

INPE 282-RI/71

Projeto SERE

*RECONHECIMENTO DE ROCHA MINERALIZADA
NAS TRANSPARÊNCIAS FALSA COR DE VA-
ZANTE - MG*

Clóvis Carlos Carraro

Janeiro/73



PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA
CONSELHO NACIONAL DE PESQUISAS
INSTITUTO DE PESQUISAS ESPACIAIS
São José dos Campos - Estado de S. Paulo - Brasil

*RECONHECIMENTO DE ROCHA MINERALIZADA NAS
TRANSPARENCIAS FALSA COR DE VAZANTE - MG*

Este trabalho é fruto da pesquisa em desenvolvimento dentro do Programa de Levantamento de Recursos Naturais usando técnicas de sensoriamento remoto, programa esse em implementação pelo Projeto SERE deste Instituto. Sua publicação foi autorizada pelo abaixo assinado,

F. de Mendonça
Fernando de Mendonça

Diretor Geral

ÍNDICE

Resumo	ii
Abstract	iii
Introdução	1
Área de Estudo	4
Metodologia	7
Trabalhos de Campo	9
Medidas Espectrofotométricas	12
Análise dos Resultados	16
Sumário	24
Bibliografia	27

RESUMO

Examina-se a possibilidade de discriminação de rocha mineralizada com fotos infra-vermelho falsa cor tomadas em julho na região de Vazante, baseada na análise de cor segundo padrão internacional da CIE. Medidas de transmitância espectral das amostras foram feitas tanto em filme Aerochrome IR (falsa cor) como em filme Ektachrome MS Aerographic, para efeito de comparação, nos espectrofotômetros modelo 450 Perkin Elmer e modelo SR ISCO. Resultados indicam que é possível a separação da zona mineralizada usando a técnica apresentada.

ABSTRACT

This study examines the feasibility of discriminating zinc deposits with infrared color photography. Discrimination is based on the analysis of color measurements from the transparencies, based on CIE standards. Transmissivity was measured with 450 Perkin Elmer and SR ISCO spectroradiometers. The photos were taken during the dry season in Vazante mining district. Results show that it is possible to discriminate the zinc bearing rocks from the others.

INTRODUÇÃO

Estudos de sensoriamento remoto estão sendo dirigidos intensivamente com a finalidade de executar o inventário dos recursos naturais. O INPE conduziu pesquisas no sentido de detectar padrões relacionados com a geologia e presença de minério na região de Vazante, Minas Gerais, e deste modo determinar a resposta espectral das rochas aflorantes na região, de interesse para a pesquisa de minérios de zinco.

A seleção da área prendeu-se a parâmetros bem definidos:

- 1) em Vazante está localizada a maior jazida de zinco do país;
- 2) por estar sendo minerada a poucos anos, existem ainda boas exposições da zona mineralizada livre da ação antrópica que iria destruir a originalidade do terreno quanto ao solo e vegetação;
- 3) existe correlação entre geologia e espécies vegetais características.

Pretende-se definir a aplicabilidade de sensoriamento remoto à prospecção de depósitos minerais similares, podendo a pesquisa iniciada na área de Vazante, ser estendida para áreas geologicamente promissoras, seguindo estruturas e alinhamentos de falha. Branco (1962) reconheceu três estruturas tectônicas favoráveis não só em zinco como tam-

bêm em cobre e chumbo no centro e norte do Estado de Minas Gerais (figura 1):

- 1) Vazante: faixa tendo por eixo a linha Serra Negra, Vazante, Paracatu, Unaí;
- 2) João Pinheiro: faixa de Quintinos, próximo a Tiros até João Pinheiro;
- 3) Januária: faixa da Serra do Cantinho próximo a Januária até Itacarambi.

Além destas três áreas promissoras no Estado de Minas Gerais, a serem estudadas em futuro próximo, está em cogitação a extensão para o sul da Bahia em áreas a serem definidas pela foto-interpretção regional e por estudos em desenvolvimento no Instituto de Geociências da Universidade Federal da Bahia.

O uso de fotos coloridas na faixa do infra-vermelho (falsa cor) teve sua justificativa em simular as imagens do satélite ERTS da NASA. É importante também o conhecimento da resposta espectral de diferentes litologias e vegetação aos sensores fotográficos e relação com latitude e clima da região. Por esta razão o imageamento deverá ser repetido no final da época das chuvas, quando as condições de umidade do solo e vigor da vegetação tiverem o máximo de intensidade.

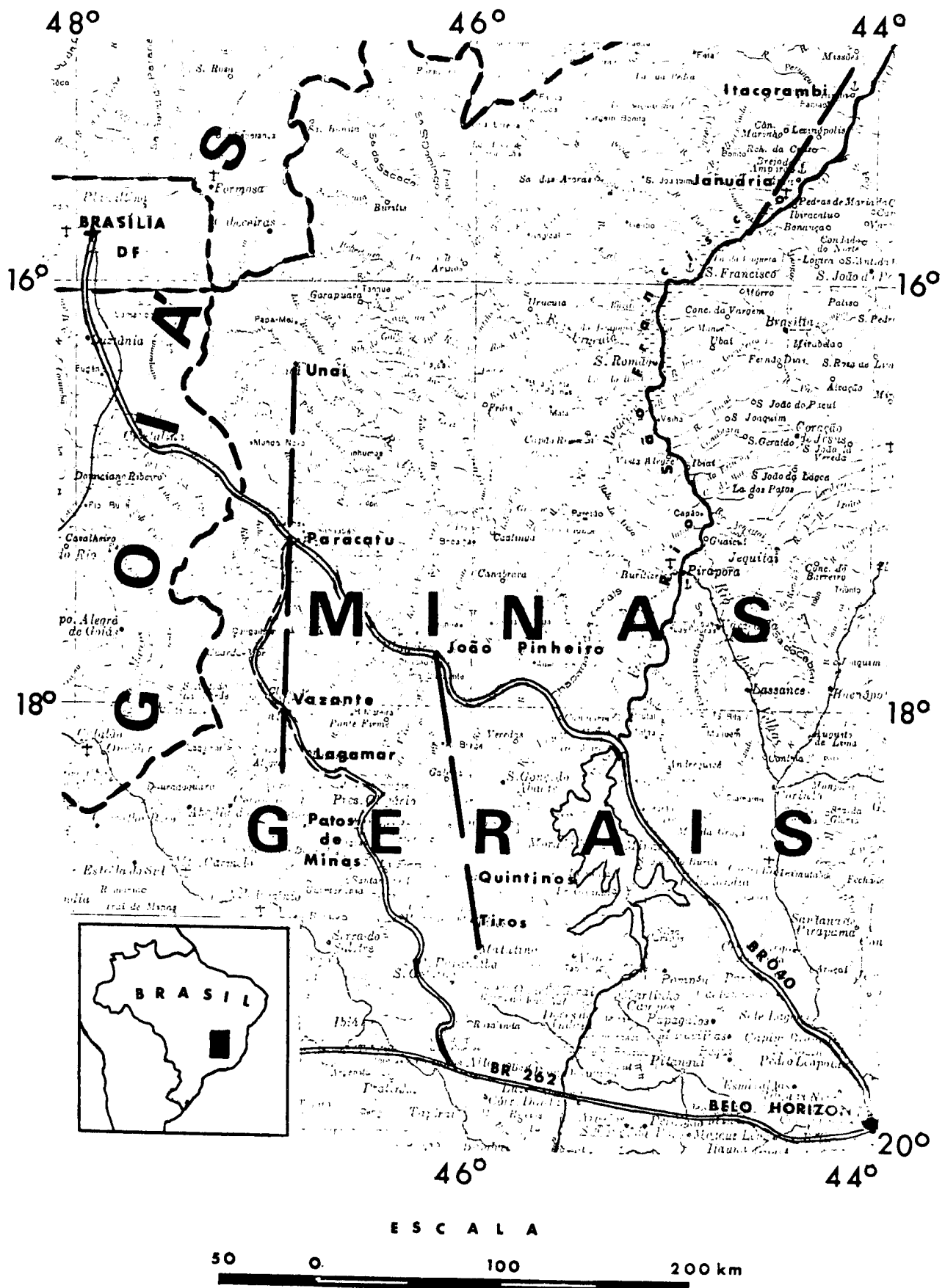


Figura 1 - Mapa de localização.

ÁREA DE ESTUDO

Vazante se localiza no oeste do Estado de Minas Gerais, na latitude de $17^{\circ}59'18''$ Sul e $46^{\circ}54'30''$ W. É servida por estrada de ferro até Patos de Minas (90 Km) que dista de Belo Horizonte de 350 Km por via asfaltada. Também pode ser atingida pela rodovia Brasília - Belo Horizonte até Paracatu (Km 533 de Belo Horizonte), de onde dista de 120 Km por estrada de terra.

Situada no Planalto Central, em pleno cerrado, tem clima com regime fluvial caracterizado por estação seca bem definida, sendo junho-julho-agosto o trimestre mais seco e novembro-dezembro-janeiro o mais chuvoso, quando a precipitação atinge 500 mm por mês.

A geologia foi estudada recentemente por Amaral (1968) que desenvolveu tese de doutoramento sobre depósitos de minério da região. A estratigrafia consta essencialmente de quatro unidades principais (figura 2):

- 1) rochas meta-sedimentares do Grupo Canastra (Formação Paracatu), as mais antigas (880 m.a.), constituídas de filitos e ardósias cinzentas, meta-siltitos verde-azulados e quartzitos amarelos;
- 2) calcários com intercalações de folhelhos da formação Sete Lagoas do Grupo Bambuí; são de granulação fina, um

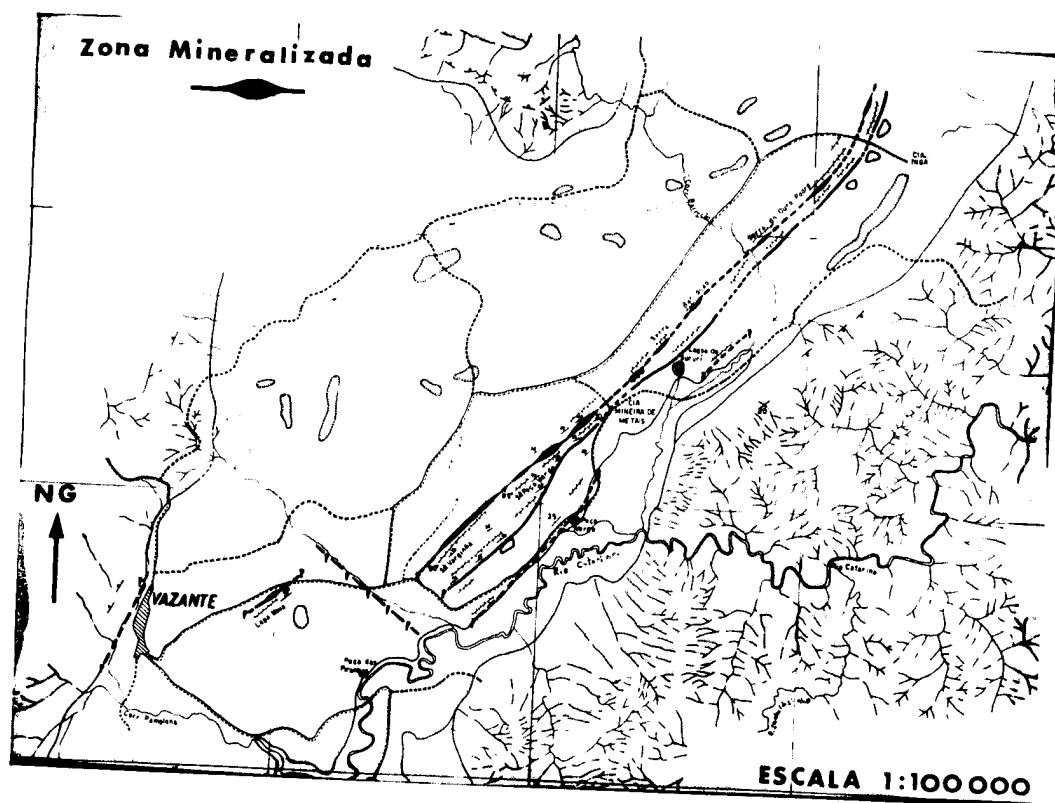


Figura 2 - Mapa Geológico de Vazante (Amaral, 1968).

tanto argilosos, localmente silicificados e/ou dolomitizados, em geral cinza claro a escuro, muitas vezes cor de rosa a tijolo quando hematítico;

- 3) meta-siltitos e folhelhos ardorianos da Formação Rio Paraopeba, com fraco metamorfismo, cores cinza, bandamento verde-vermelho e grande espessura;
- 4) depósitos argilosos recentes da planície aluvionar do Rio Santa Catarina e depósitos de talude do sopé das serras.

As rochas do Grupo Canastra ocorrem a NW de Vazante, topograficamente acima do Grupo Bambuí. Foram movimentados por falhas de cavalgamento e presentemente apresentam mergulhos variáveis de 20° a 60° , em geral para sudeste. Os calcários ocorrem em morros isolados mais ou menos alinhados na direção nordeste com escarpa vertical sempre voltada para sudeste. São cobertos por folhelhos, arenitos finos e folhelhos ardorianos, em contato por falhas reversas de fraco mergulho e direção NE.

A mineralização primária, constituída de esfalerita e ocorrência de galena se restringe à zona de falhamento principal e ocorre sempre substituindo o dolomito hematítico de cor vermelho tijolo. O mineral que ocorre em maior quantidade é a hematita; os mais importantes são willemita, hemimorfita, hidrozincita e smithsonita.

METODOLOGIA

O levantamento aerofotográfico foi realizado durante a estação seca de julho de 1972, em quatro escalas diferentes; 1:90000, 1:60000, 1:30000 e 1:15000. Foram usadas quatro câmaras Hasselblad (f= 50 mm) simultaneamente, providas com filme 70 mm Ektachrome MS Aerographic, Aerochrome IR (falsa cor), Plus X pancromático com filtro verde e o mesmo filme com filtro vermelho. Abrangendo uma extensão de 30 x 6 Km na escala 1:90000, o imageamento foi restringido ã zona mineralizada propriamente dita nas escalas maiores, com um máximo de 15 Km de extensão.

A foto-interpretação das transparências coloridas, feita em mesa de luz com estereoscópio de bolso forneceu os seguintes resultados:

1) Filme Ektachrome MS Aerographic

- a) as transparências na escala 1:15000 e 1:30000 tiveram bom contraste de cor; devido ã similaridade de resposta espectral da vegetação na faixa do visível, não se observou diferenças entre as formações geológicas;
- b) as transparências na escala 1:60000 e 1:90000 apresentaram uma tonalidade azulada uniforme em toda a extensão, devido provavelmente ã falta de filtro conveniente, fato que se agravou com o aumento da altu

ra de vôo nestas escalas (Pease & Bonden, 1969).

2) Filme Aerochrome IR(falsa cor)

- a) as imagens nas escalas 1:15000 e 1:30000 apresentaram ótima qualidade, sendo possível uma foto-interpretção das diferentes formações geológicas; a zona mineralizada foi delimitada pela diferença de cor com as regiões adjacentes.

As observações foram transferidas para cópias de papel das imagens preto e branco e levadas ao campo para verificação. A geologia regional foi interpretada nas fotos da missão USAF 1:60000 e baseada em mapas existentes.

TRABALHOS DE CAMPO

A foto-interpretação foi testada no campo por observação direta durante a segunda quinzena de agosto, percorrendo-se toda a zona mineralizada desde a Lapa Nova e Morro da Maura, no sul, até a Serra do Ouro Podre, no norte. Verificou-se que sempre que o solo e vegetação originais estavam conservados, a interpretação da zona mineralizada como tal era verdadeira. Isto ocorreu no Alto da Lumiadeira desde o Morro da Maura até o Morro Velasco, concessão da Companhia Mineira de Metais. Na serra do Ouro Podre, concessão da Companhia Mercantil e Industrial Ingã, não foi possível reconhecer a zona mineralizada nas transparências devido à mineração a céu aberto extensiva, com a consequente destruição de superfície original.

Segundo Amaral há uma perfeita associação entre minério oxidado e um pequeno arbusto classificado como *Gomphrena* sp. e três espécies de gramíneas - *Heteropogon villosus* Nees, *Paspalum trachycoleon* Steudel e *Axonopus chrysodactylus* Kuhl. Pela observação de campo na época pôde-se concluir que apesar do arbusto *Gomphrena* sp. ter grande afinidade com o minério de zinco, não se desenvolve extensivamente, deixando de ter resolução espacial suficiente para interpretação na escala 1:30000 e mesmo 1:15000. A gramínea *Heteropogon villosus* Nees parece ser a mais significativa para a foto-interpretação por se desenvolver extensivamente na zona oxidada do minério e ter portanto resolução espacial. Foi pos

sível, como menciona Amaral, delimitar com precisão a zona oxidada do minério pelo contraste de vegetação, que passa bruscamente de gramíneas na zona mineralizada para arbustos e vegetação de cerrado na rocha calcária adjacente. O controle do tipo de vegetação é exercido não somente pela afinidade de certas plantas com óxidos de zinco mas também pela espessura do solo e teor de umidade; apenas gramíneas mais resistentes podem ter desenvolvimento na zona mineralizada onde o solo é pouco espesso e em geral mais seco.

A pesquisa foi estendida para áreas vizinhas, desde a cidade de Lagamar, ao sul de Vazante, até a localidade de Vaza Mor, 20 Km ao norte, para efeito de comparação com áreas não mineralizadas ou desconhecidas. Além de alguns indícios de hematita ao norte, não foi encontrada possibilidade de mineralização fora da conhecida.

Comparando os resultados da foto-interpretção (figura 3) com o mapa geológico, pode-se avaliar o quanto de certeza se pode obter com a observação de transparências em filme Aerochrome IR (falsa cor).

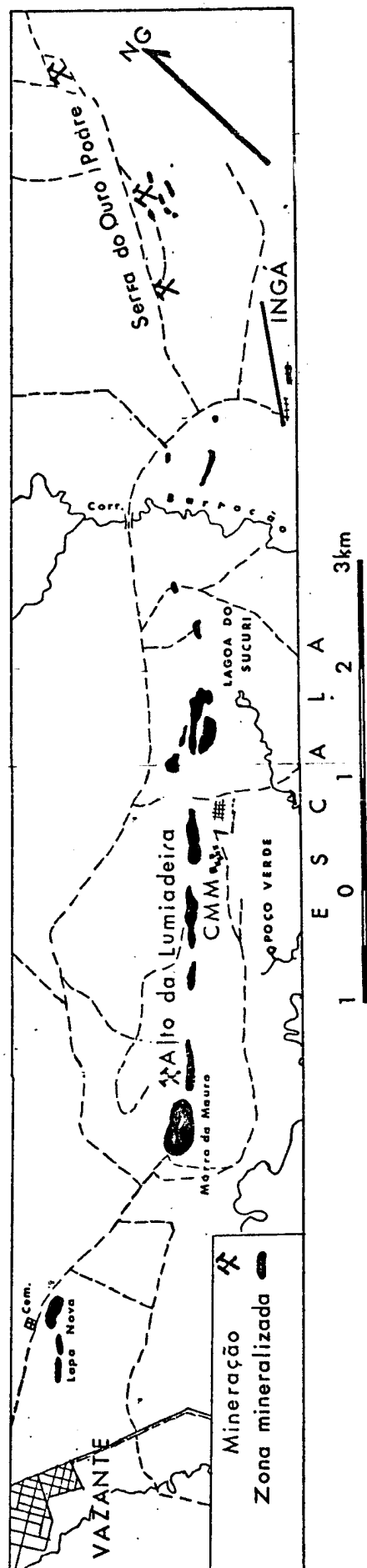


Figura 3 - Foto-in. interpretação da zona mineralizada de Vazante com transparências em filme IV - falsa cor.

MEDIDAS ESPECTROFOTOMÉTRICAS

Baseado no sucesso da foto-interpretação foi feita a quantificação da cor com a finalidade de medir as diferenças e representá-la graficamente. Foi escolhido o método CIE (Comission International d'Eclairage), padrão internacional de colorimetria. Pelo cálculo dos coeficientes tricromáticos (X, Y e Z) pode-se, levando ao diagrama de cromaticidade, definir o comprimento de onda dominante e pureza de cada cor, bem como o brilho, função do parâmetro Y (Billmeyer Jr. & Saltzman, 1966; Hardy, 1936).

Os dados para cálculo são a transmitância espectral de cada alvo no intervalo do espectro visível (400 a 700 nm) e valores tabelados relativos à distribuição de energia para o iluminante C e triestímulos para as cores espectrais ($\bar{x}$, $\bar{y}$ e $\bar{z}$). A transmitância espectral de cada alvo foi medida, para efeito de comparação, nos dois espectrofotômetros disponíveis nas facilidades do INPE:

- 1) modelo 450, marca Perkin Elmer
- 2) modelo SR, marca ISCO (Instrumentation Specialities Co. Inc.).

O modelo 450 fornece a curva de transmitância (ou refletância) espectral normalizada entre 0 e 1 independente do iluminante. O

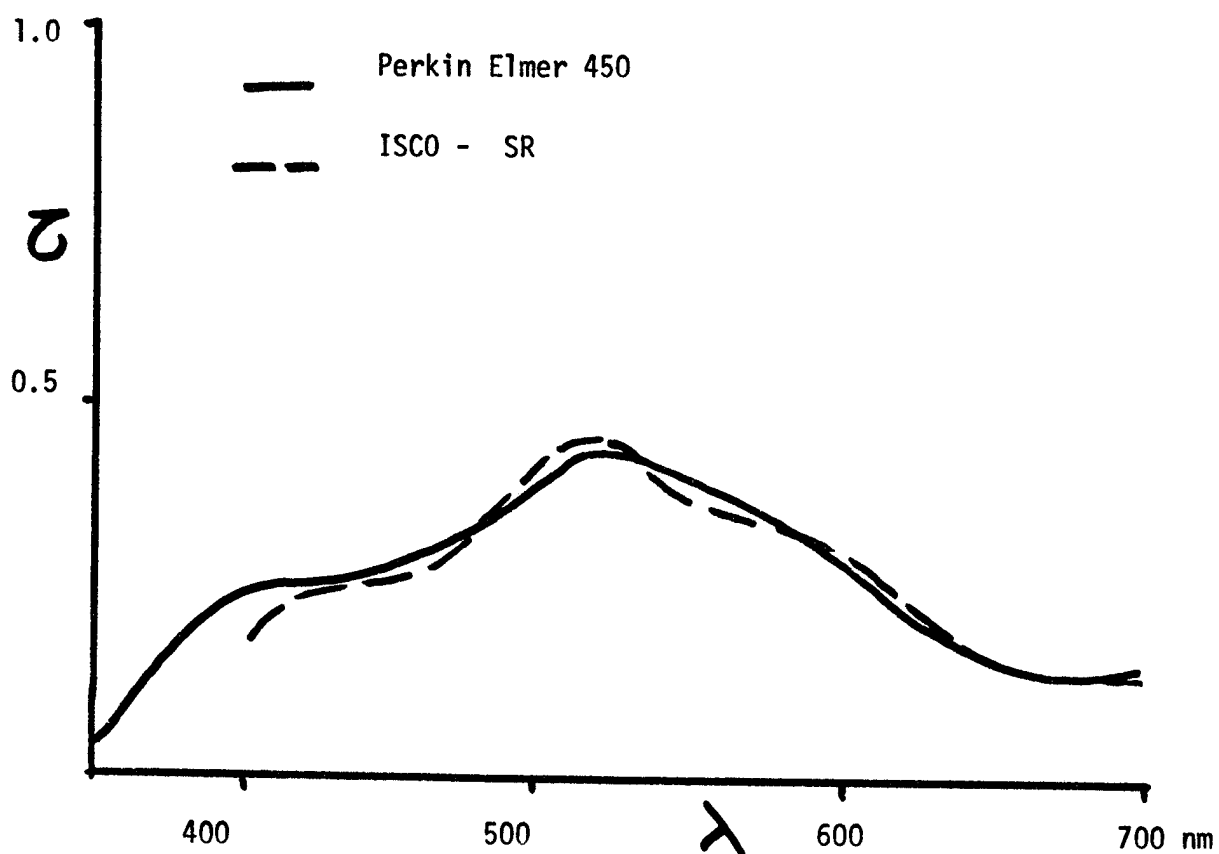


Figura 4 - Curvas de Transmitância de diapositivos em filme IV Falsa Cor da Zona mineralizada do Morro da Maura, Vazante (MG)

modelo SR ISCO fornece a intensidade luminosa espectral em $\text{Watt/cm}^2 \mu$. A transmitância espectral é obtida dividindo o valor obtido pela intensidade da fonte no mesmo comprimento de onda. A figura 4 mostra a curva de transmitância fornecida pelo modelo 450 e a curva, para o mesmo alvo, plotada a partir dos dados do modelo SR ISCO. Devido à quase perfeita coincidência (diferenças sempre menores que 2%) pode-se usar indiferentemente um ou outro aparelho. Preferiu-se, para a maioria das medidas, o uso do modelo SR por ser de manejo fácil e resultados, em dados numéricos, passíveis de manuseio pelo computador.

No modelo SR ISCO foi usada lâmpada de tungstênio a 2800°C , estando a fibra ótica sensível a 10 cm da fonte e a 6 cm da transparência. Com a finalidade de limitar o campo de medida foi colocada máscara com abertura de 3 x 3 mm. A área sensível de medida correspondeu portanto a uma área no terreno igual a 45 x 45 m para as transparências na escala 1:15000 e a 90 x 90 m para a escala 1:30000. As medidas foram feitas em 22 alvos diversos, abaixo relacionados, sempre para os filmes Ektachrome MS Aerographic e Aerochrome IR (falsa cor).

ALVO

DESCRIÇÃO E ESCALA

1-2-3-4-5

Zona mineralizada do Morro da Maura caracterizada por afloramentos de rocha, ausência de vegetação arbustiva ou de árvores, solo pouco espesso e predomínio de gramíneas; escala 1:15000.

ALVO	DESCRIÇÃO E ESCALA
6-7	Mesmo alvo que o anterior, na escala 1:30000.
8-10	Folhelhos cobertos exclusivamente por gramíneas; escala 1:15000.
9	Solo aluvionar junto ao arroio Santa Catarina, coberto por gramíneas; escala 1:15000.
11-13	Folhelhos cobertos exclusivamente por gramíneas; escala 1:30000.
14-17-18	Cerrado sobre solo calcário; escala 1:15000.
15-16-19	Cerrado sobre solo de folhelhos formando mata ciliar; escala 1:15000.
20-21-22	Cerrado sobre solo calcário; escala 1:30000.

O cálculo dos coeficientes tricromáticos foram feitos por computador usando programa "cor" desenvolvido por Getúlio Teixeira Batista e Carlos Vicente Barbieri Palestino do SERE.

Especial referência é feita aqui aos pesquisadores Antônio Eduardo Costa Pereira e Fernando Martin que operaram o espectrofotômetro Perkin Elmer e deram valiosas sugestões sobre a interpretação das curvas.

ANÁLISE DOS RESULTADOS

Nas tabelas I e II estão listados os resultados obtidos na análise de 22 amostras de cor para os filmes Ektachrome MS Aerographic e Aerochrome IR (falsa cor). O comprimento de onda dominante, pureza e brilho foram obtidos pelo cálculo, embora os dois primeiros sejam também representativos nos diagramas de cromaticidade das figuras 9 e 10.

A variação da transmitância com a altura de vôo pode ser avaliada nas figuras 5 e 6, nas quais, para efeito de comparação, estão desenhadas as curvas correspondentes a um alvo e filme em diferentes escalas. Com o aumento de altura do vôo verifica-se que:

- 1) a transmitância diminui;
- 2) há uma forte tendência da cor se deslocar para o azul, fato explicado pela maior espessura de atmosfera a ser atravessada pela radiação até atingir o sensor.

Nas figuras 7 e 8 estão representadas as curvas de transmitância para os diferentes alvos analisados, estando constantes filme e escala. Nota-se uma diminuição de transmitância com o aumento de vegetação ou espessura de solo; é maior na zona mineralizada e menor no cerrado. As diferenças são mais marcantes no filme falsa cor e na banda 520 a 530 nm há um máximo de transmitância e maior discriminação dos alvos.

Tabela I - Resultado da análise de cor de transparências em filme Ektachrome de Vazante (MG)

I	I	COEFICIENTES TRICROMATICOS	I	COMP, DE ONDA DOMINANTE	I	PUREZA (%)	I	BRILHO(%)	I
I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
I 1	I	X=.3393	Y=.3559	Z=.3047	I	575.	I	18.	I
I 2	I	X=.3236	Y=.3498	Z=.3266	I	565.	I	12.	I
I 3	I	X=.3354	Y=.3537	Z=.3110	I	570.	I	16.	I
I 4	I	X=.3316	Y=.3509	Z=.3173	I	570.	I	15.	I
I 5	I	X=.3376	Y=.3555	Z=.3069	I	575.	I	18.	I
I 6	I	X=.3091	Y=.3002	Z=.3907	I	555.	I	6.	I
I 7	I	X=.3109	Y=.3137	Z=.3754	I	550.	I	1.	I
I 8	I	X=.3472	Y=.3697	Z=.2832	I	575.	I	24.	I
I 9	I	X=.3478	Y=.3486	Z=.3036	I	580.	I	19.	I
I 10	I	X=.3407	Y=.3596	Z=.2997	I	575.	I	20.	I
I 11	I	X=.3028	Y=.3007	Z=.3965	I	440.	I	5.	I
I 12	I	X=.3200	Y=.3194	Z=.3606	I	595.	I	3.	I
I 13	I	X=.3005	Y=.2918	Z=.4077	I	565.	I	8.	I
I 14	I	X=.3271	Y=.3663	Z=.3066	I	565.	I	18.	I
I 15	I	X=.3019	Y=.3692	Z=.3289	I	540.	I	12.	I
I 16	I	X=.3300	Y=.3803	Z=.2897	I	565.	I	23.	I
I 17	I	X=.3046	Y=.3602	Z=.3352	I	545.	I	11.	I
I 18	I	X=.3173	Y=.3648	Z=.3180	I	560.	I	15.	I
I 19	I	X=.3107	Y=.3699	Z=.3195	I	550.	I	14.	I
I 20	I	X=.2586	Y=.2694	Z=.4720	I	480.	I	25.	I
I 21	I	X=.2574	Y=.2773	Z=.4653	I	480.	I	23.	I
I 22	I	X=.2977	Y=.3015	Z=.4008	I	475.	I	7.	I

Tabela II - Resultado da análise de cor de transparências em filme IV falsa cor de Vazante (MG)

[illegible]

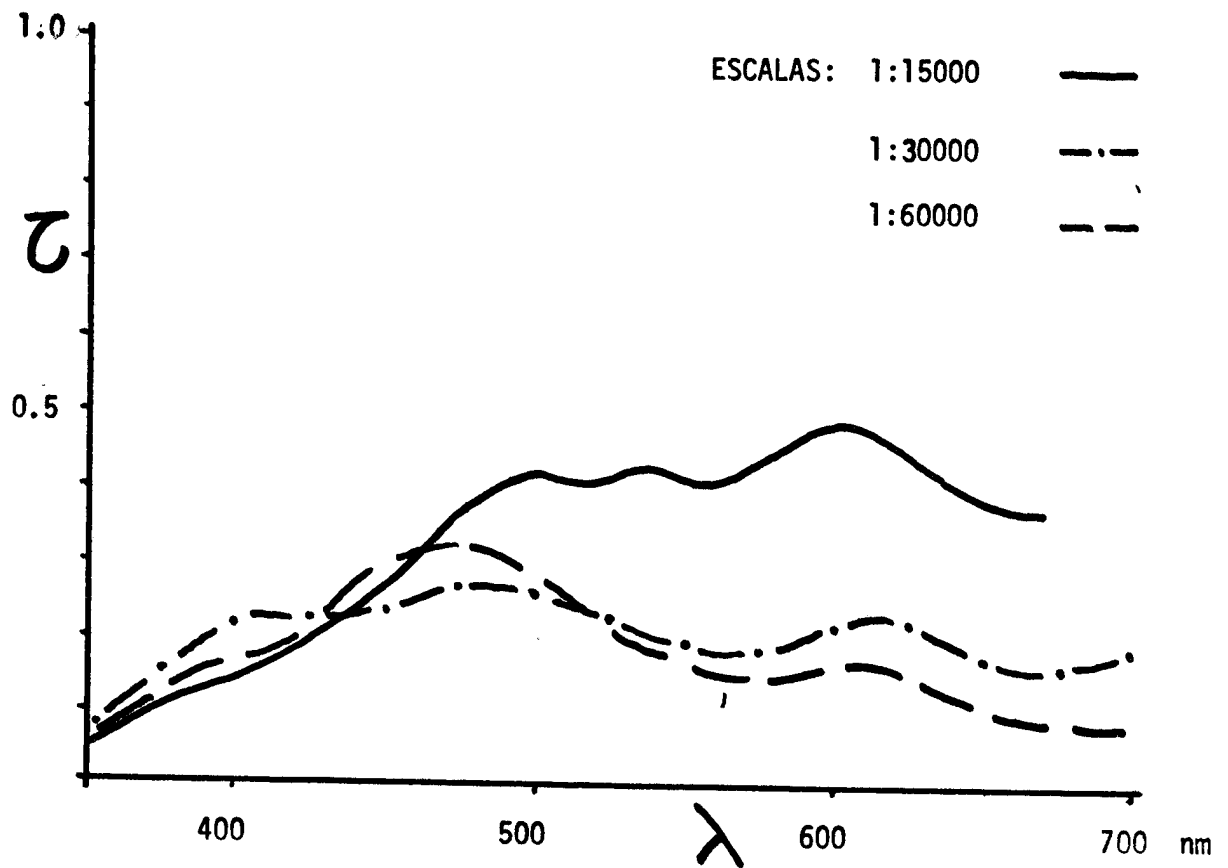


Figura 5 - Curvas de Transmitância de diapositivos em filme Ektachrome da zona mineralizada no Morro da Maura, Vazante (MG)

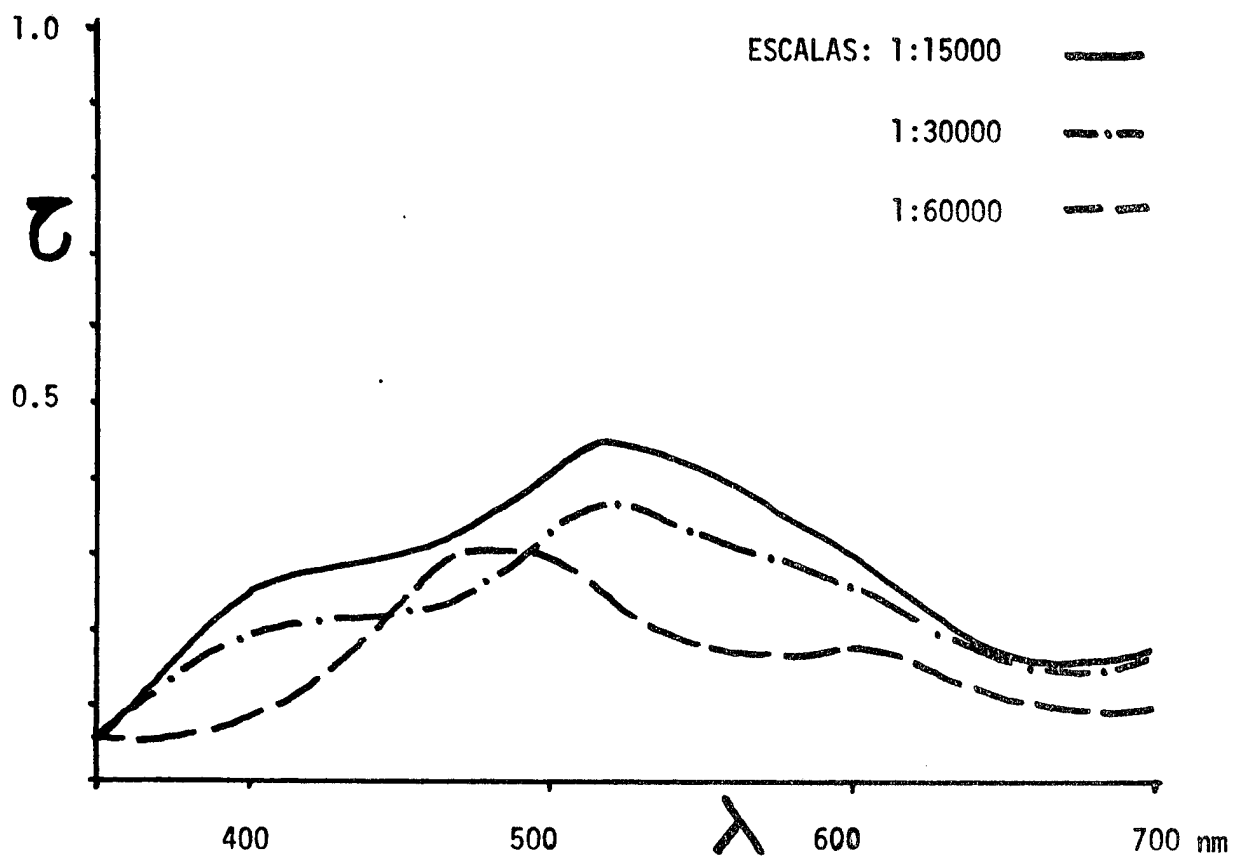


Figura 6 - Curvas de Transmitância de diapositivos em filme IV falsa cor da zona mineralizada no Morro da Maura, Vazante (MG)

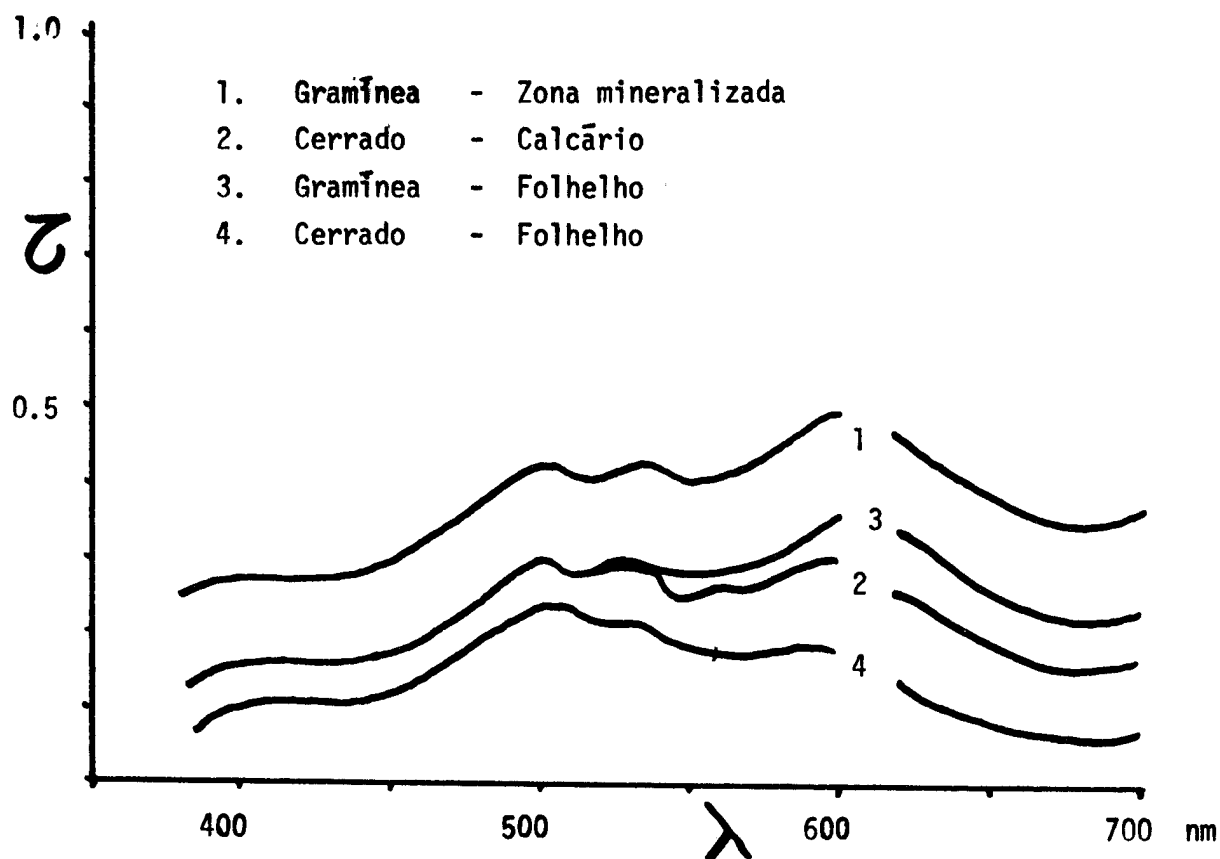


Figura 7 - Curvas de transmitância de diapositivos em filme Ektachrome na escala 1:15000 da região de Vazante (MG)

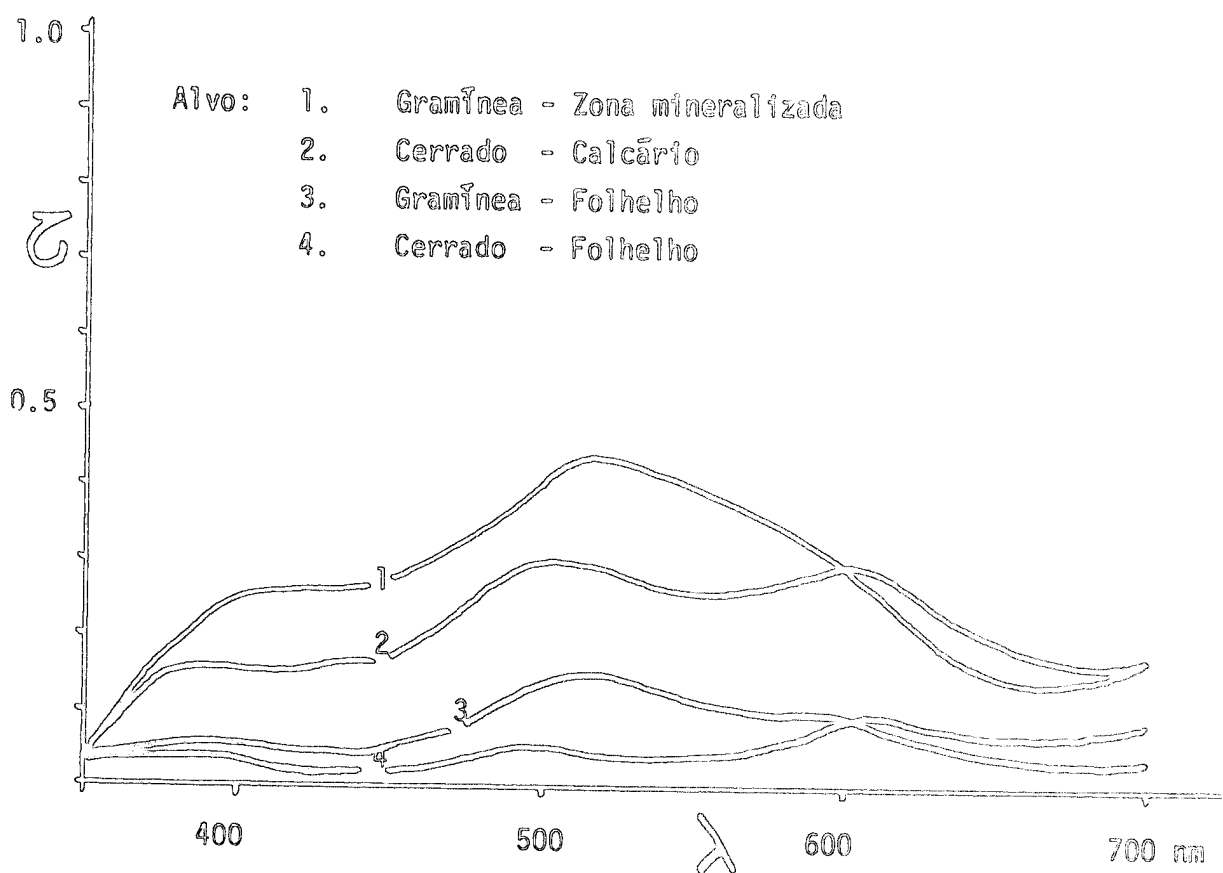


Figura 8 - Curvas de transmitância de diapositivos em filme IV Falsa Cor na escala 1:15000 da região de Vazante (MG)

O diagrama de cromaticidade da figura 9 permite concluir que não é possível, com filme Ektachrome, a separação efetiva entre zona mineralizada e estéril; há um agrupamento por escala, mostrando mais uma vez o observado nas curvas de transmitância. A discriminação dos diversos alvos, principalmente da zona mineralizada, que é o maior interesse, é possível com filme Aerochrome IR (falsa cor), como está evidente no diagrama da figura 10. Os alvos podem ser separados em três grupos nos quais o comprimento de onda dominante é:

- 1) 515 a 540 nm - zona mineralizada
- 2) 545 a 555 nm - gramíneas sobre rocha estéril
- 3) 565 a 595 nm - cerrado.

SUMÁRIO

Transmitância espectral na faixa do visível de alvos selecionados de Vazante foi medida em filme Ektachrome MS Aerographic e filme Aerochrome IR (falsa cor). As transparências foram obtidas na época das secas nas escalas 1:15000, 1:30000, 1:60000 e 1:90000 e as medidas feitas nos espectrofotômetros modelo 450 Perkin Elmer e modelo SR ISCO.

A transmitância dos diapositivos diminui com o aumento da altura de vôo e a cor se desloca para o azul. A discriminação de rocha mineralizada de rocha estéril somente é possível no filme Aerochrome IR (falsa cor) e na escala 1:30000 ou maior. A diferença de cor é devida principalmente a gramíneas características da faixa mineralizada (*Heteropogon villosus* Nees).

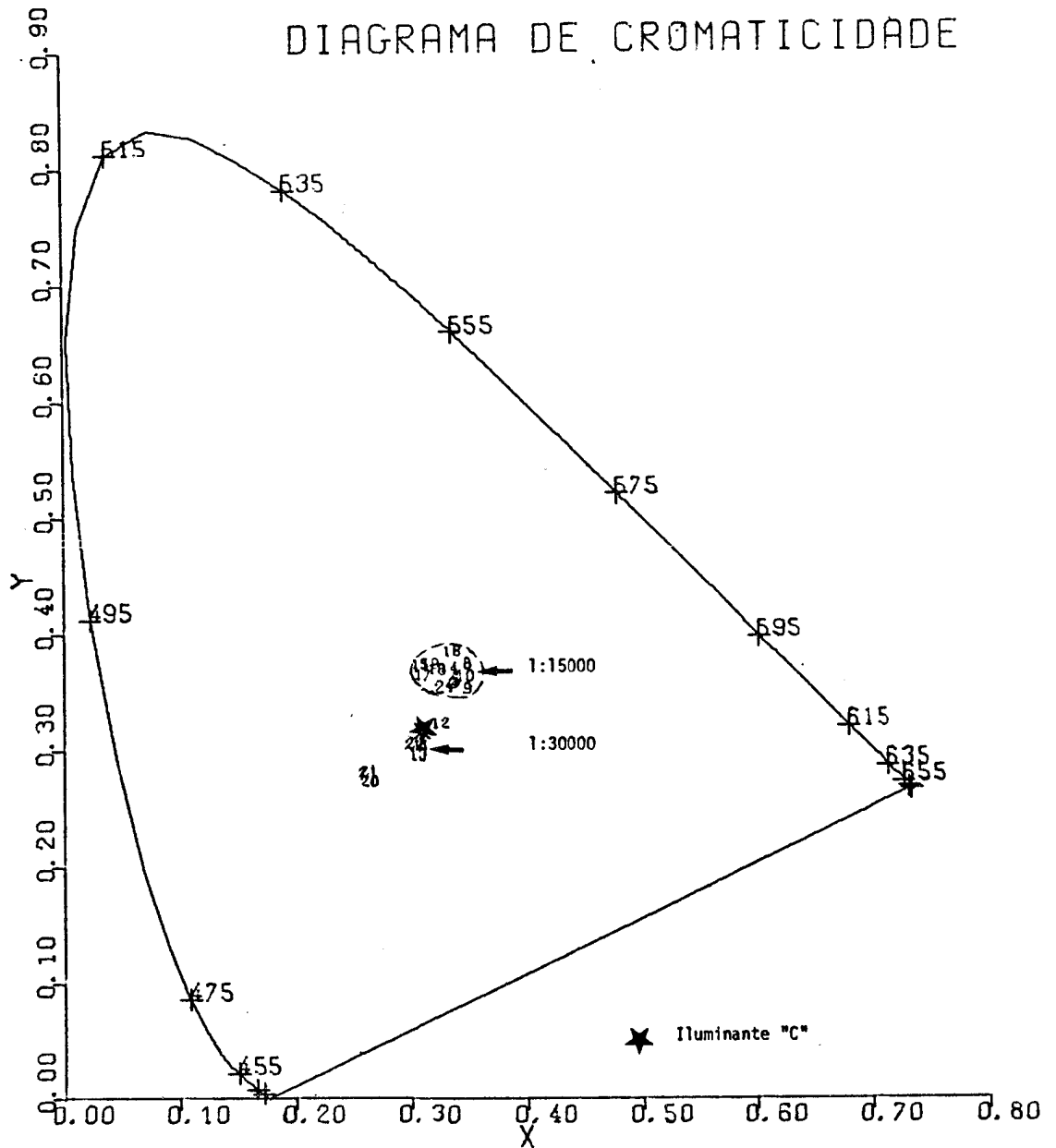


Figura 9 - Diagrama de Cromaticidade de cores de transparências em filme Ektachrome de Vazante (MG)

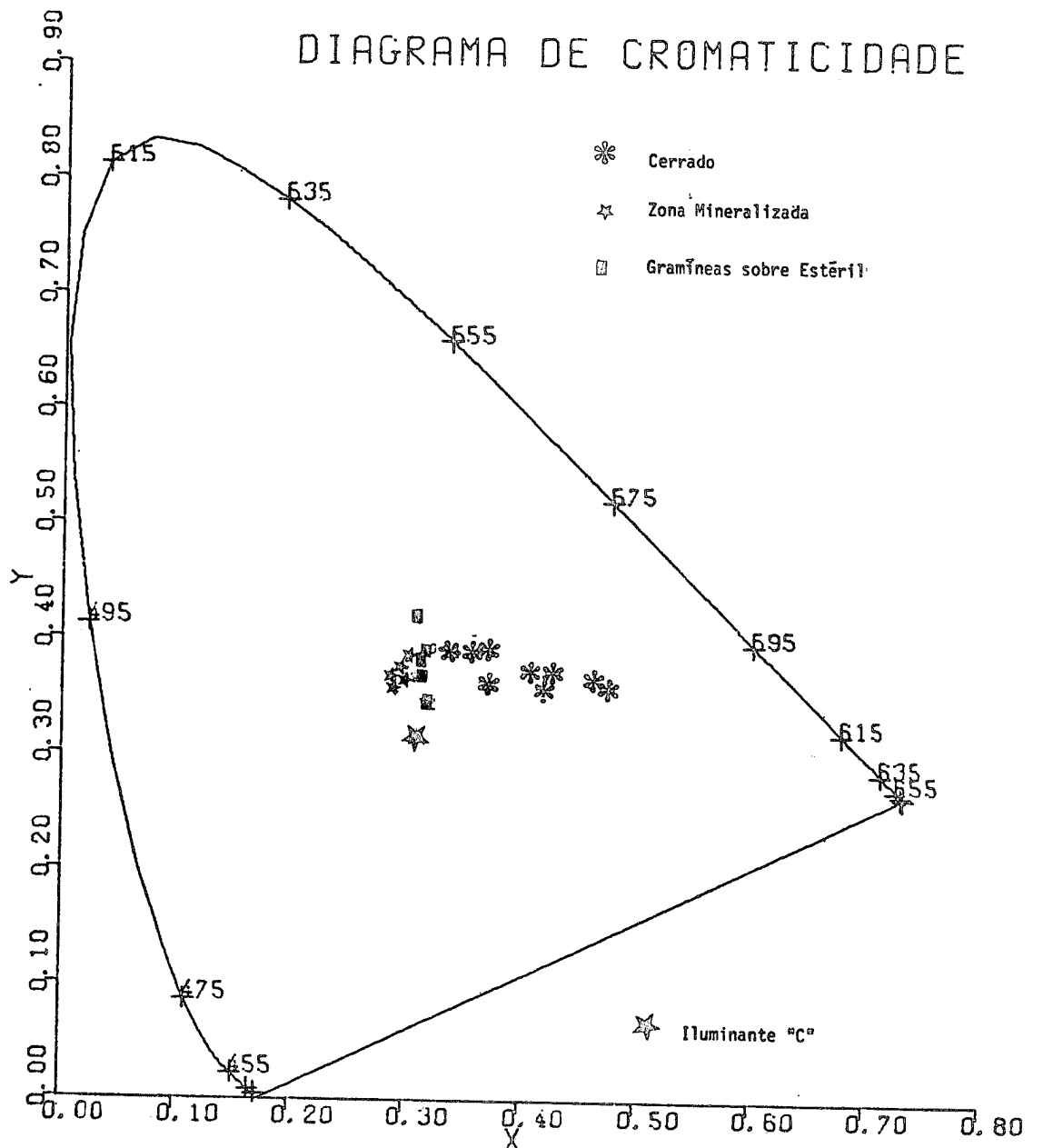


Figura 10 - Diagrama de Cromaticidade de cores de transparências em filme IV Falsa Cor de Vazante (MG)

BIBLIOGRAFIA

- AMARAL, Gilberto. - *Geologia e depósitos de minério da região de Vazante, Estado de Minas Gerais*. Tese de doutoramento. São Paulo, Universidade de São Paulo, 103 p., 1968.
- BILLMEYER JR, Fred & SALTZMAN, Max. - *Principles of color technology*. New York, John Wiley, 181 p., 1966.
- BRANCO, José Jaime R. - *Principais ocorrências de zinco em Minas Gerais*. II^a SEMANA DE ESTUDOS DE ALUMÍNIO E ZINCO. Ouro Preto, Sociedade de Intercâmbio Cultural e Estudos Geológicos. 2, p. 149-170, 1962.
- BROONER, William G. & SIMONETT, David S. - *Crop discrimination with color infrared photography: a study in Douglas County, Kansas*. REMOTE SENSING OF ENVIRONMENT. New York, 2 (1), p. 21-35, 1971.
- CANNON, Helen L. - *Botanical prospecting for ore deposits*. SCIENCE. Washington, 132 (3427), p. 591-598, 1960.
- FRITZ, Norman L. - *Optimum methods for using infrared sensitive color film*. PHOTOGRAMMETRIC ENGINEERING. Falls Church, 33 (10), p. 128-138, 1967.

HARDY, Arthur C. - *Handbook of colorimetry*. Cambridge, Massachusetts
Institute of Technology, 85 p., 1936.

LATTMAN, Lawrence H. - *Geologic interpretation of airborne infrared imagery*. PHOTOGRAMMETRIC ENGINEERING. Falls Church, 29 (1),
p. 83-87, 1963.

PEASE, Robert W. & BONDEN, Leonard W. - *Making color infrared film a
more effective high-altitude remote sensor*. REMOTE SENS-
ING OF ENVIRONMENT. New York, 1 (1), p. 23-30, 1969.

PEASE, Robert W. - *Color infrared film as a negative material*. REMOTE
SENSING OF ENVIRONMENT. New York, 1 (3), p.195-198, 1970.