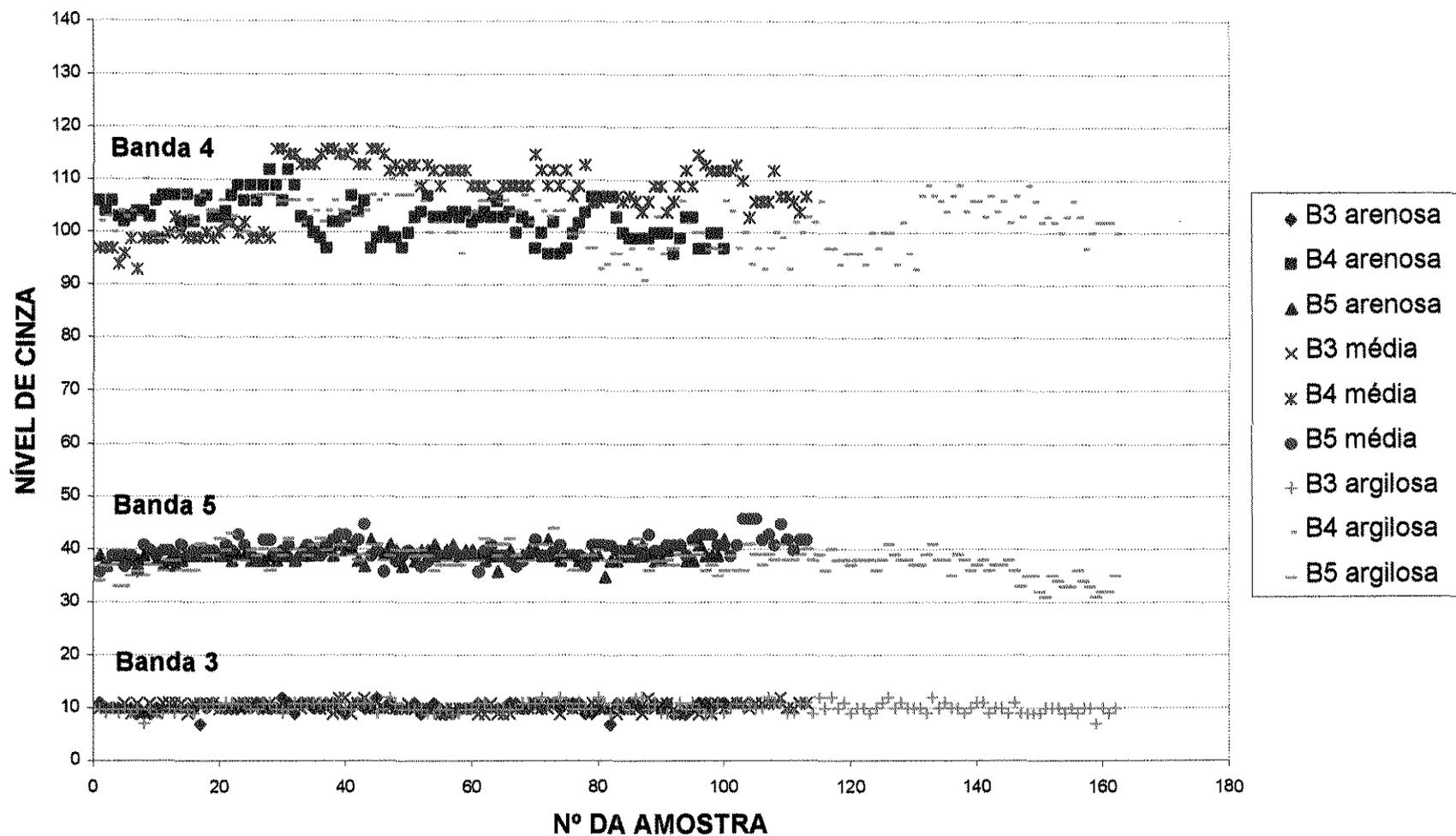
Anexo 5 - Níveis de cinza da variedade **SP71-1406**, nas bandas 3, 4 e 5, em cana de 2º corte, da safra 92/93.



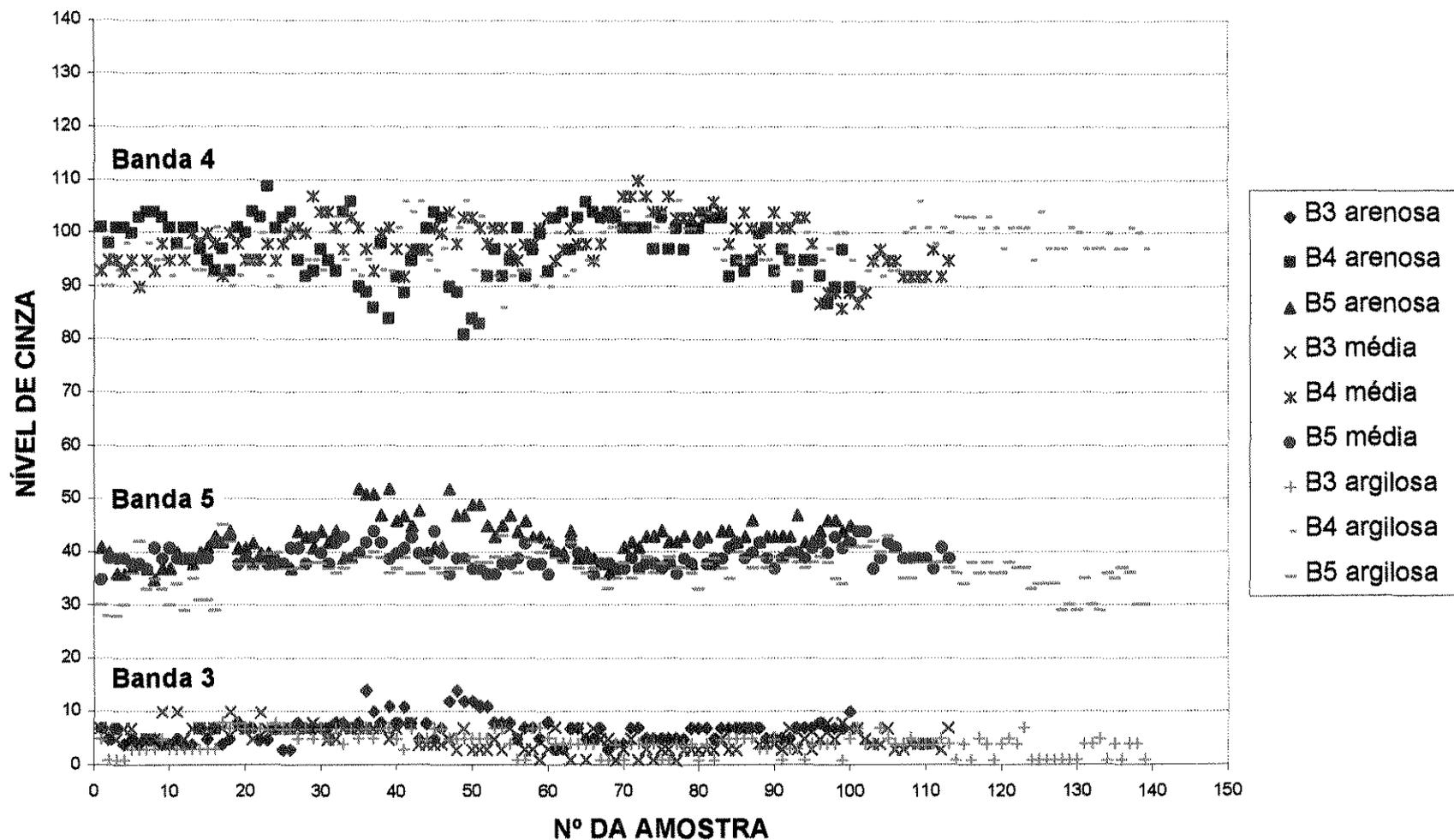
Anexo 6 - Níveis de cinza da variedade **SP71-1406**, nas bandas 3, 4 e 5, em cana de 3º corte, da safra 93/94.



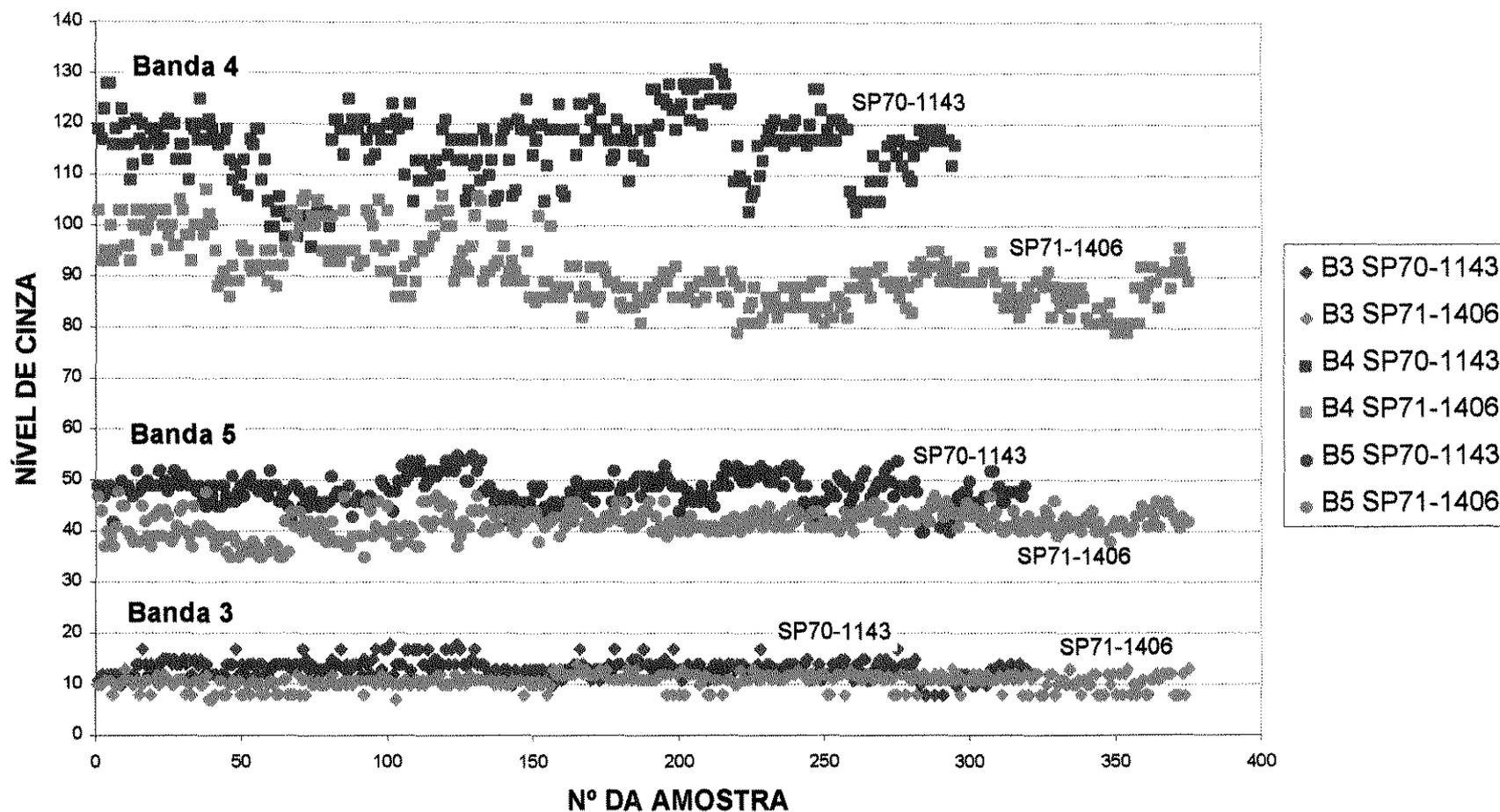
Anexo 7 - Níveis de cinza da variedade SP71-6163, nas bandas 3, 4 e 5, em cana de 1º corte, da safra 91/92.



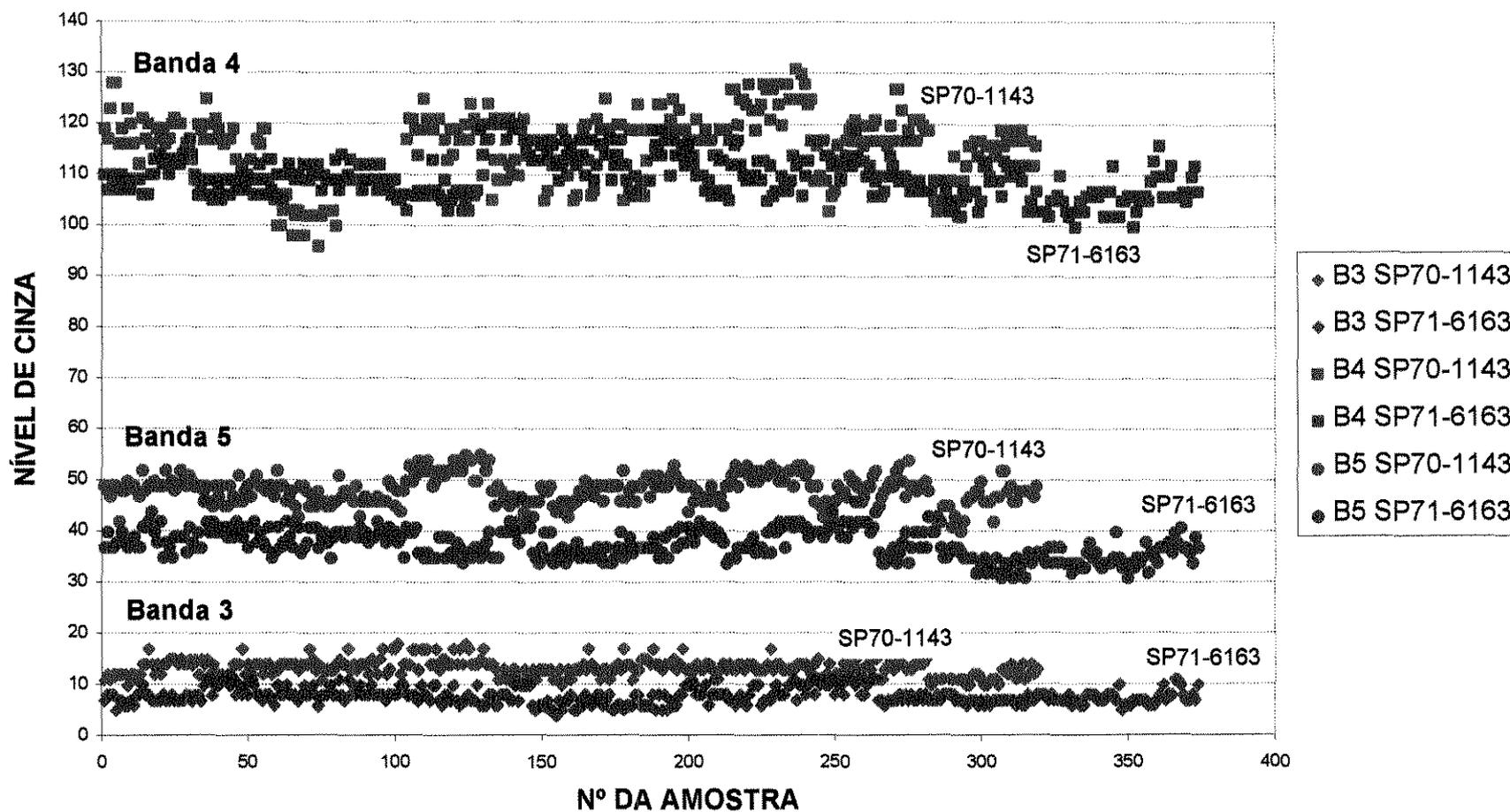
Anexo 8 - Níveis de cinza da variedade **SP71-6163**, nas bandas 3, 4 e 5, em cana de 2º corte, da safra 92/93.



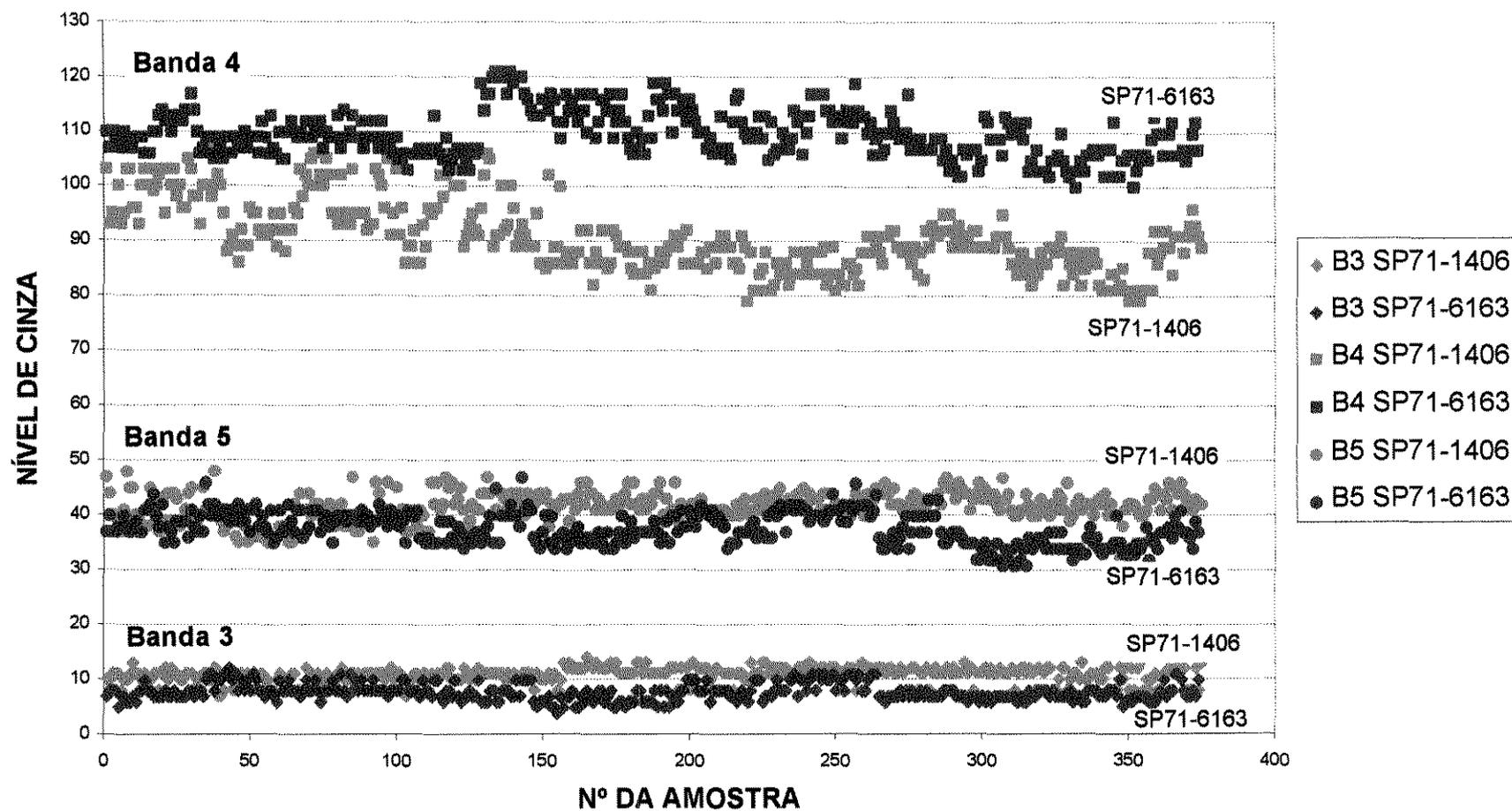
Anexo 9 - Níveis de cinza da variedade **SP71-6163**, nas bandas 3, 4 e 5, em cana de 3º corte, da safra 93/94.



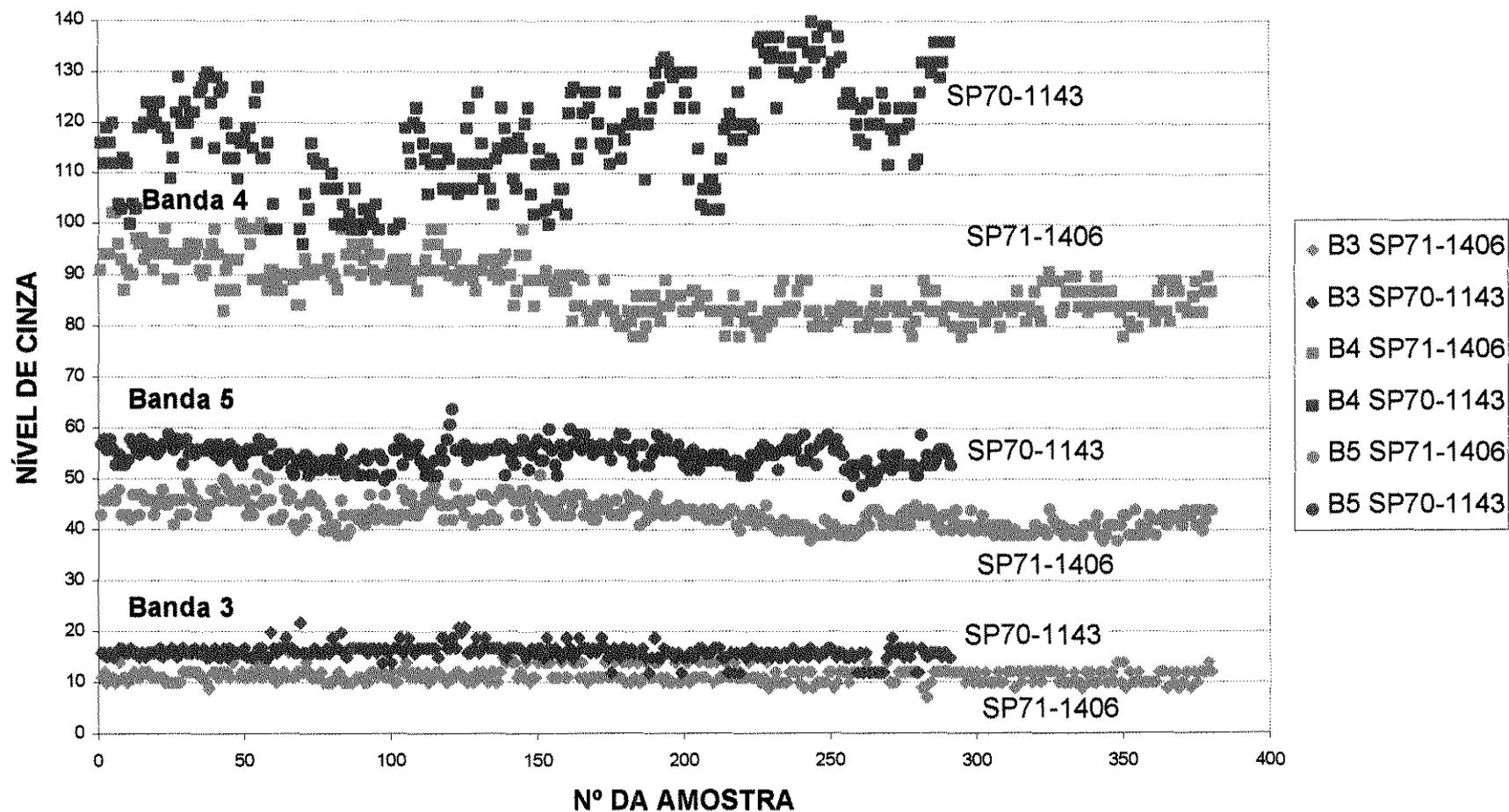
Anexo 10 - Níveis de cinza das variedades **SP70-1143** e **SP71-1406**, nas bandas 3, 4 e 5, em cana de 1º corte, da safra 91/92, das três texturas em conjunto.



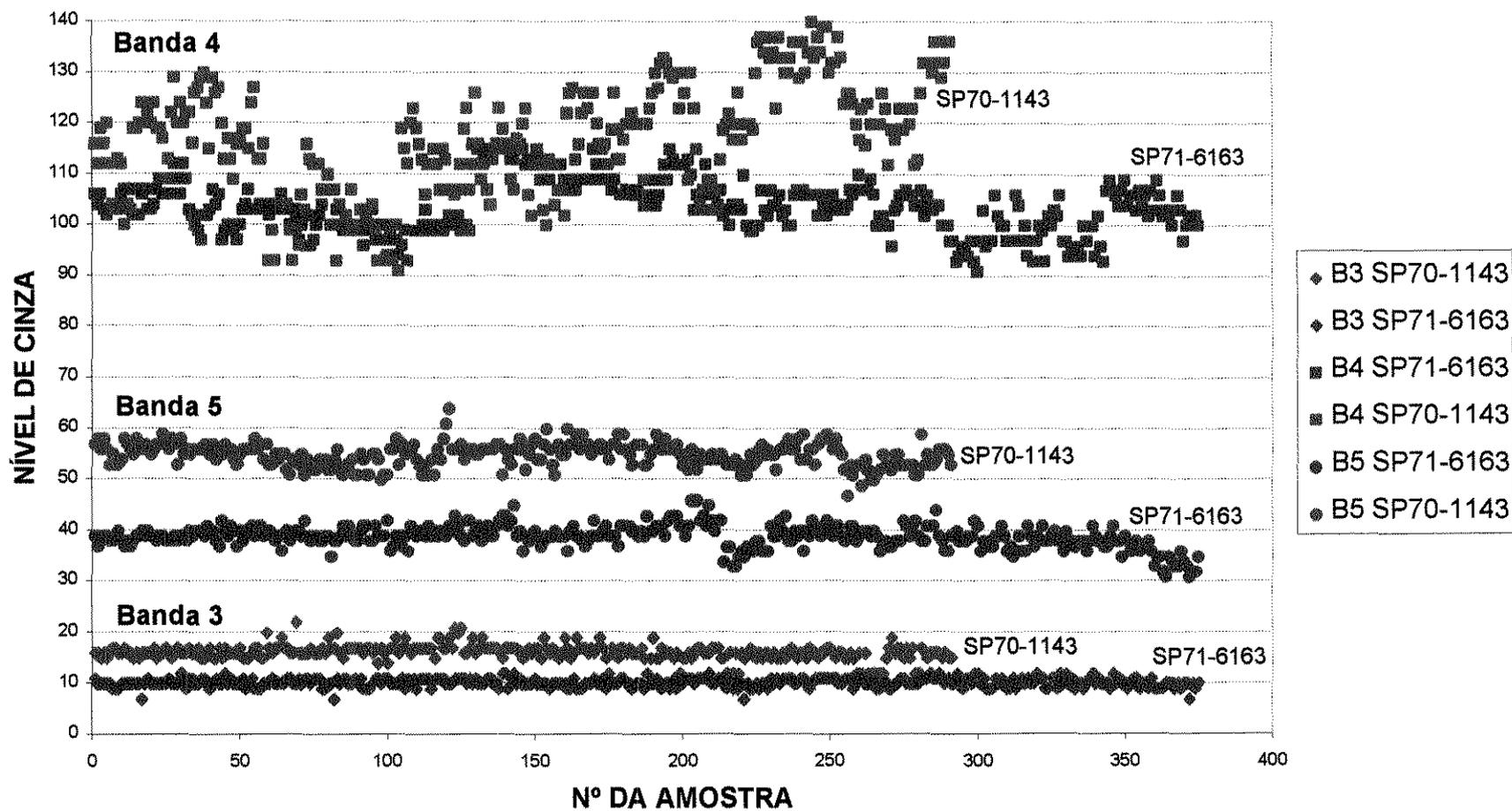
Anexo 11 - Níveis de cinza das variedades **SP70-1143** e **SP71-6163**, nas bandas 3, 4 e 5, em cana de 1º corte, da safra 91/92, das três texturas em conjunto.



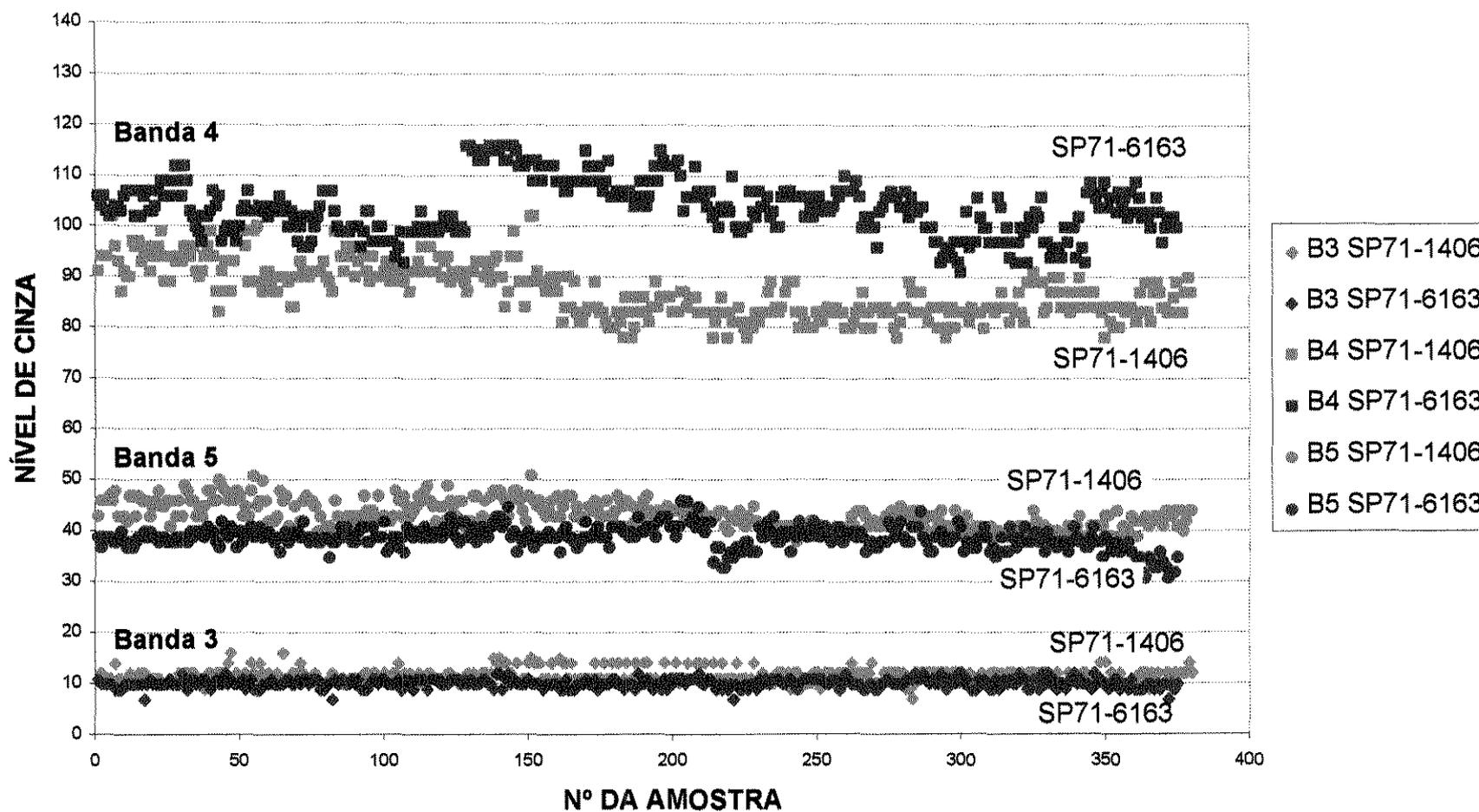
Anexo 12 - Níveis de cinza das variedades **SP71-1406** e **SP71-6163**, nas bandas 3, 4 e 5, em cana de 1º corte, da safra 91/92, das três texturas em conjunto.



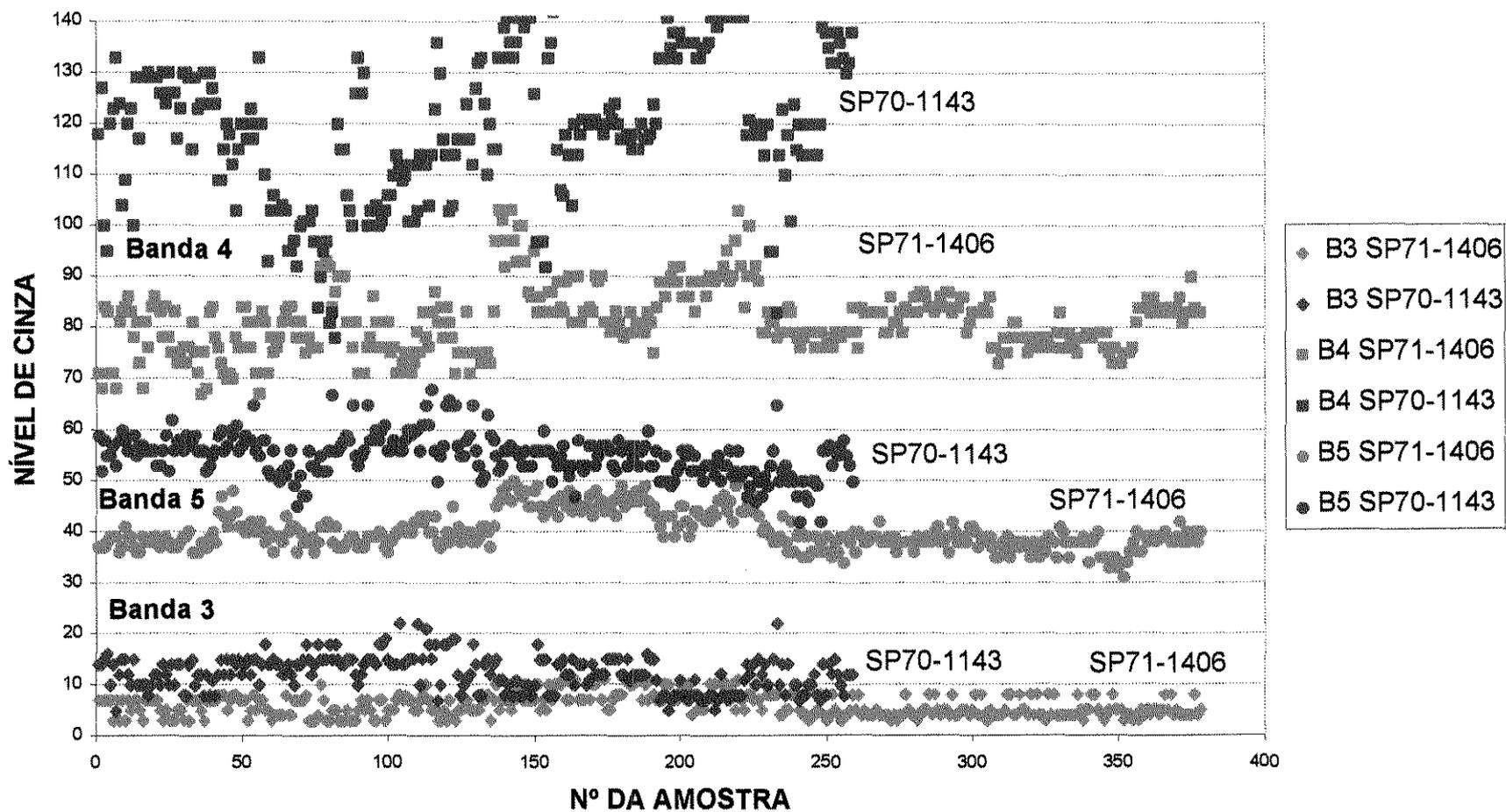
Anexo 13 - Níveis de cinzas da variedades **SP70-1143** e **SP71-1406**, nas bandas 3, 4 e 5, em cana de 2º corte, da safra 92/93, das três texturas em conjunto.



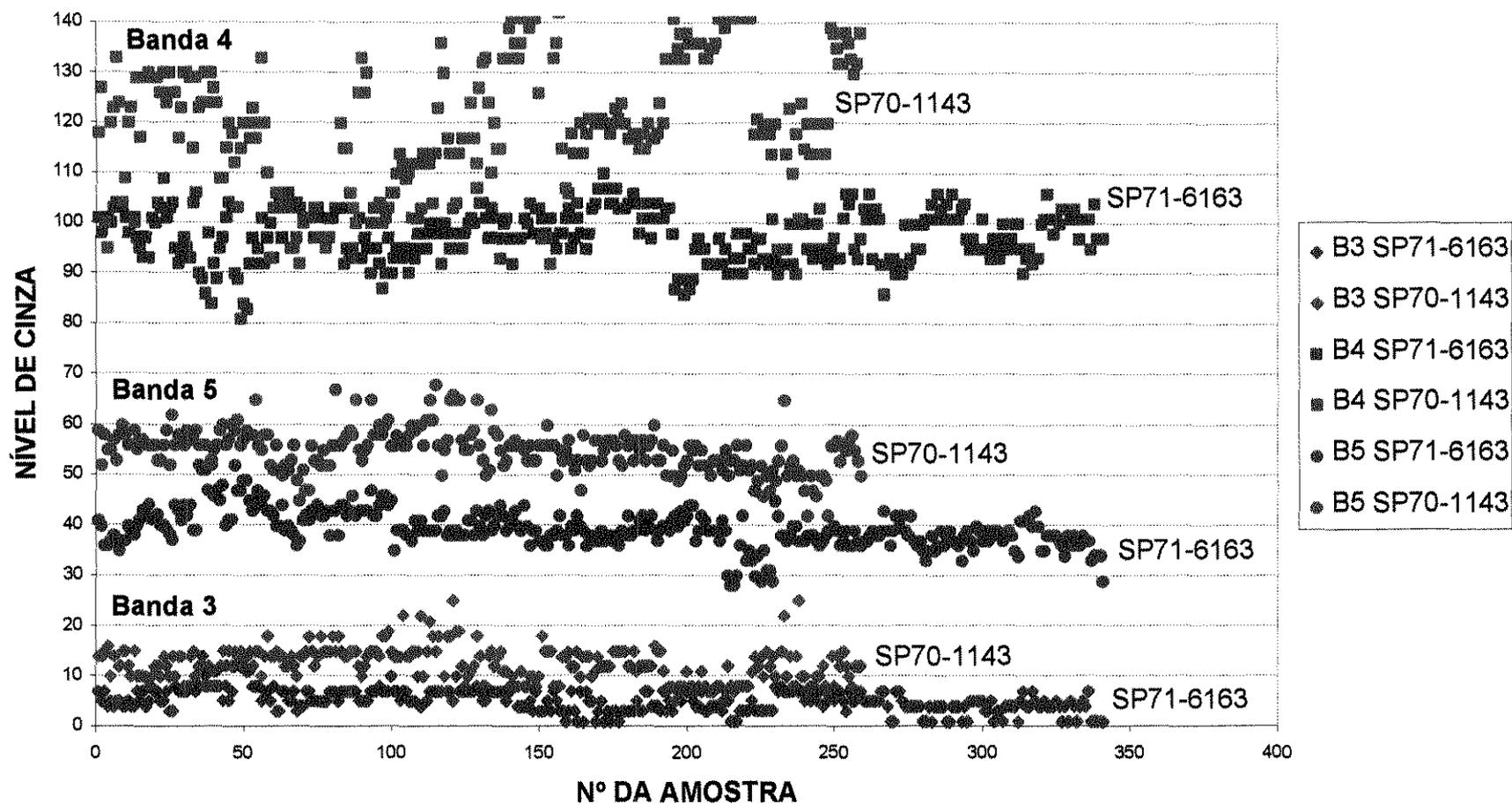
Anexo 14 - Níveis de cinza das variedades **SP70-1143** e **SP71-6163**, nas bandas 3, 4 e 5, em cana de 2º corte, da safra 92/93, das três texturas em conjunto.



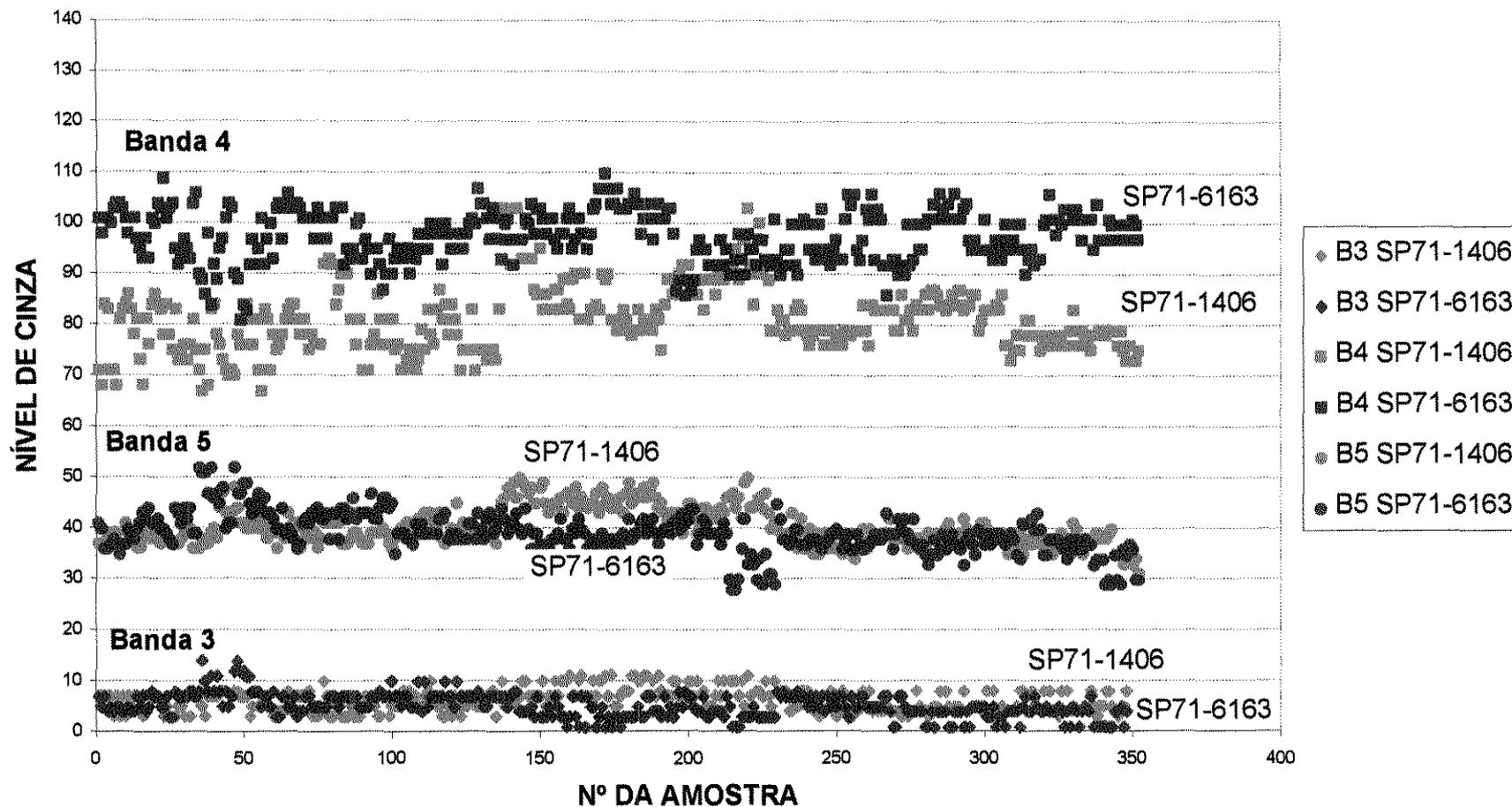
Anexo 15 - Níveis de cinza das variedades **SP71-1406** e **SP71-6163**, nas bandas 3, 4 e 5, em cana de 2º corte, da safra 92/93, das três texturas em conjunto.



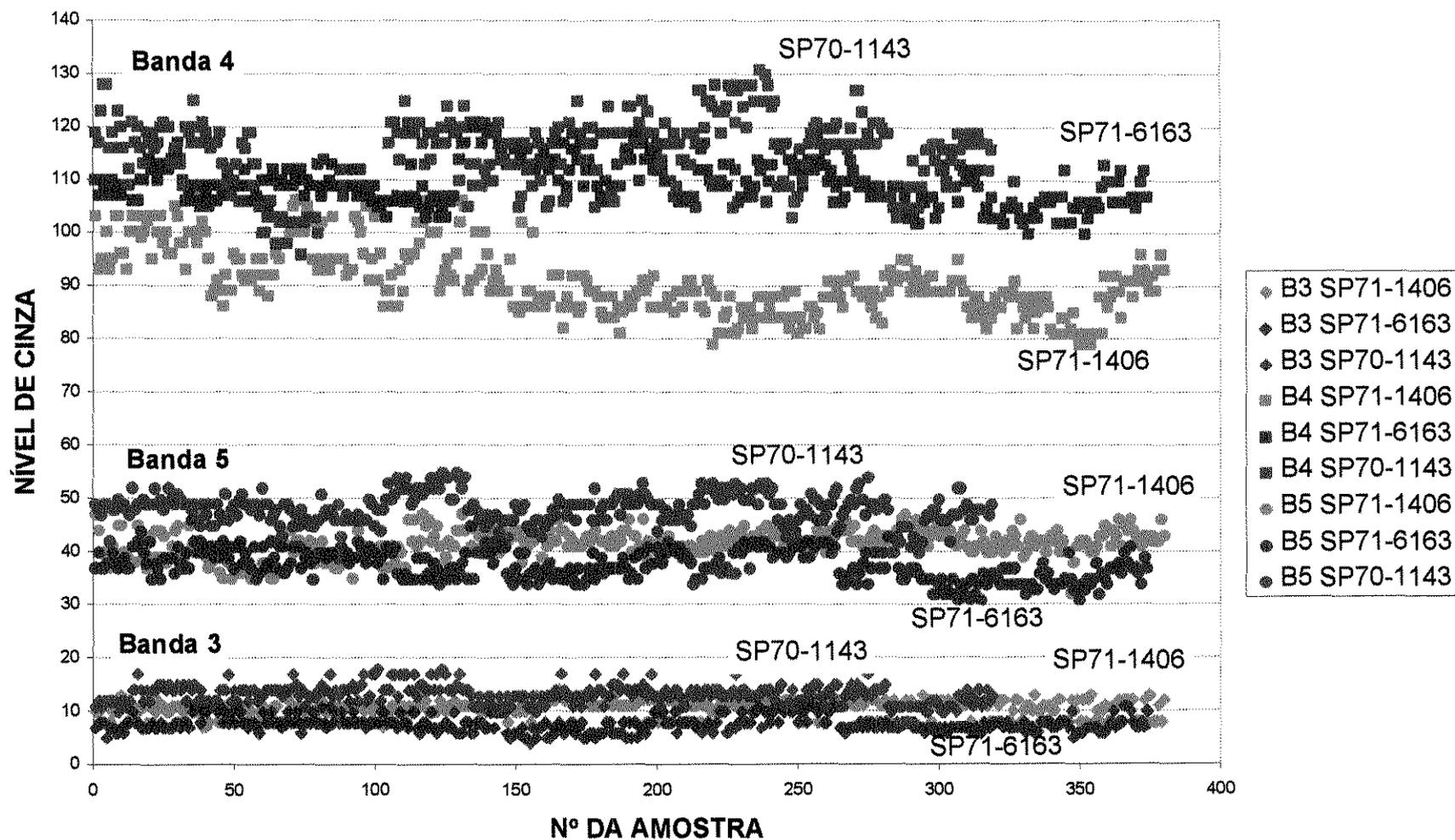
Anexo 16 - Níveis de cinza das variedades **SP70-1143** e **SP71-1406**, nas bandas 3, 4 e 5, em cana de 3º corte, da safra 93/94, das três texturas em conjunto.



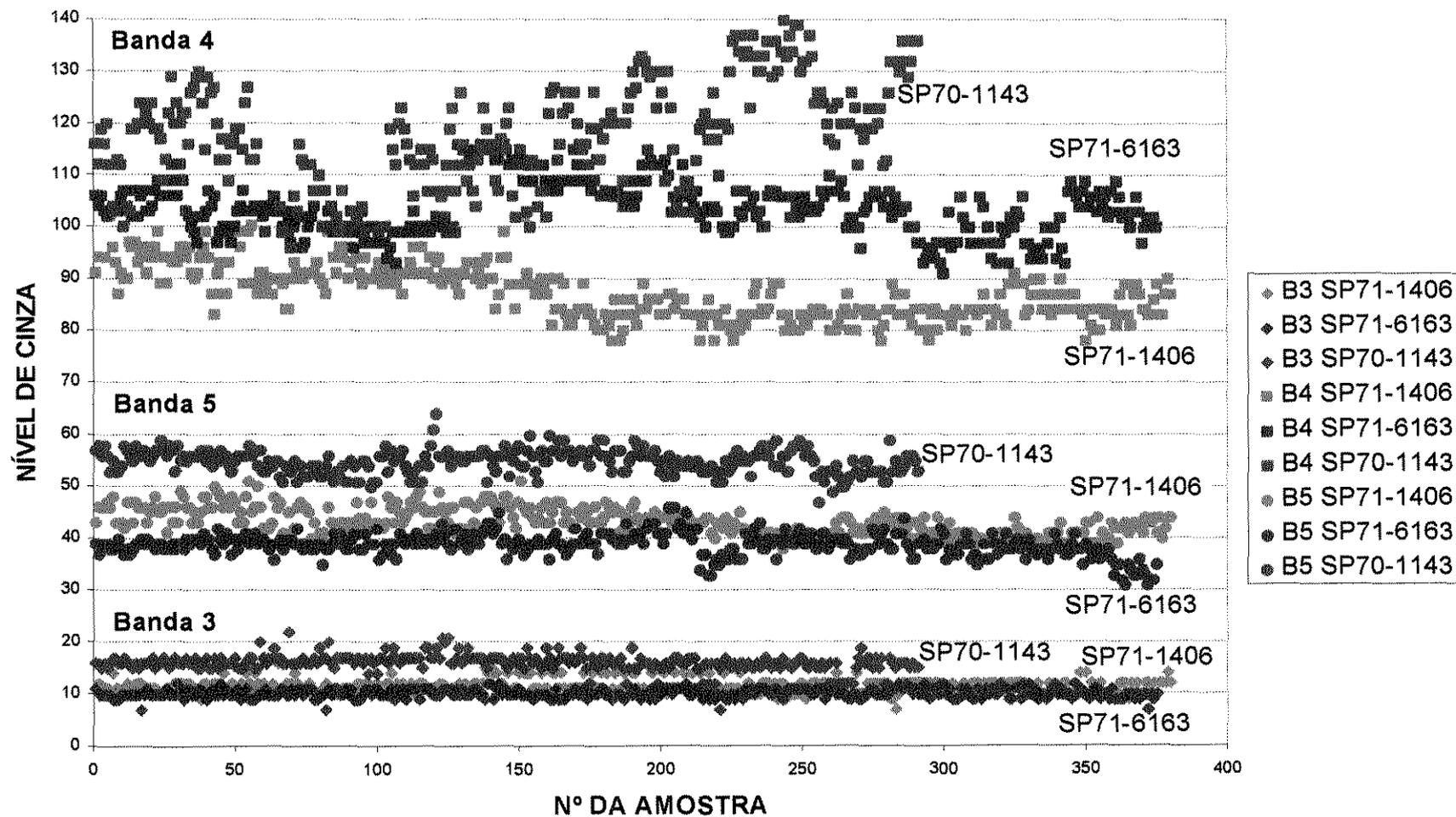
Anexo 17 - Níveis de cinza das variedades **SP70-1143** e **SP71-6163**, nas bandas 3, 4 e 5, em cana de 3º corte, da safra 93/94, das três texturas em conjunto.



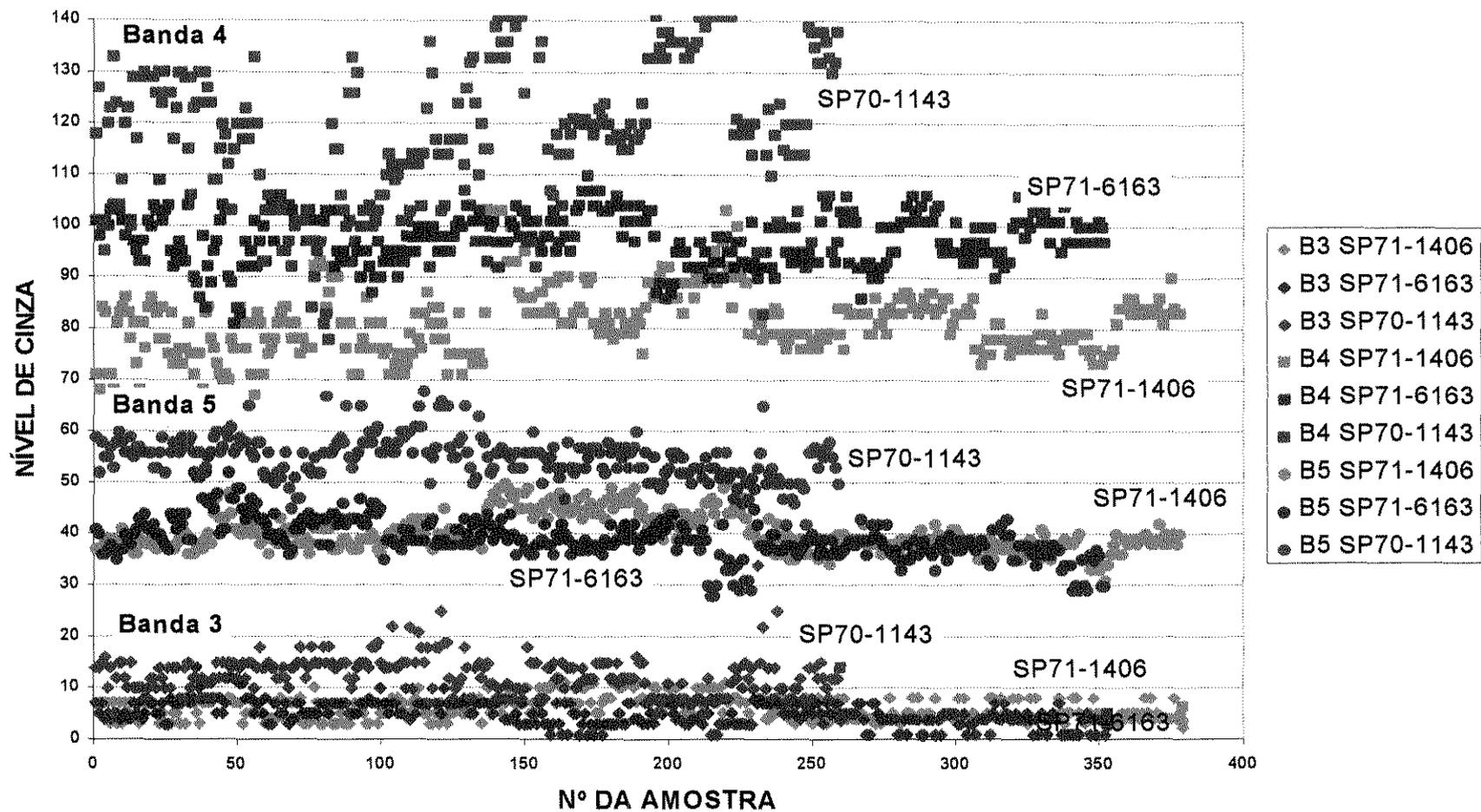
Anexo 18 - Níveis de cinza das variedades **SP71-1406** e **SP71-6163**, nas bandas 3, 4 e 5, em cana de 3º corte, da safra 93/94, das três texturas em conjunto.



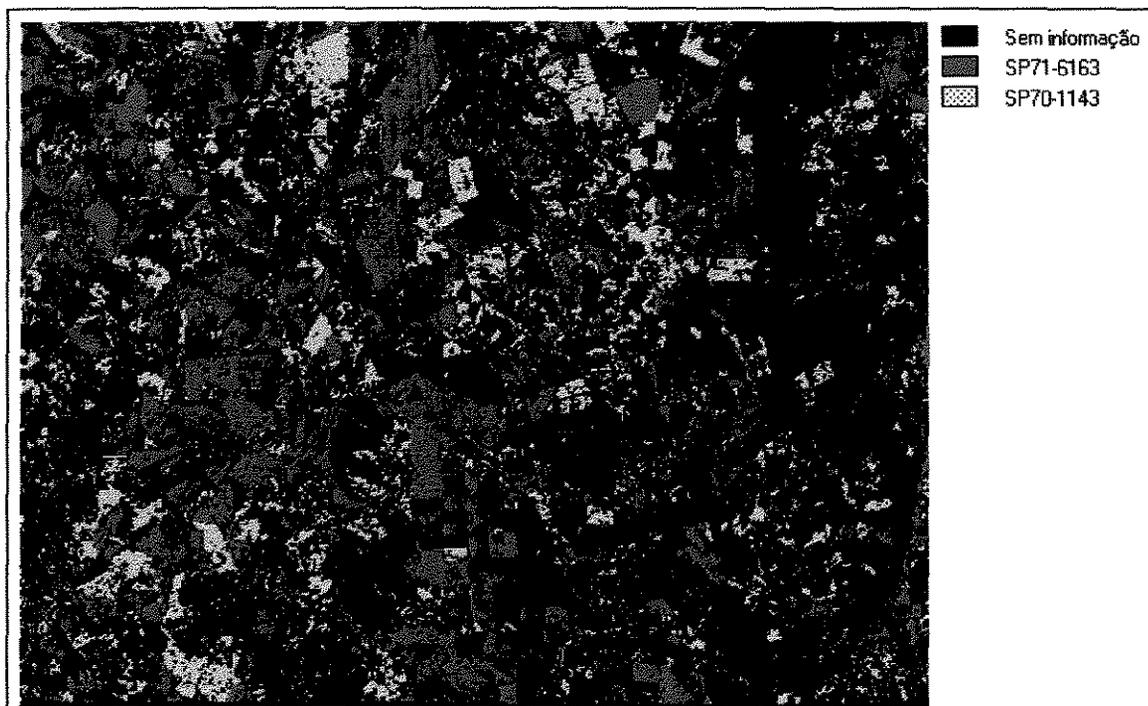
Anexo 19 - Níveis de cinza das variedades **SP71-1406**, **SP71-6163** e **SP70-1143**, nas bandas 3, 4 e 5, em cana de 1º corte, da safra 91/92, das três texturas em conjunto.



Anexo 20 - Níveis de cinza das variedades **SP71-1406**, **SP71-6163** e **SP70-1143**, nas bandas 3, 4 e 5, em cana de 2º corte, da safra 92/93, das três texturas em conjunto.



Anexo 21 - Níveis de cinza das variedades **SP71-1406**, **SP71-6163** e **SP70-1143**, nas bandas 3, 4 e 5, em cana de 3º corte, da safra 93/94, das três texturas em conjunto.



Anexo 22 - Área de estudo Classificada digitalmente por fatiamento.