



# Exploração Mineral em Terrenos Lateríticos no Brasil: Estudos de Caso

*Prof. Claudio Gerheim Porto*

*Departamento de Geologia, IGEO, UFRJ*

# Impactos das coberturas lateríticas na Exploração Mineral

## Ameaças para exploração:

- Escassez de afloramentos
- Forte modificação dos sinais geoquímicos e geofísicos

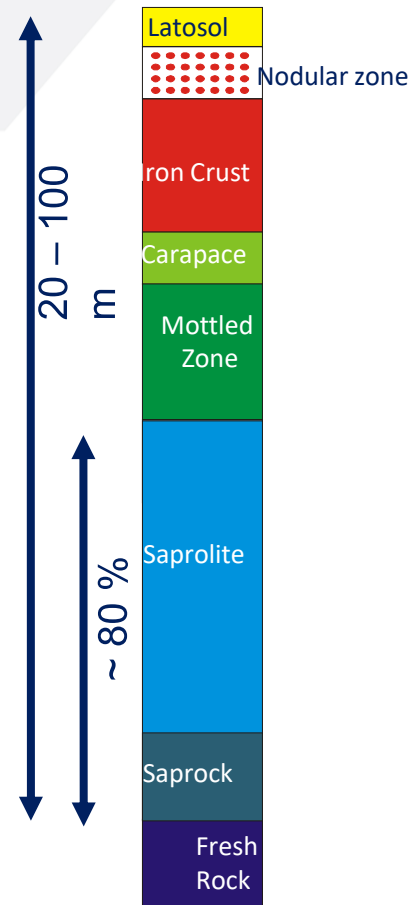
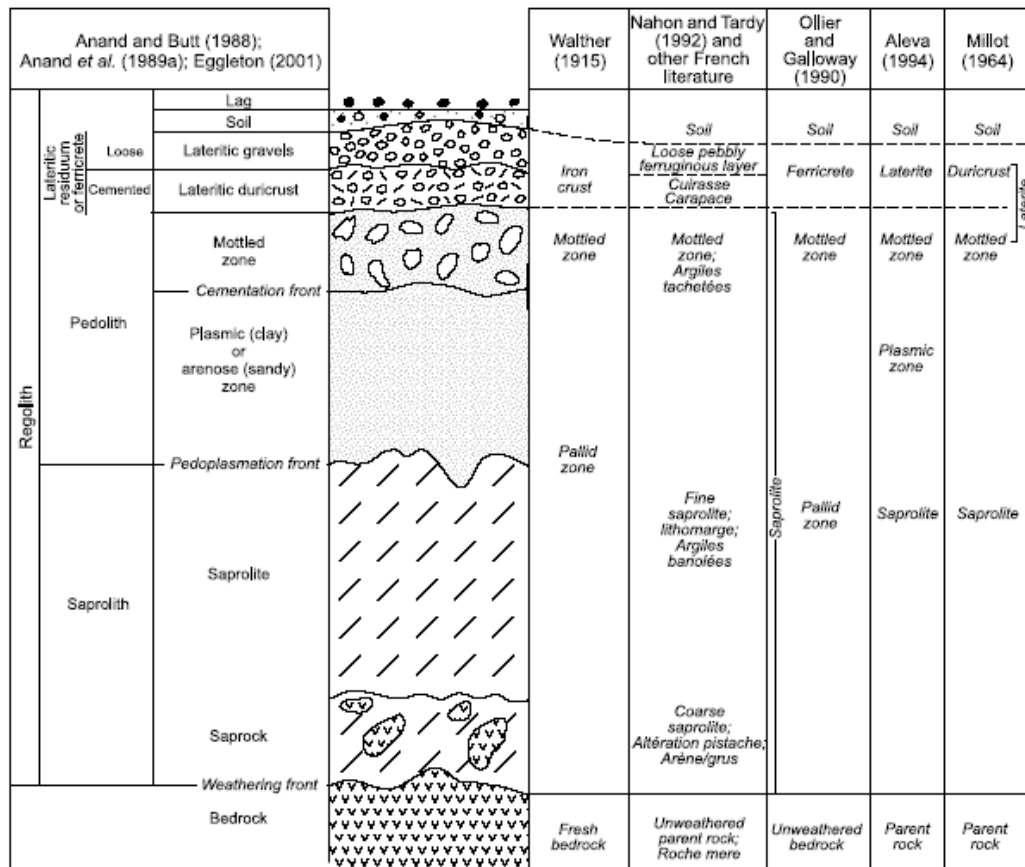


## Oportunidades para exploração:

- Halos de dispersão no regolito
- Formação de depósitos supergênicos: Ni; Fe; Mn; Nb; ETR; Ti; P; Sn; Au etc

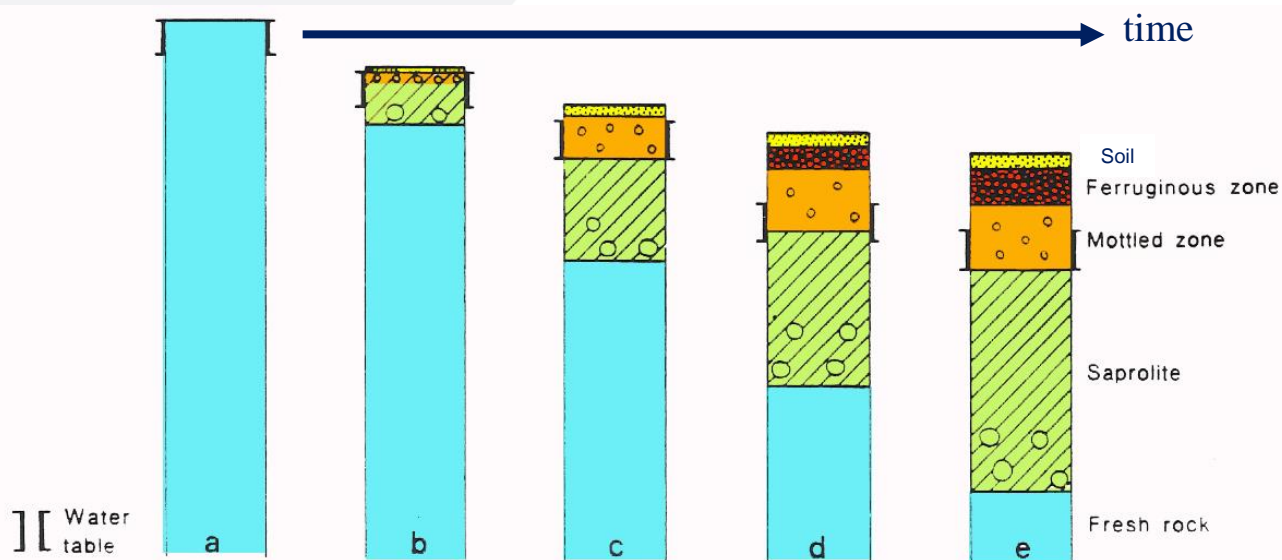


# Estratigrafia do Regolito → perfil completo



# Formação de perfis lateríticos

- ✓ Rebaixamento da superfície com horizontes superiores formando-se a partir do consumo do material subjacente
- ✓ Enriquecimento relativo do Fe: *mottles* → *nodulos* → *crosta* → *pisolitos*
- ✓ *Desidratação e endurecimento da crosta na superfície*
- ✓ *Fases agradacionais de ciclos geomorfológicos*



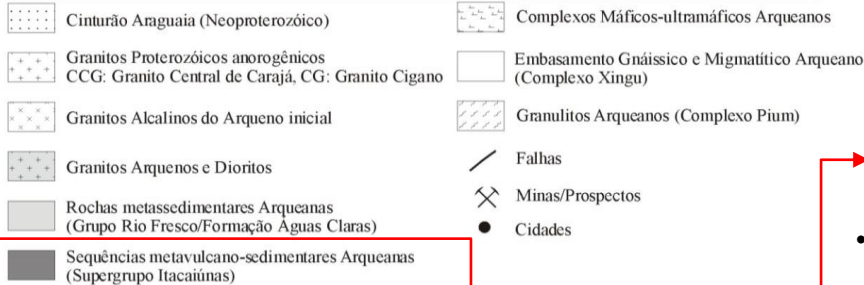
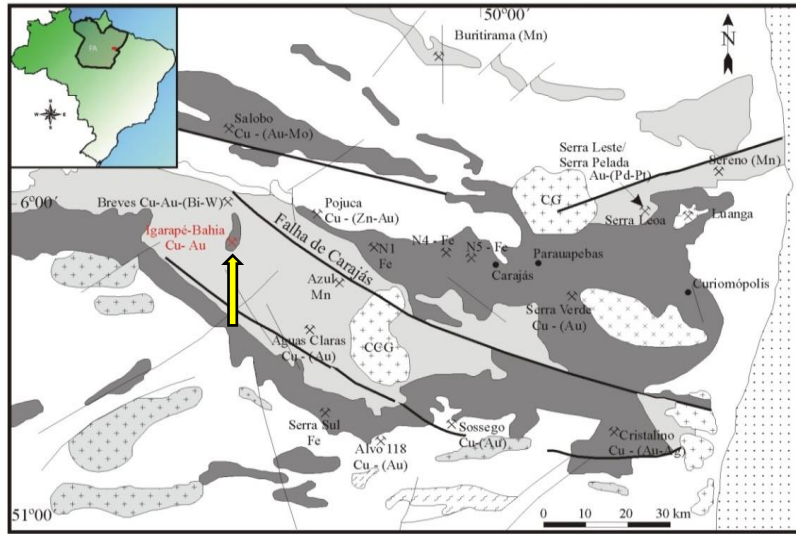
# **Dois estudos de caso jazidas de Cu–Au**

**1- Mina Igarapé Bahia Au-Cu, Carajás**

**2- Mina de Chapada Cu-Au, Goiás**

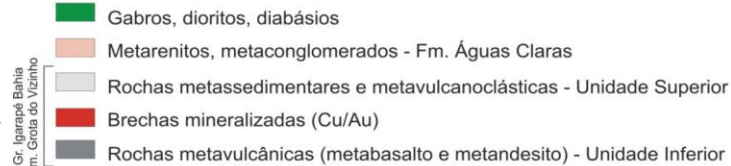
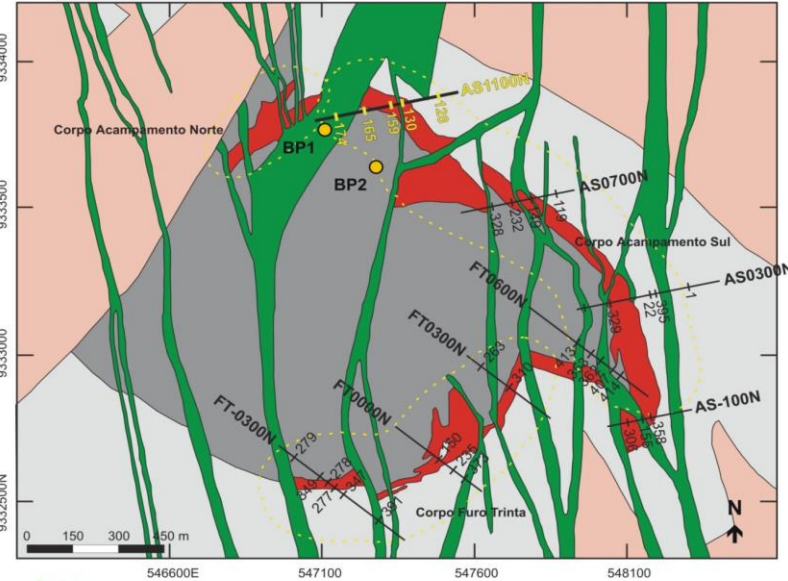


# Mina de Igarapé Bahia Carajás



## Grupo Igarapé Bahia (topo)

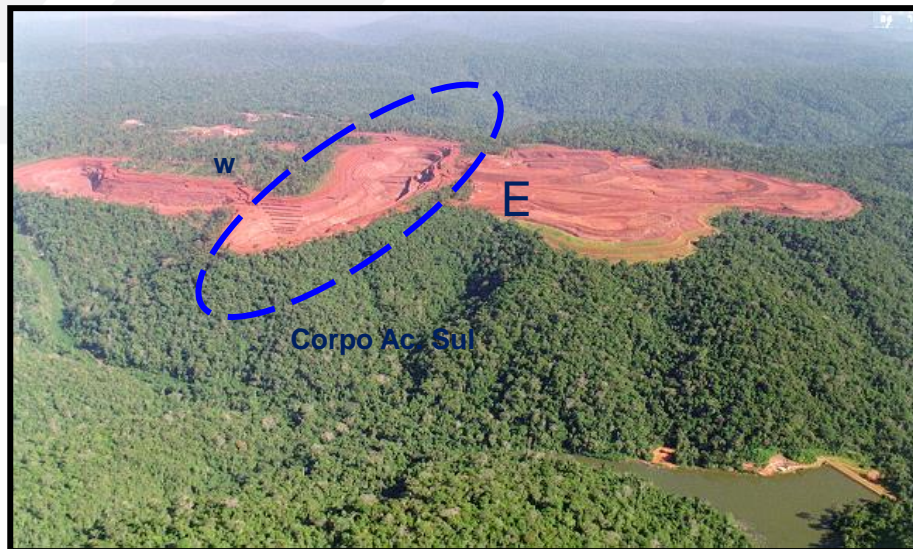
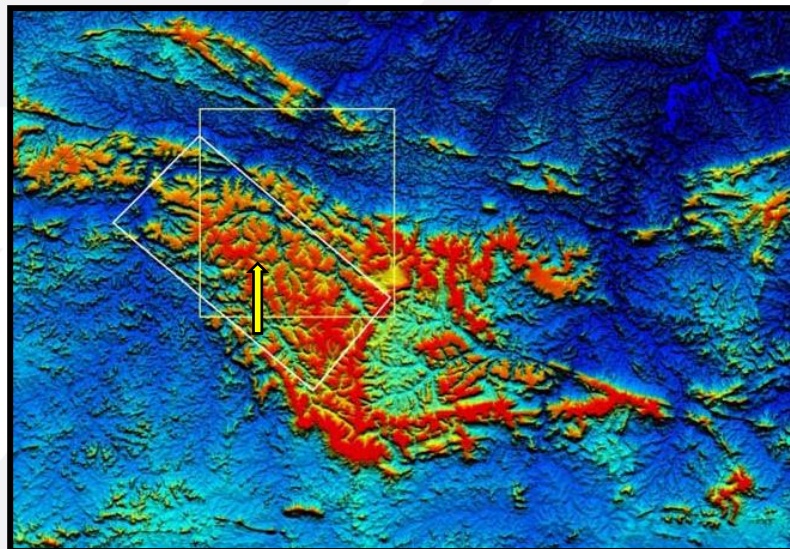
Mapa geológico simplificado da região de Carajás (Docege 1988, Araújo e Maia 1991, Barros e Barbey 1998)



- **Brechas hidrotermais: sulfetos Cu, magnetita; siderita; Clorita**
- **Fe, Mn, Ca, Cu, U, Pb, Mo, Ag, Ba, F, P, ETRL, Sn, Y, W**
- **Recursos: 210 Mt @ 1,4%Cu; 0,86gAu/t**

Mapa geológico da área do depósito Igarapé Bahia (modificado de Tallarico et al, 2000).

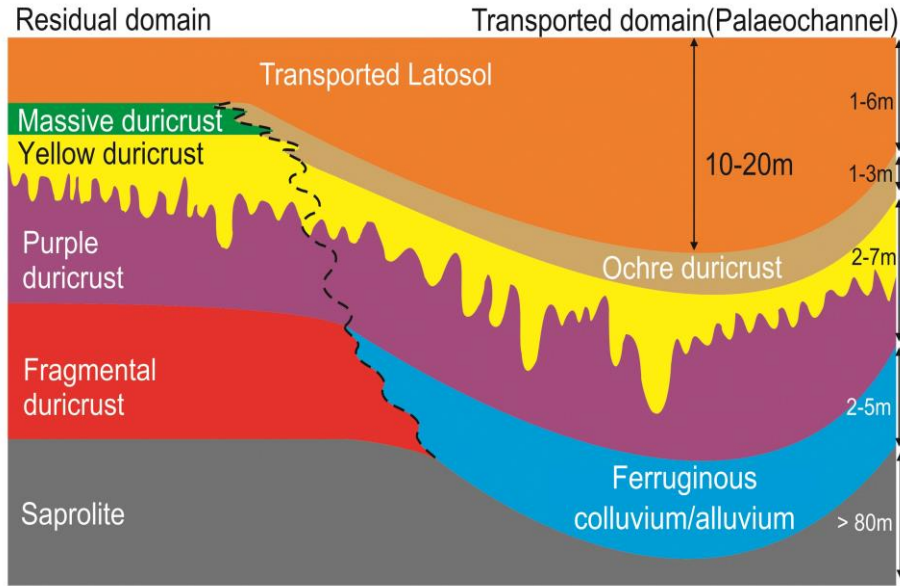
# Geomorfologia



**Plateau laterítico: Superfície Sul-Americana 750-900m - Oligoceno**  
**Baixão: Superfície Velhas 250-350m - Mioceno**



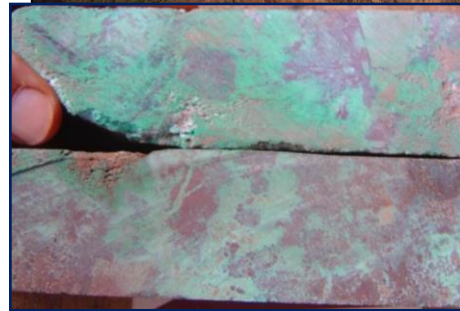
# Estratigrafia do regolito



## Corpo acampamento Sul



- Mineralização aurífera em corpos gossânicos na zona saprolítica com traços de minerais secundários de cobre e fosfatos ricos em REE e óxi-hidróxidos de Fe, Mn, caolinita, gibsitita
- Abaixo ocorre zona de cementação com Cu nativo, malaquita, azurita, calcocita, digenita, cuprita
- Reservas: 30 Mt @ ~ 3,2 gAu/t

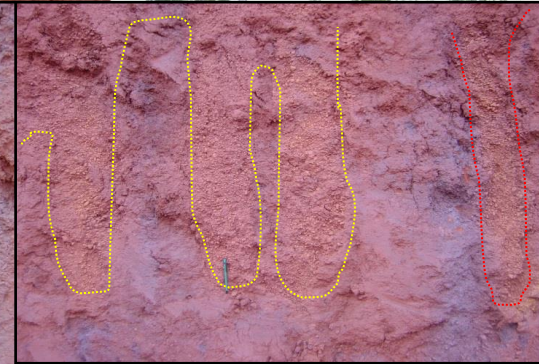
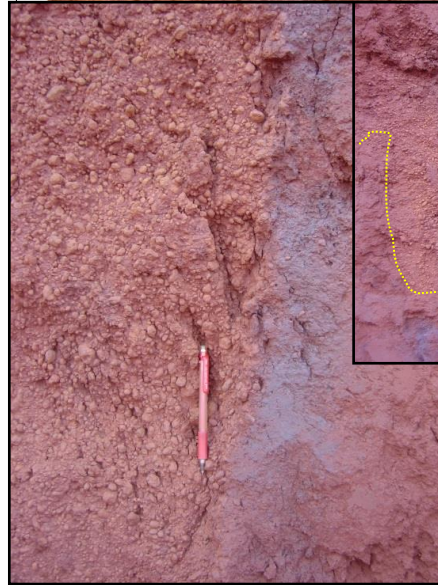
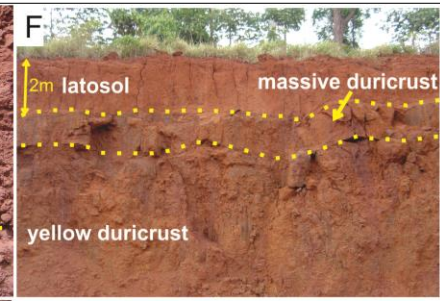
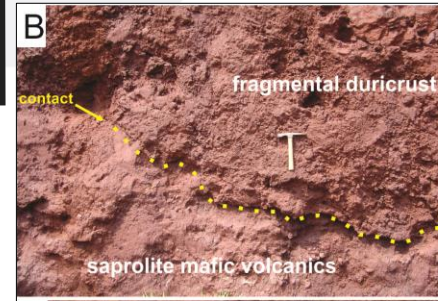




# Estratigrafia do regolito

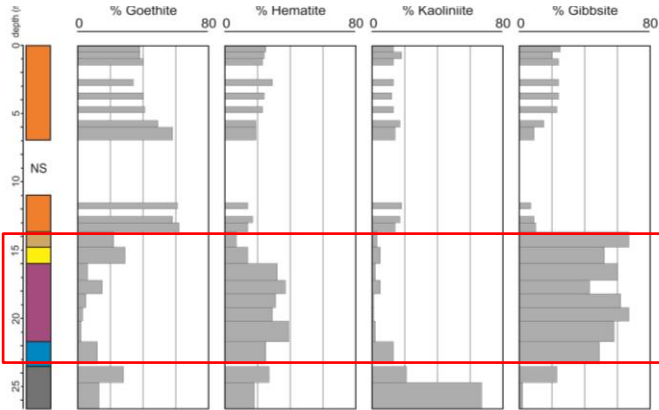
Dominio Paleocanal

Dominio Residual

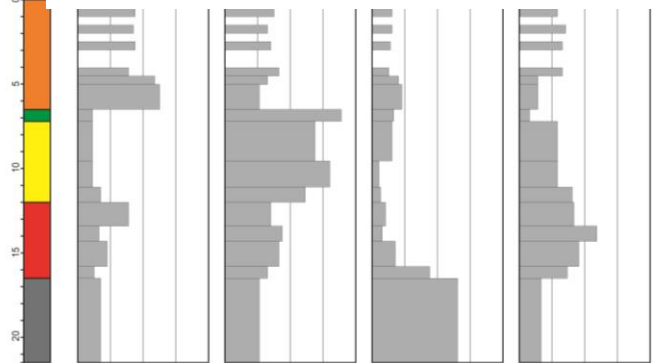


# Composição das crostas ferruginosas

## Paleocanal



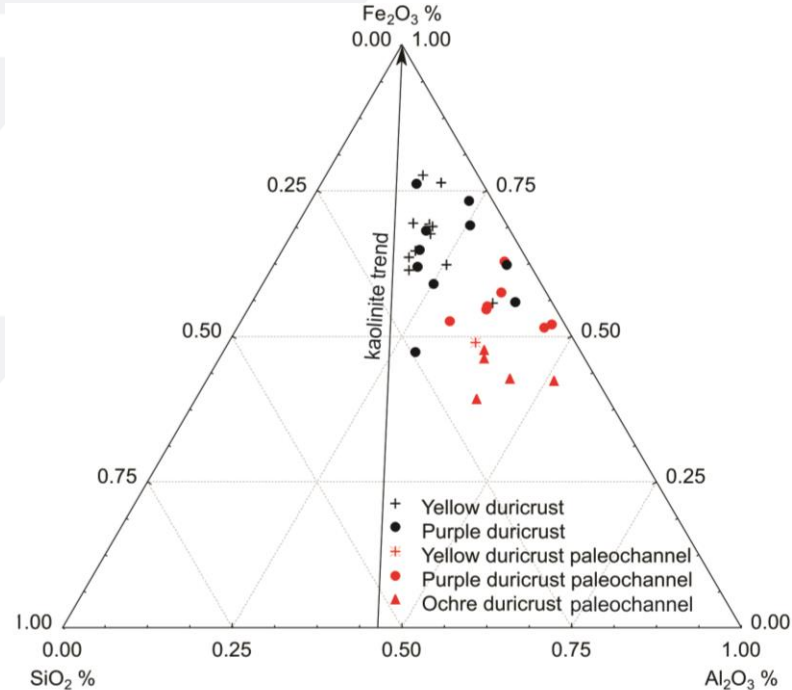
## Residual (except latosol)



Mineralogia - DRX total



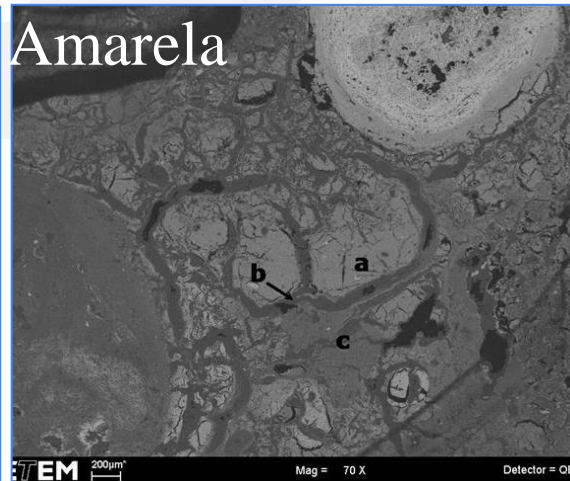
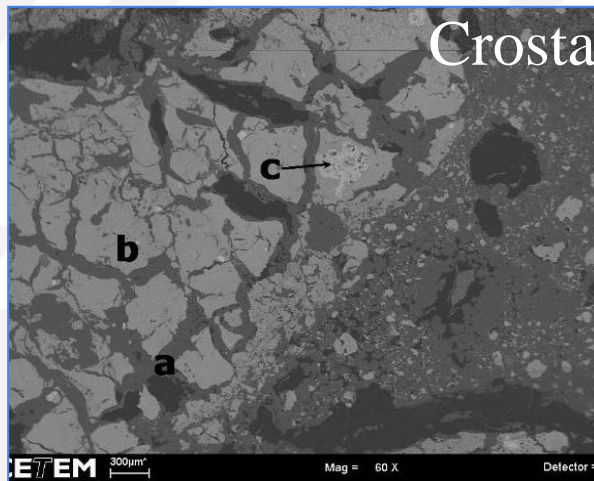
## Crostas





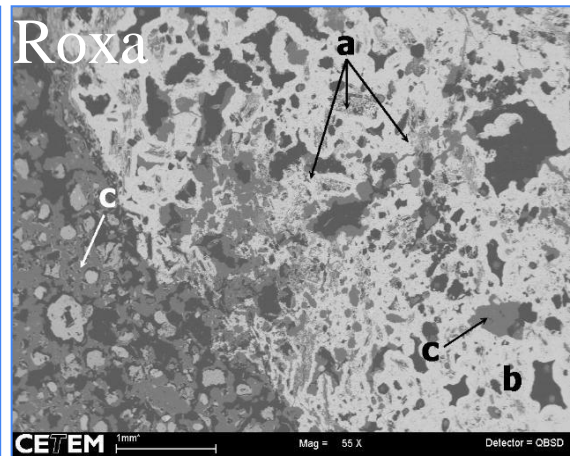
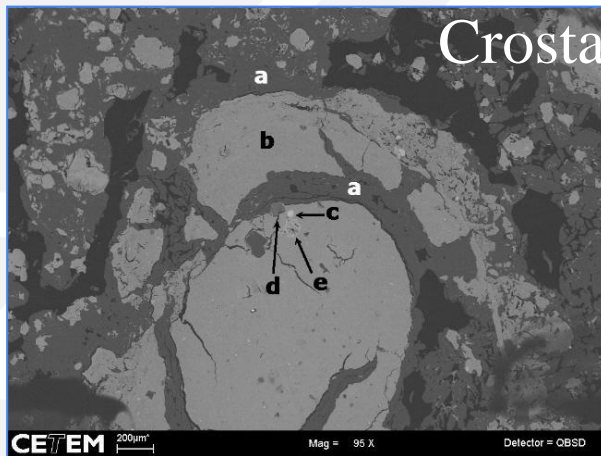
# Composição das crostas ferruginosas

(a) Gibsita preenchendo fissuras no nódulo. Não há vestígios de fabric de rocha



- a) (a) e (c) Dissolução da caolinita resultando em plasma composto por Fe-gibsita + goethita aluminosa,
- b) (b) Gibsita neoformada nas fissuras.

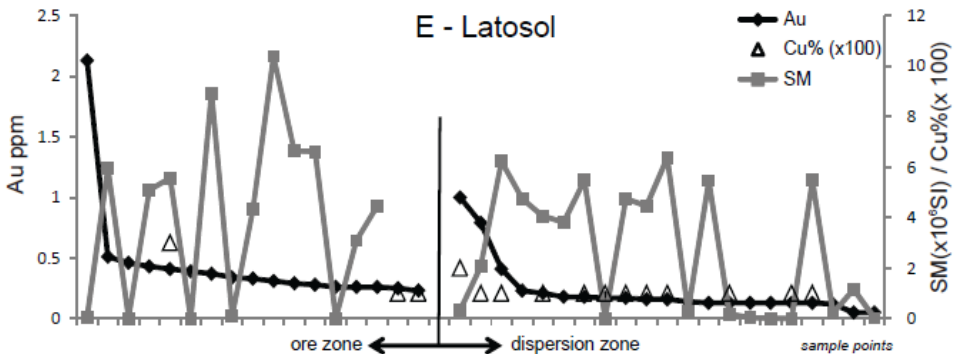
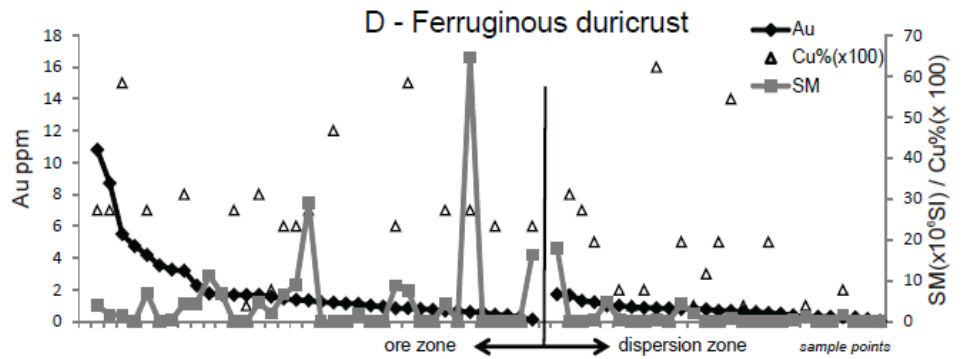
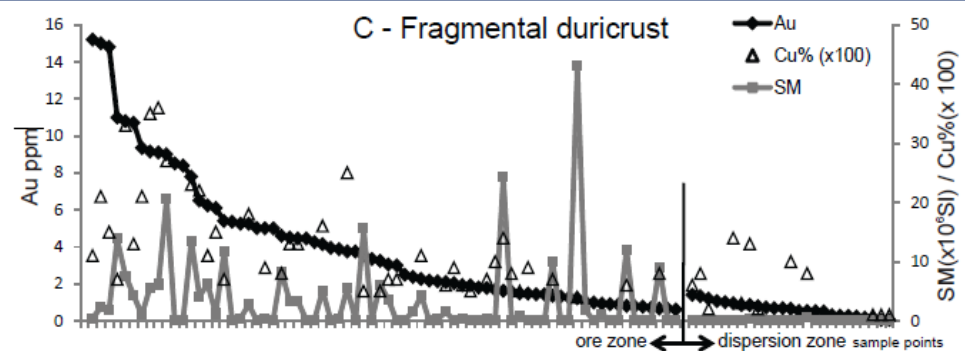
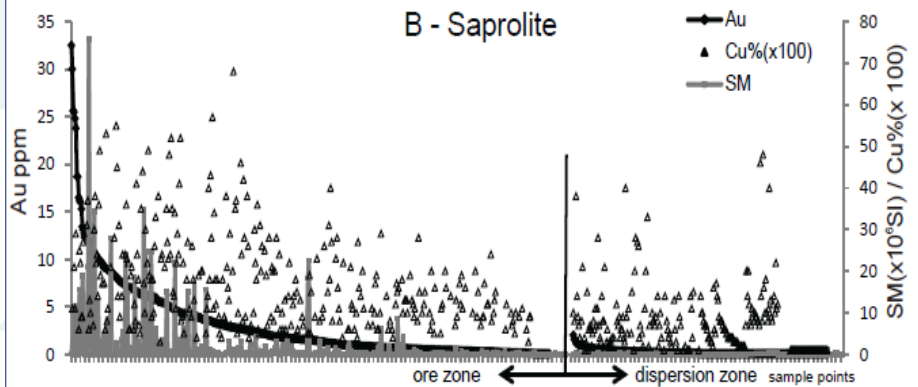
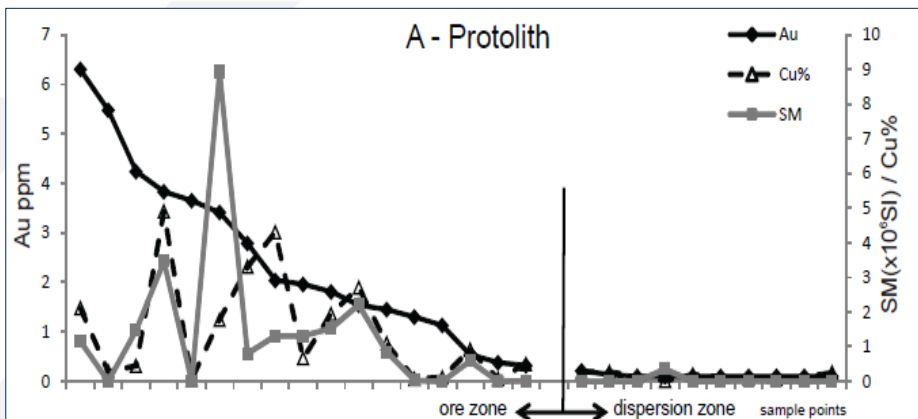
(a) Gibsita preenchendo poros e dentro dos nódulos fragmentando-os



- (a) Raros vestígios de fabric de rocha
- (b) hematita,
- (c) Gibsita.



# Domínio Residual: Distribuição do Au em relação ao Cu e susceptibilidade magnética

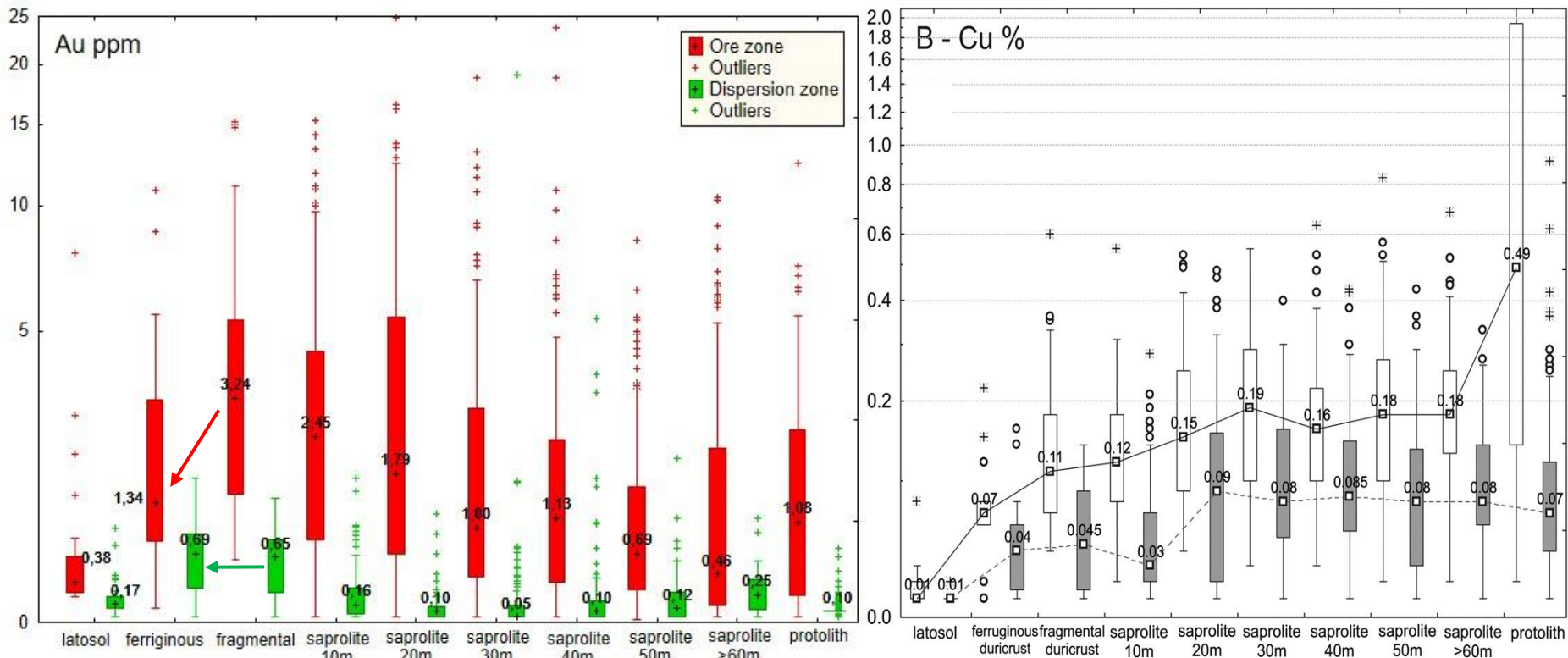


# Domínio Residual: correlações do Au

	Au correlation coefficient				
	prot	sap	frag	fer	lat
Au ppm	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Cu%	0.33	0.21	0.23	0.12	0.00
Bi ppm	0.27	0.35	-0.11	-0.06	-0.17
Ag ppm	0.42	0.43	0.18	0.19	0.47
Pb ppm	0.54	0.44	0.50	0.59	0.01
U ppm	<b>0.74</b>	<b>0.83</b>	<b>0.62</b>	<b>0.74</b>	0.24
Mo ppm	<b>0.87</b>	<b>0.65</b>	<b>0.75</b>	0.52	-0.08
Sn ppm	<b>0.85</b>	<b>0.76</b>	<b>0.62</b>	0.41	0.10
$\Sigma$ LREE	<b>0.78</b>	0.46	0.42	0.24	0.00
Sb ppm	<b>0.81</b>	0.09	-0.21	-0.12	-0.12
W ppm	<b>0.79</b>	0.52	0.59	0.45	0.20

Todo conjunto de  
crostas ferruginosas

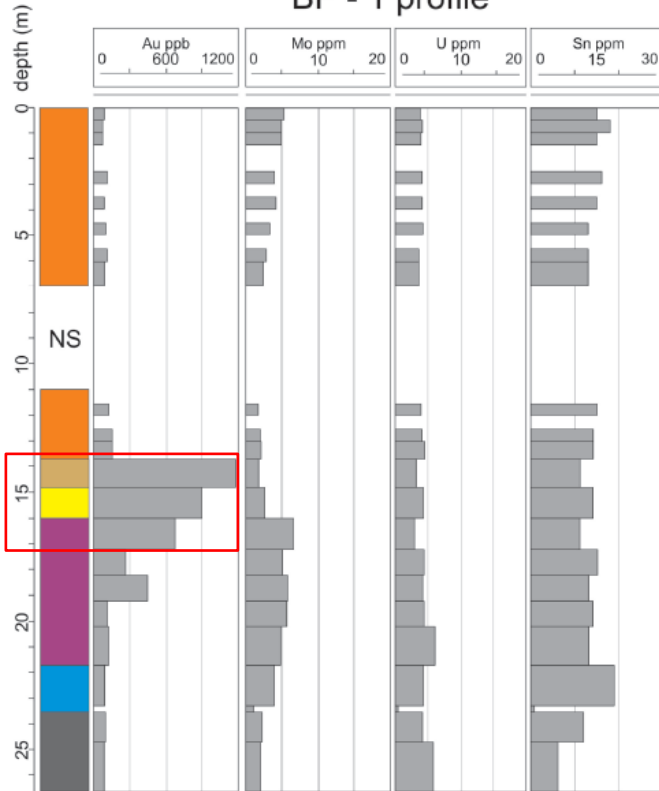
# Domínio Residual: distribuição do Au e Cu no regolito



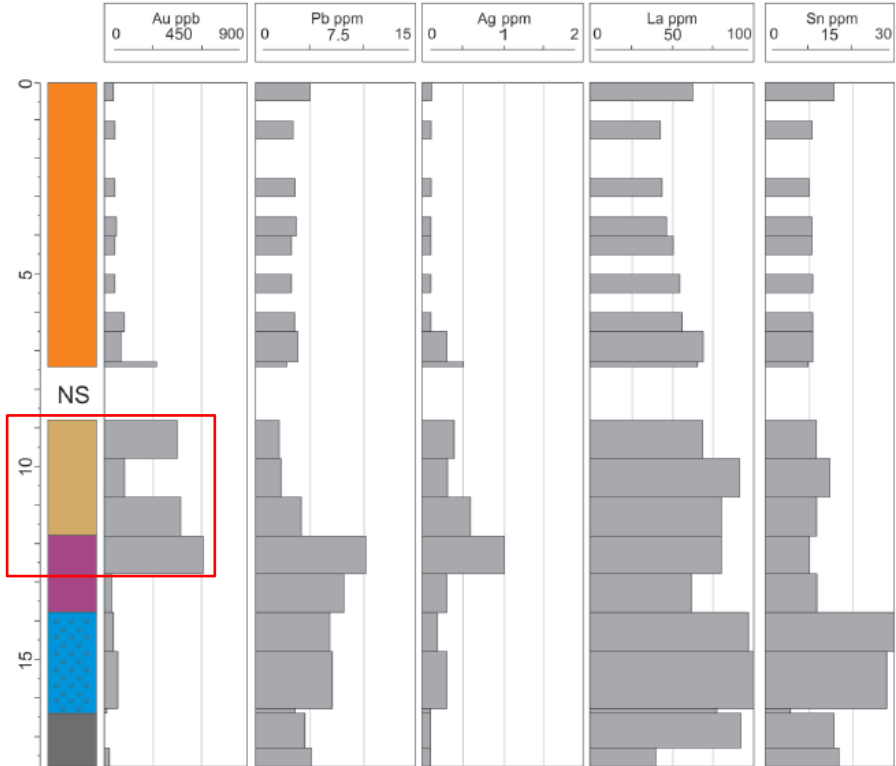


# Domínio Paleocanal: distribuição do Au no regolito

BP - 1 profile



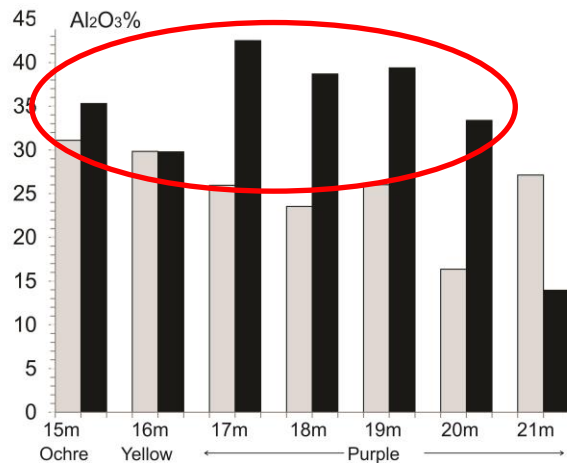
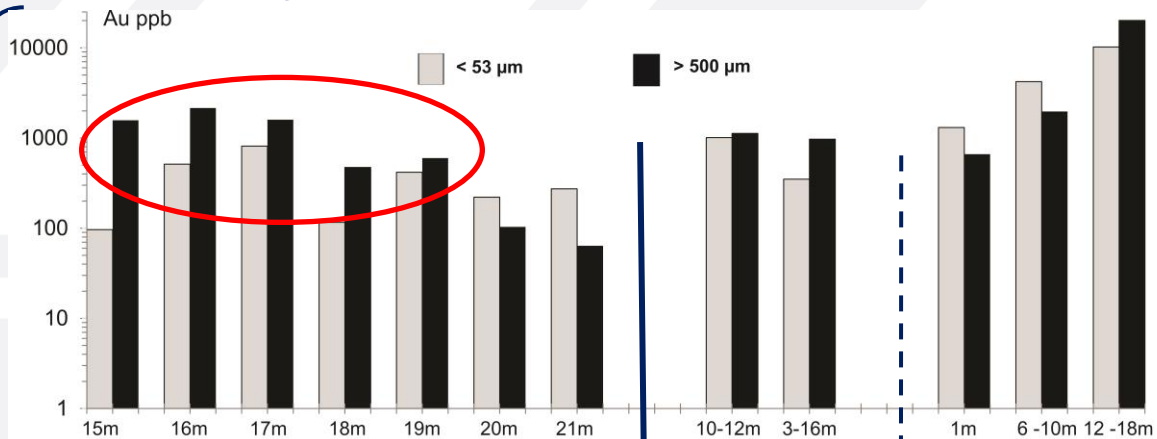
BP - 3 profile



■ latosol 
 ■ ochre duricrust 
 ■ yellow duricrust 
 ■ purple duricrust 
 ■ ferruginous sediment 
 ■ ferruginous sediment (ferricrete) 
 ■ saprolite

# Distribuição granulométrica o Au & Al

**Domínio  
Paleocanal**



**dispersion zone**

**ore zone**

**Domínio  
Residual**

10-12m  
Purple Fragmental

3-16m  
Fragmental

1m  
Purple

6-10m  
Purple

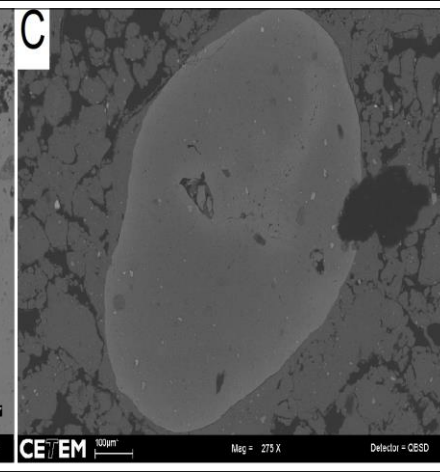
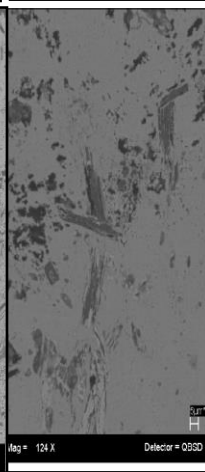
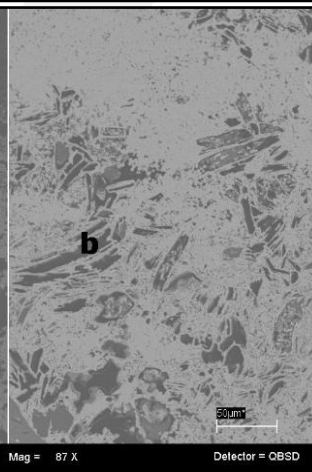
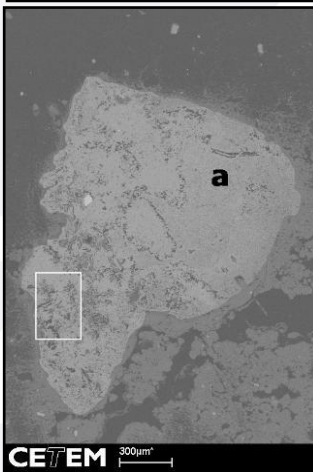
12-18m  
Fragmental

# Tipos de Lag no Latossolo



*Concreções*

*Oólitos e  
pisólitos*



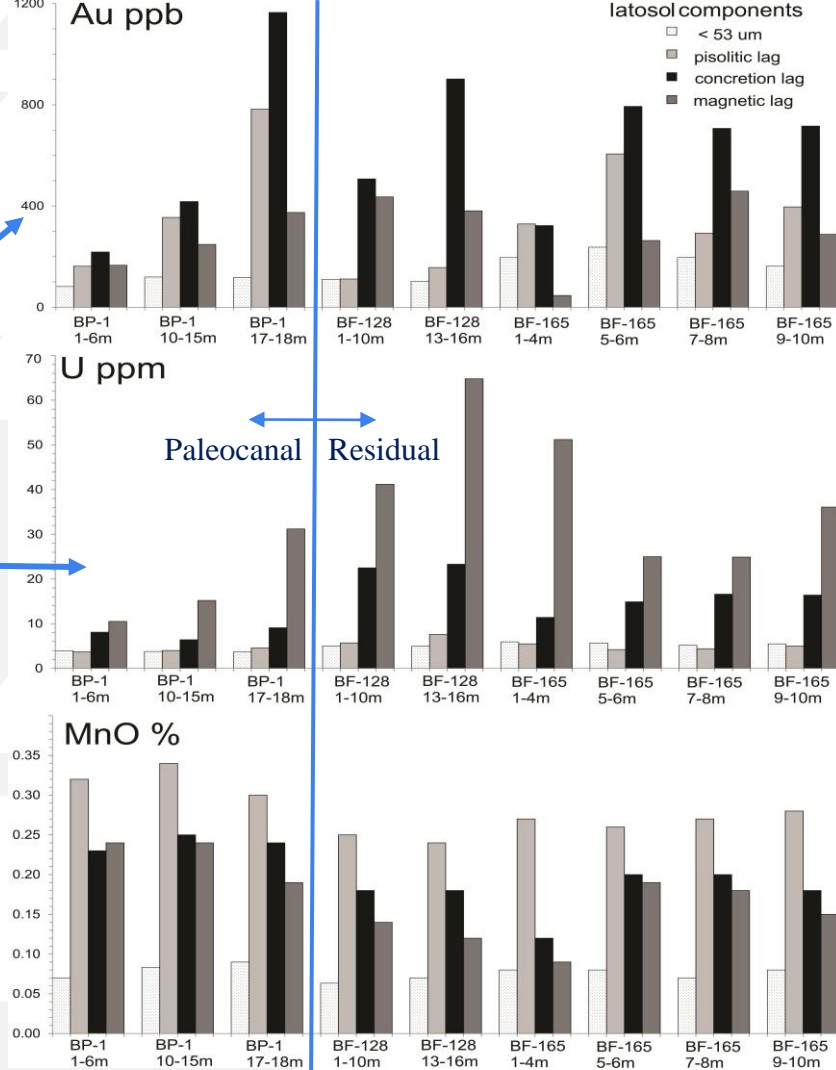


# Geoquímica do Lag

Concretion lags: highest Au grades and show relicts of saprolite fabric.

Magnetic lags: richest in U, Mo, Sn, and W (shown for U)

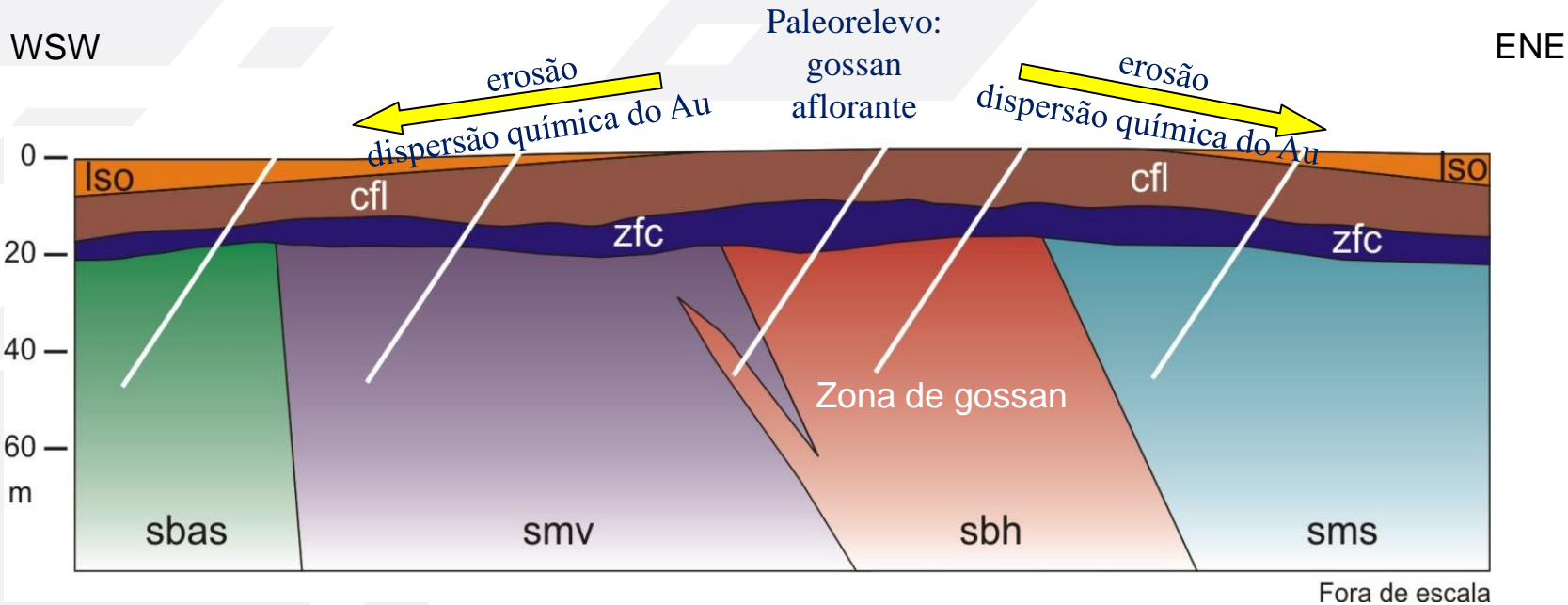
Pisolitic lags: interpreted as grown in situ within the latosol. Incorporates more mobile metals like Mn and Ag (shown for Mn)



Concretion and Magnetic lags are sourced from Au bearing duricrust and gossans originally situated upslope. and close to the ore zone and deposited, along with the clay components of the latosol: Inversão estratigráfica!

No meaningful contrast between the ore or dispersion zone or paleochannel: latosol components were widespread.

# Seção esquemática



## Zona saprolítica

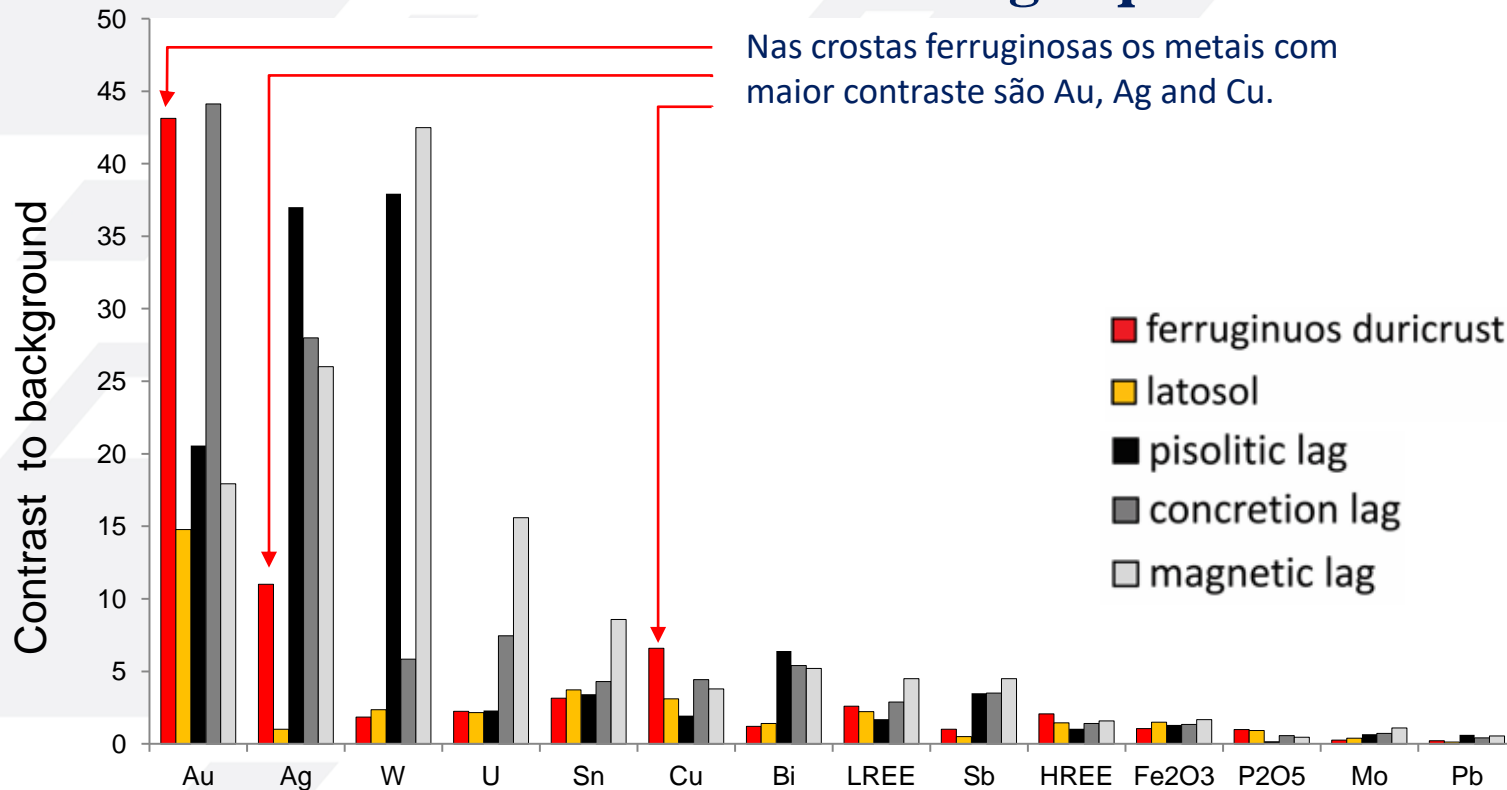
- ✓ sms: saprolito de metassiltito;
- ✓ sbh: saprolito de brecha hidrotermalizada;
- ✓ smv: saprolito de metavulcânica;
- ✓ sbas: saprolito de gabro;

## Zona ferruginosa

- ✓ zfc: crosta fragmentada
- ✓ cfl: crostas ferruginosa
- ✓ Iso: latossolo

# Padrões de contraste geoquímico

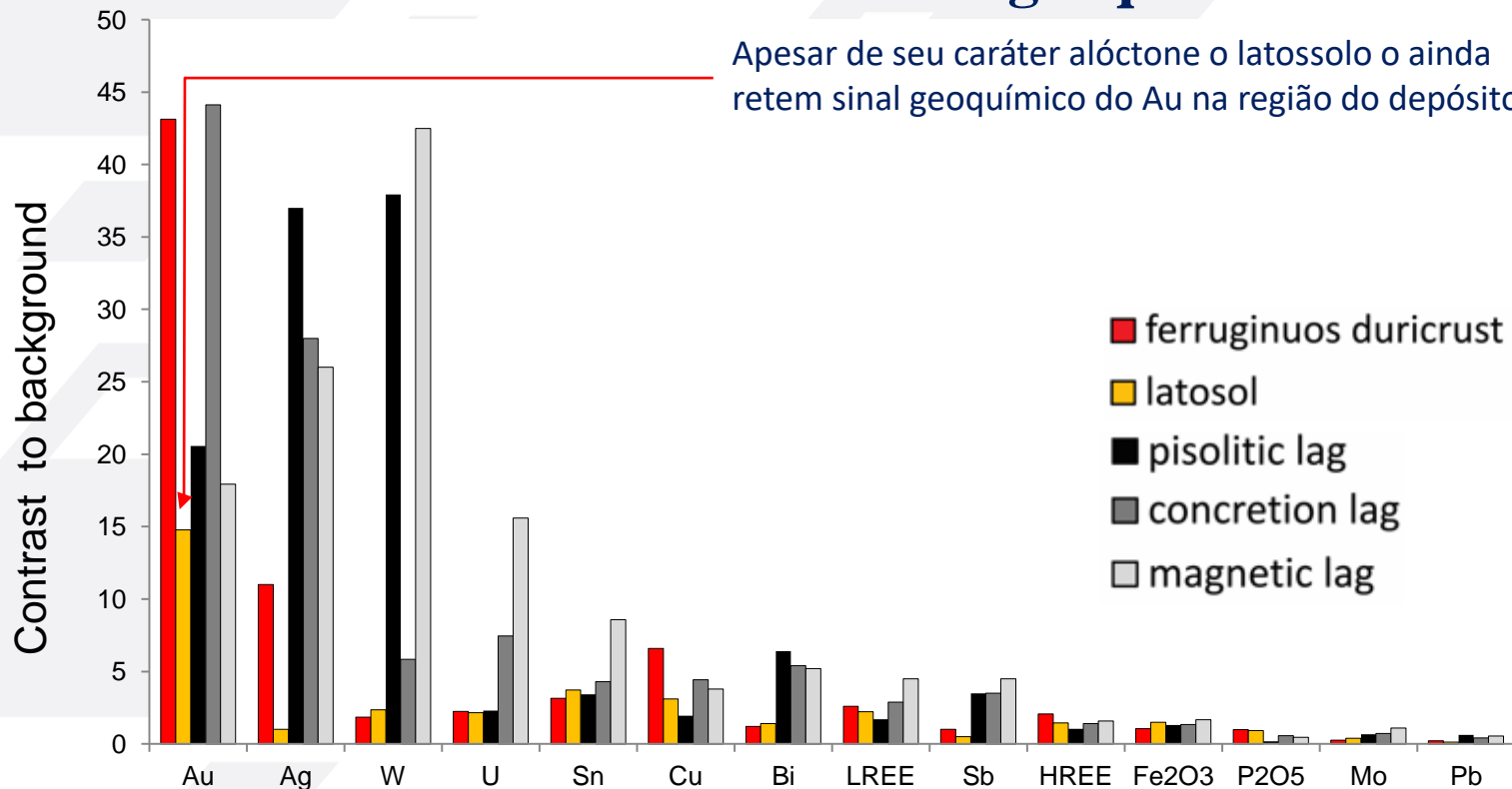
Nas crostas ferruginosas os metais com maior contraste são Au, Ag and Cu.



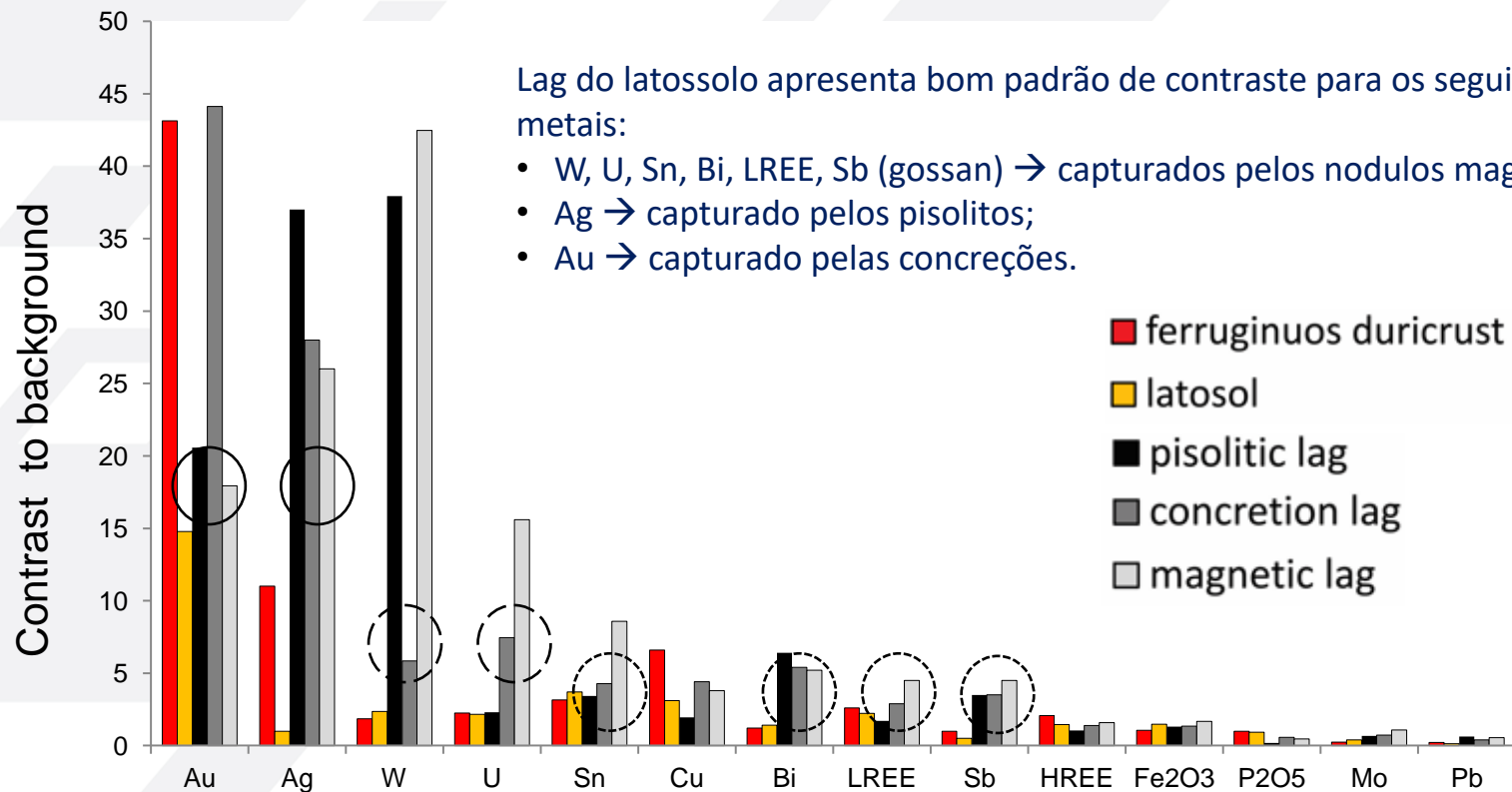


# Padrões de contraste geoquímico

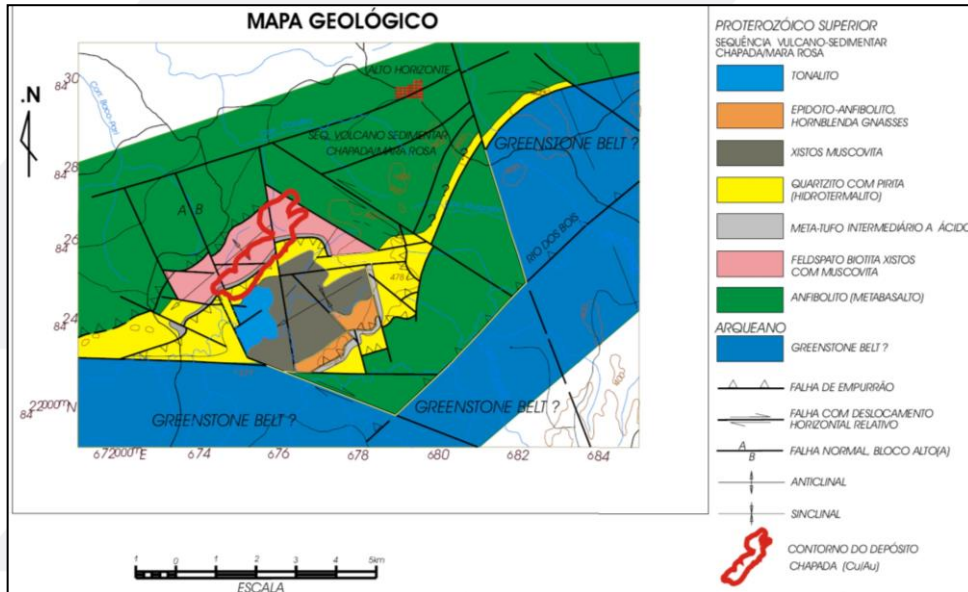
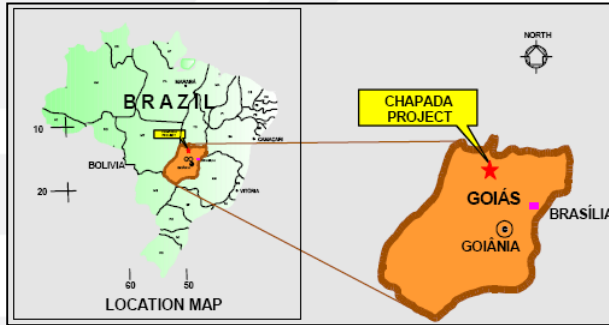
Apesar de seu caráter alóctone o latossolo o ainda retém sinal geoquímico do Au na região do depósito



# Padrões de contraste geoquímico

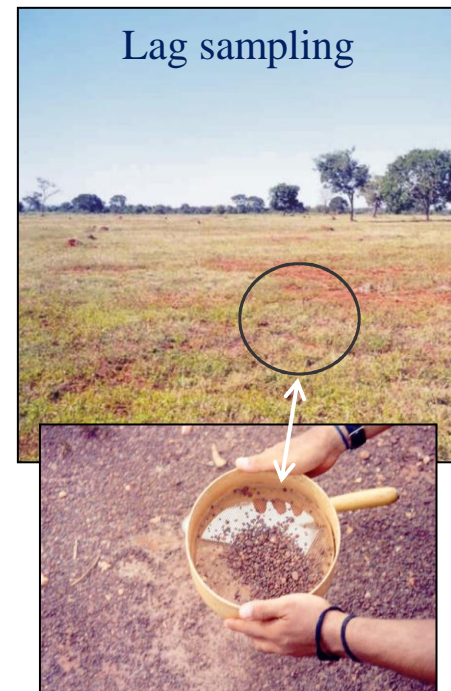
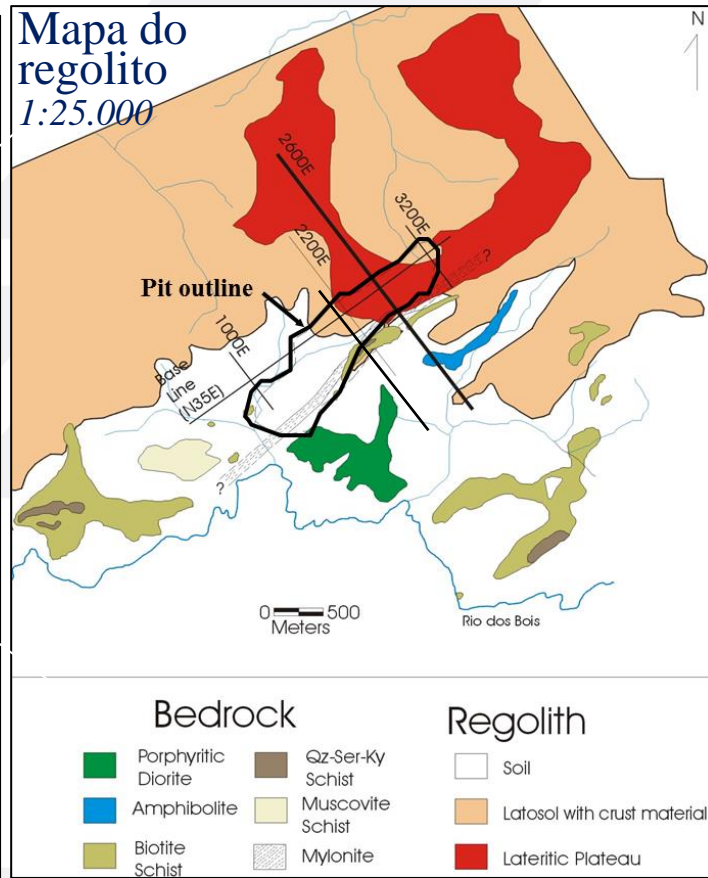
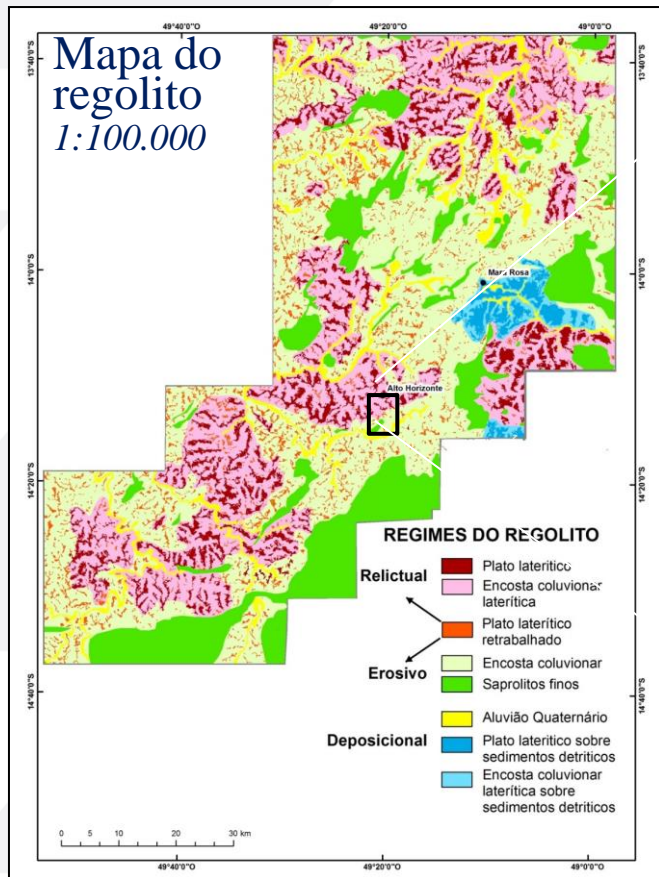


# Estudo de caso Mina de Chapada Cu-Au, Goiás



- ✓ Sequência vulcano-sedimentar de Mara Rosa
- ✓ Mineralização hospedada num biotita xisto feldspático com pirita e calcopirita disseminada
- ✓ Recursos originalmente estimados em 150Mt@0,4% Cu & 0,35 g/t Au.
- ✓ Metais associados à mineralização: Cu, Au, Mo, Pb.

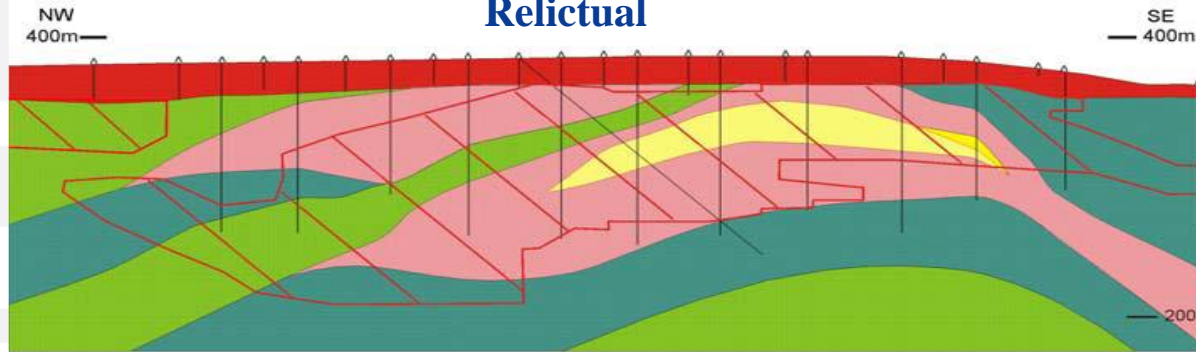
# Mapa do regolito região de Chapada-Mara Rosa





# Regimes do regolito

## Relictual



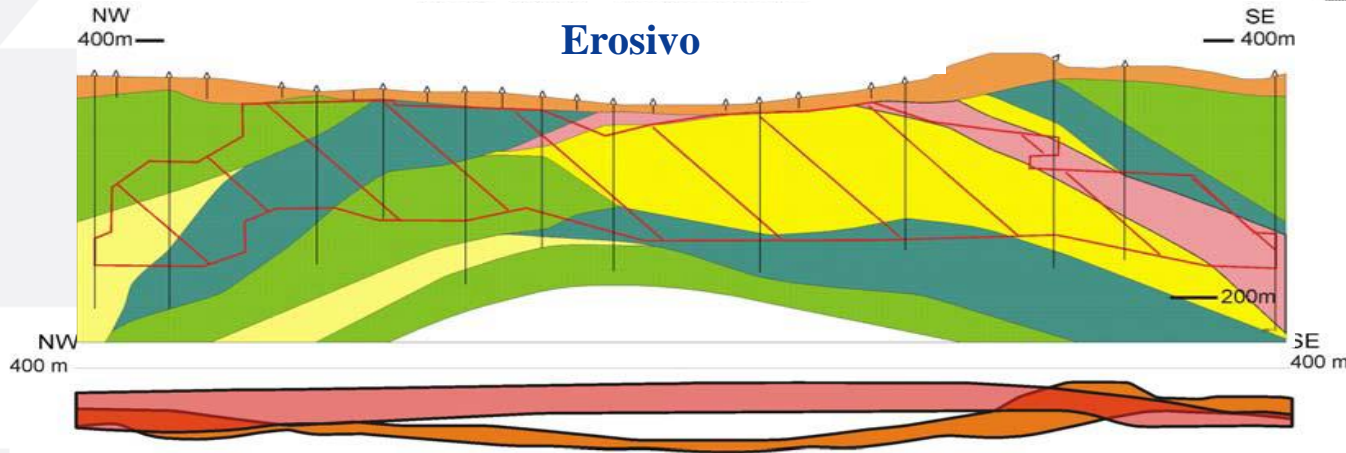
### LEGENDA

- Regolito
- Sericita Xisto
- Quartzo-Sericita Xisto
- Biotita Xisto
- Bitotita-Feldspato Gnaiss
- Anfibolito
- Corpo de Minério
- Furo de Sonda

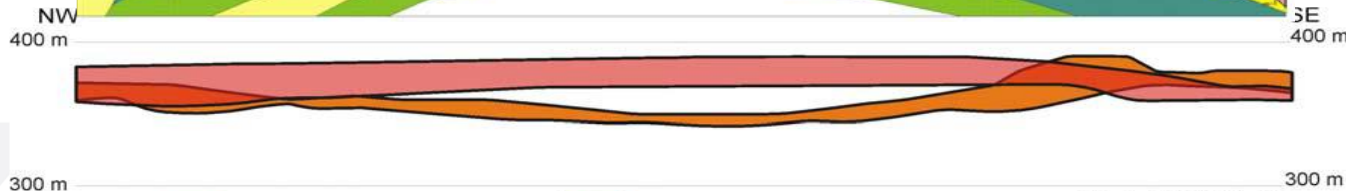
YAMANA GOLD

20 0 20 40 60 80m

## Erosivo



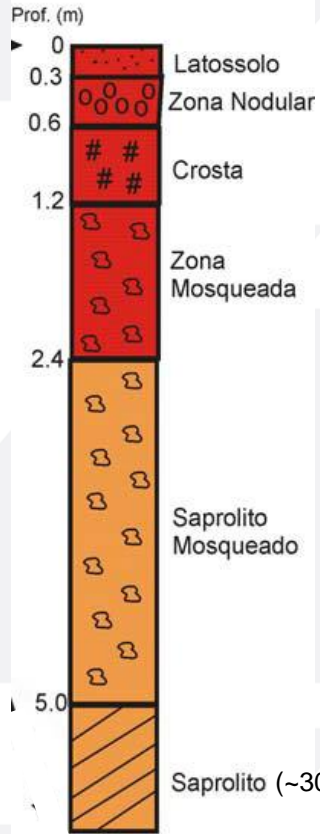
Área mineralizada com larga expressão superficial encontra-se coberta por um regolito laterítico com cerca de 20 metros de espessura.



Regolito no Regime Relictual    Regolito no Regime Erosivo

300 m  
20 0 20 40 60 80m

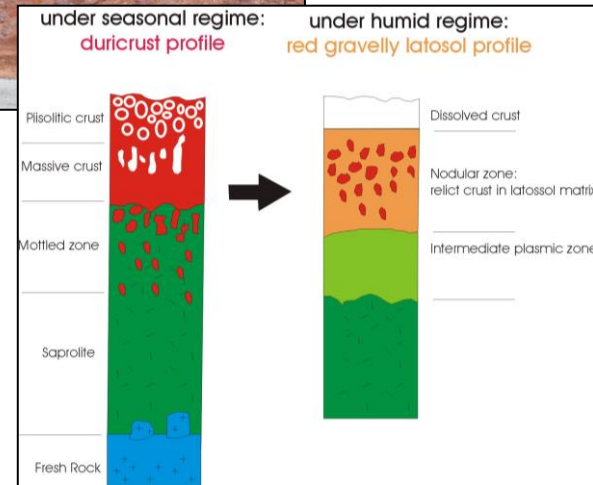
# Estratigrafia do regolito



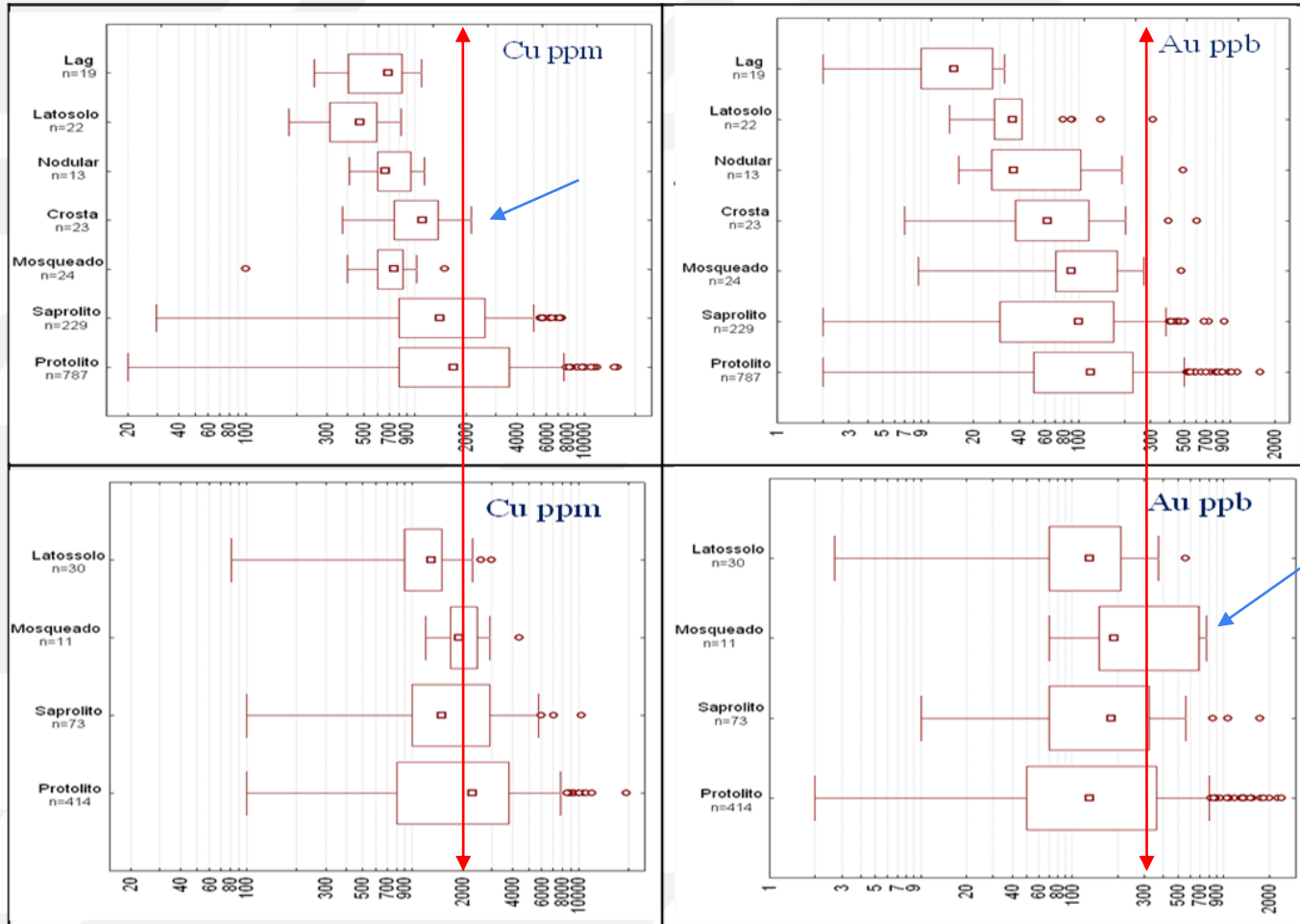
Moficado de Menezes (2003)



Regolito dominado por saprólitos sobre o qual desenvolveu-se um perfil laterítico completo relacionado à superfície de aplanamento Velhas (Mioceno)



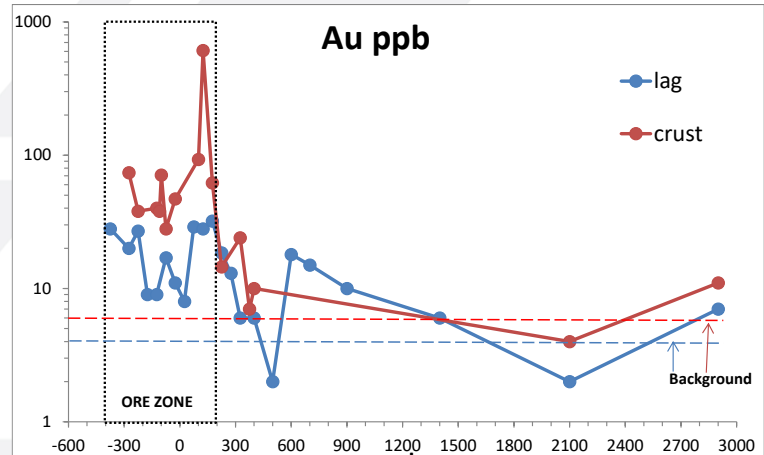
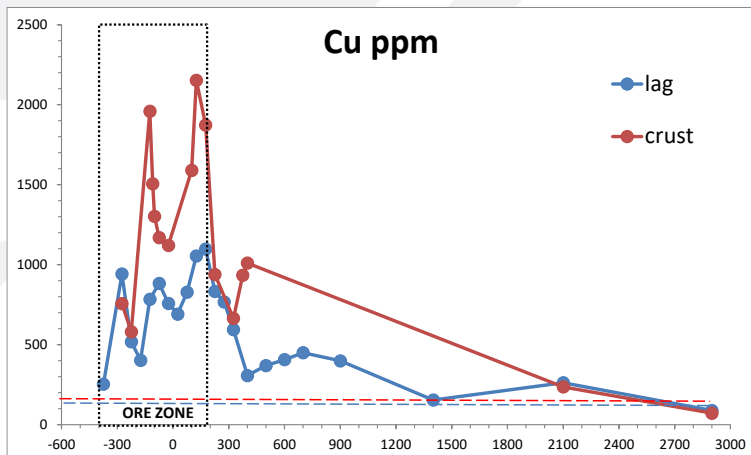
# Distribuição do Au e Cu no regolito



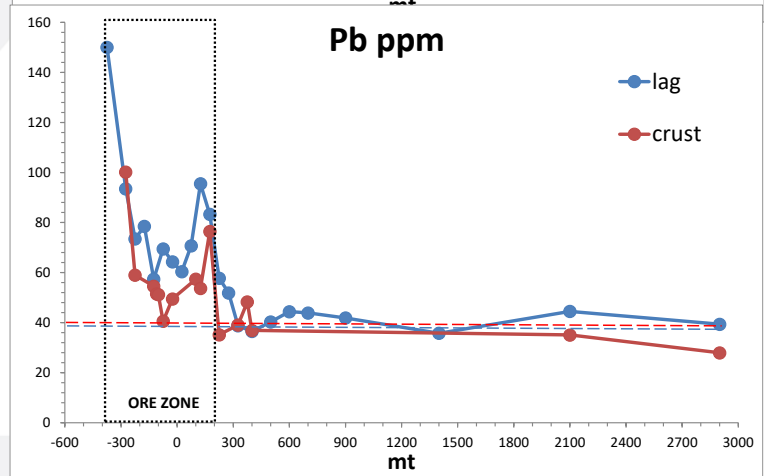
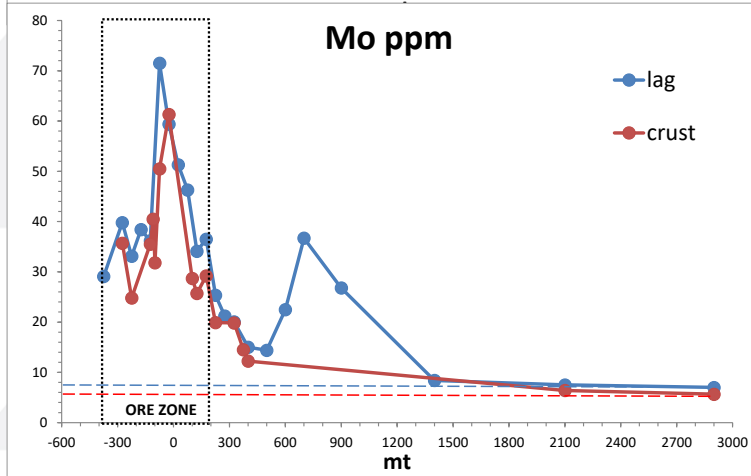
**Relictual**  
Em geral mais  
lixiviado porem  
Cu parcialmente  
retido na crosta

**Erosivo**  
Au enriquecido na  
zona mosqueada

# Perfil geoquímico no ambiente relictual



Cu e Au na crosta



Afinidade Mo-Pb-Fe lag e crosta rico em Fe



# Geoquímica do Lag



lag de crosta



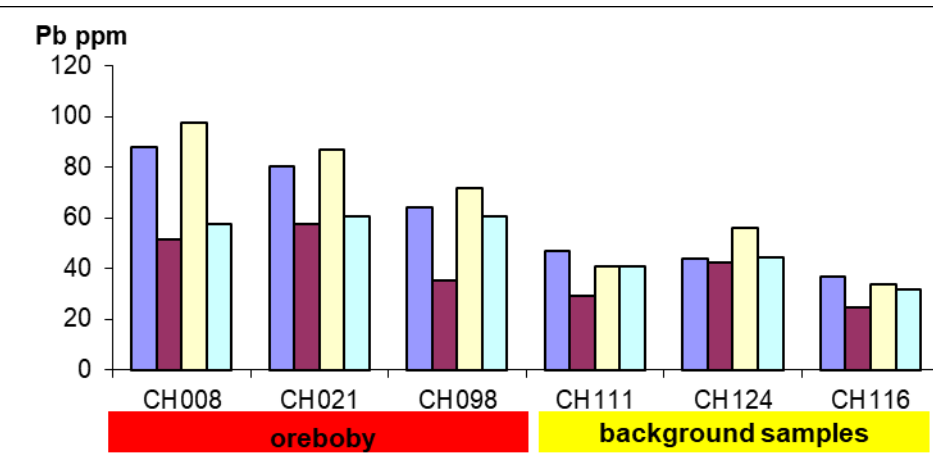
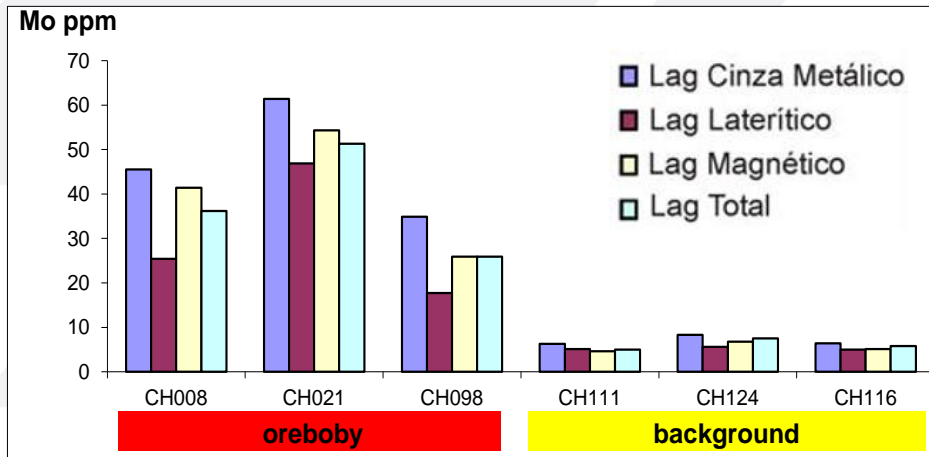
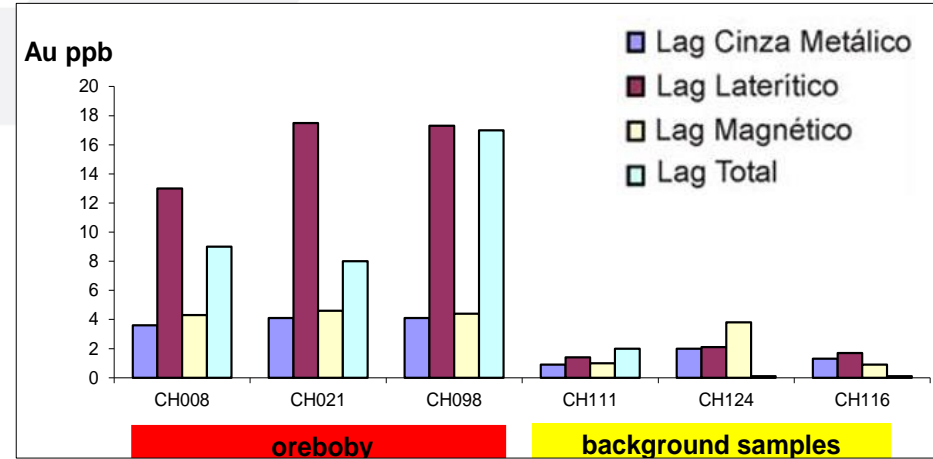
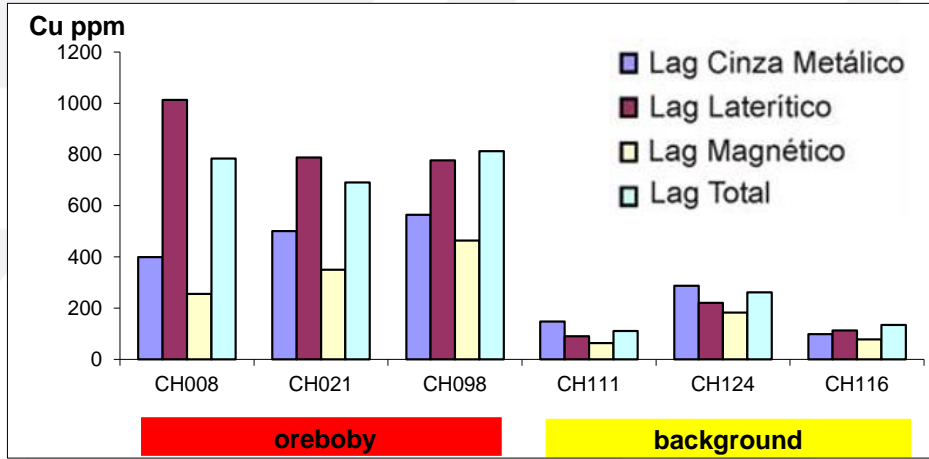
lag cinza metálico



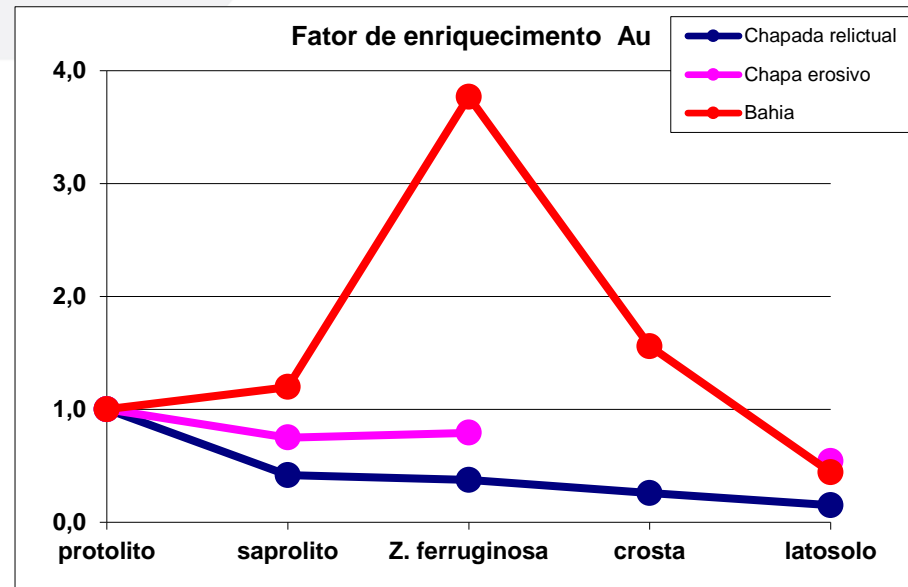
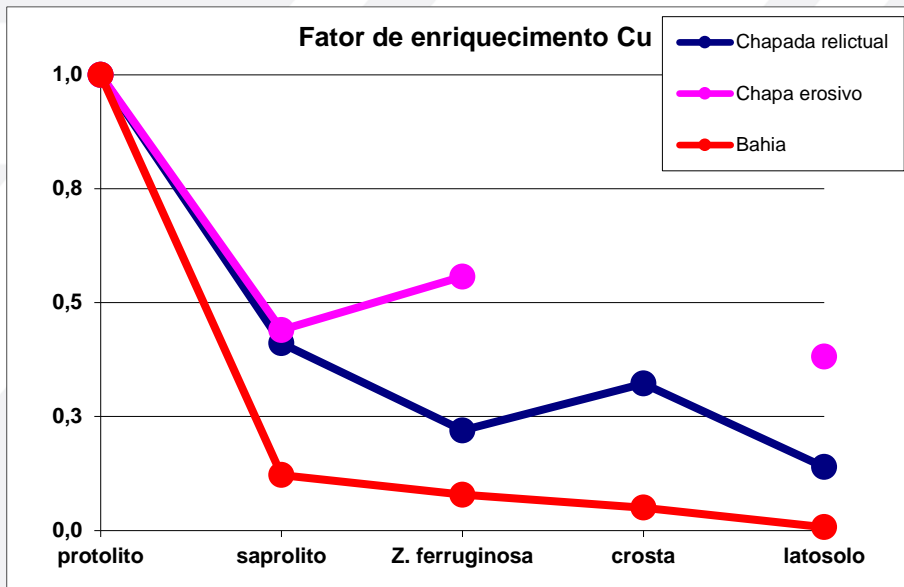
lag magnético



# Geoquímica do Lag

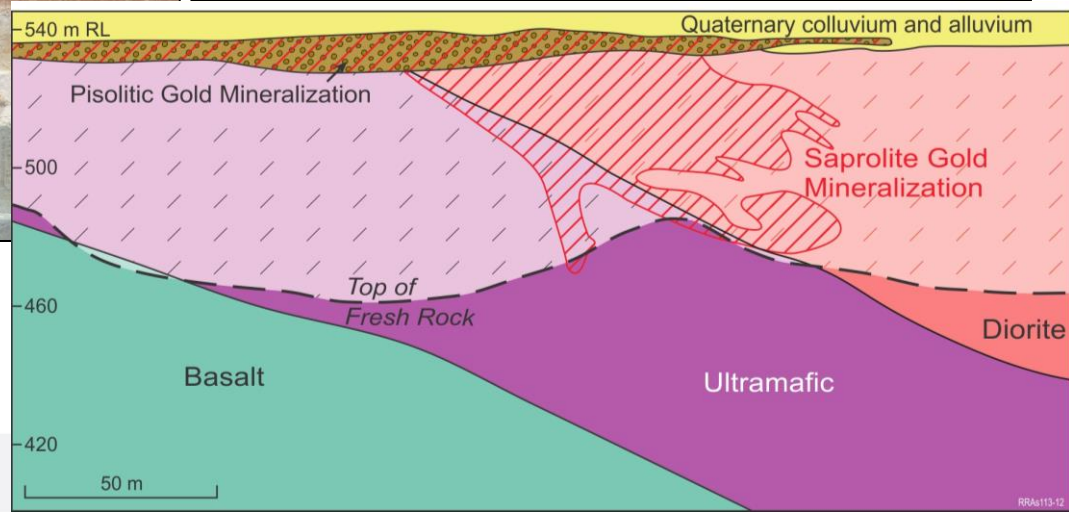
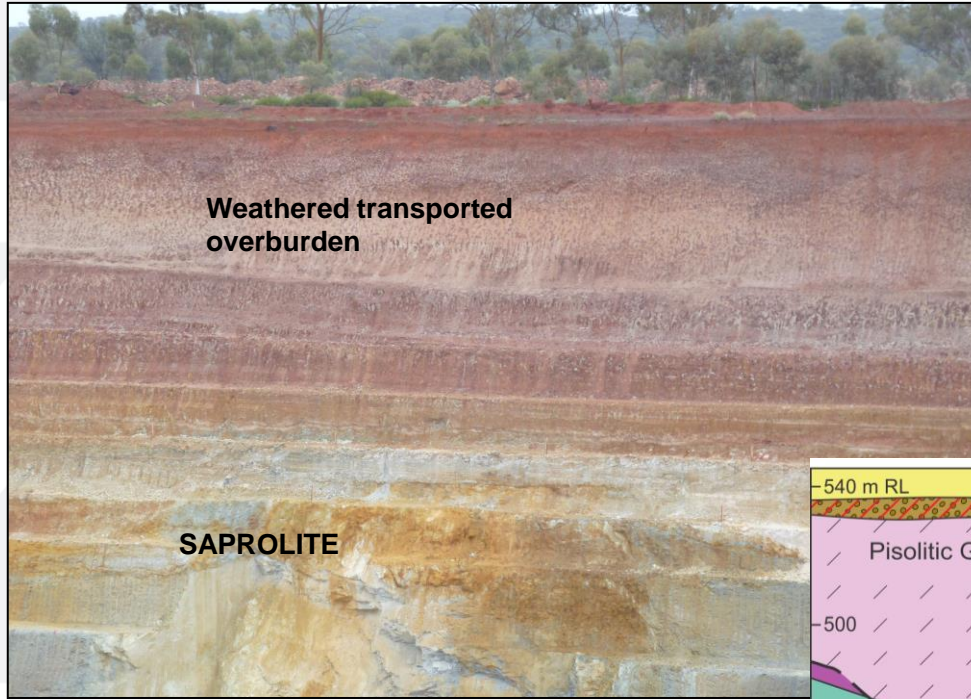


# Ig. Bahia x Chapada





# Comparações W.A.





# Conclusões

- ✓ Em Chapada o Cu é menos depletado nas zonas ferruginosas no regime erosional do que no relictual devido menor tempo de exposição no erosional. Apesar disso o Cu é parcialmente retido nas crostas do regime relictual ao contrário do que ocorre no Bahia de onde o Cu é fortemente lixiviado do regolito.
- ✓ No Bahia o Au esta enriquecido em todo regolito culminando na zona de crosta fragmentada onde o enriquecimento residual é mais acentuado devido ao colapso. Além disso há também reprecipitação química a partir da lixiviação das crostas ferruginosas hematíticas acima.
- ✓ No Bahia, a passagem saprolito-crosta resulta na alteração dos gossans liberando Au para se dispersar quimicamente gerando halos com padrão semelhante W.A.
- ✓ No Bahia os óxi-hidroxidos de Fe da zona de gossan protegem Au da lixiviação e mantém correlações do Au com U, Mo, Pb. Em Chapada a ausência de gossans expõe o Au a uma lixiviação mais intensa, principalmente no regime relictual.
- ✓ Um importante fator que contribui para a intensa lixiviação do Cu no Bahia é a natureza mais maciça dos sulfetos primários. Isso gera uma grande quantidade de ácidos durante a oxidação desse minério e, conseqüentemente, maior capacidade de lixiviação das soluções.
- ✓ A bauxitização pós-laterítica em Carajás, incidiu mais intensamente no domínio de paleocanais e possui alguma relação com enriquecimento de Au cuja mecanismo ainda precisa ser melhor investigado

# Conclusões

- ✓ A importância dos paleocanais tem sido sub-estimada na interpretação dos dados de exploração. Nesse ambiente, as crostas Fe formaram-se sobre material coluvionar (eluvium-aluvium) cujo transporte pode ser da ordem de dezenas a no máximo uma centena de metros;
- ✓ Já o latossolo resulta de transporte mais extenso sendo responsável pelo aplanamento dos platôs hoje dissecados selando assim o regolito na sua configuração atual
- ✓ Os dados sugerem que o Lag pode constituir um meio de amostragem promissor para exploração geoquímica nos terrenos lateríticos porém sua aplicação deve ser fortemente amparada pelo mapeamento do regolito e conhecimento de sua evolução intemperica.

**Colaboradores:**

Adalene M. Silva, UNB  
Alvaro P. Crósta, UNICAMP  
Chris Benn, BHP  
Claudio Limeira Mello, UFRJ  
Felipe Brandao, Vale  
Francisco Silva, UFRuRJ  
Helena Polivanov, UFRJ  
João H. Larizzatti, CPRM  
Jose Carlos S. Seoane, UFRJ  
Juliano J. de Souza, Yamana  
Maria Cristina M. Toledo, USP  
Marcondes L. da Costa, UFPA  
Nely Palermo, UERJ  
Paula Freitas, UFRJ  
Rafael Bastos, UFRJ  
Ricardo Gallart Menezes, Backshore  
Richard Herrington, NHM, UK  
Romulo S. Angélica, UFPA  
Rosely Imbernon, USP  
Sonia M. B. de Oliveira, USP  
Talita A. da Silva  
Thais Andrade, UFRJ



# Agradeço a atenção

Projeto: Geochemical Exploration for  
Sulphide-Rich Base Metal deposits in  
deeply Weathered Terrain in Brazil  
*BHP Ltd; Yamana Ltda*

