As seções também mostram a irregularidade do topo do substrato mioceno, caracterizado por feições de escalonamento, com desníveis verticais de 5 a 15 m em alguns locais, que indicam o nítido controle estrutural por falhas no desenvolvimento do GCP. A atuação dessas falhas recentes (na direção NW-SE) é refletida no relevo, na forma de linhas curvadas observadas na superfície da unidade pleistocena (Fig. 5.52). O basculamento de blocos para SW, demonstrado nas seções de subsuperfície (Figs. 5.54 e 5.56), fica evidente pela rotação de níveis de paleossolos do substrato (Fig. 4.14B) e maior espessamento sedimentar neste sentido, e reflete o caráter assimétrico de *hemigraben* do GCP. Há também basculamento para NE (Fig. 5.55), o que sugere a presença de uma falha de transferência de direção NE-SW, situada entre as seções D-D' e F-F', paralela às seções. Esta situação de basculamento em rumos opostos separados por zonas de transferência transversais aos eixos de grábens é uma feição muito comum em depressões distensionais desta natureza.

O GCC é preenchido por depósitos de barras em pontal constituídas pela intercalação de camadas de areia fina a média com grânulos e lama (silte e argila) inclinadas em baixo ângulo, que compõem os pares de EHI (Fig. 5.57). Em geral, as camadas apresentam aspecto maciço e mosqueado com coloração bege amarelada. O caráter de *hemigraben* do GCC é evidente pela suave inclinação do topo do substrato para NE, bem como pelo maior espessamento do preenchimento sedimentar neste sentido (Fig. 4.12A e B). Datação por RAS em sedimentos arenosos que preenchem a depressão indicou idade de 37.500±700 anos AP (Fig. 5.3).

5.5.2.3 *DEPÓSITOS SEDIMENTARES ASSOCIADOS AO GLM*

O GLM apresenta extensão e profundidade reduzidas, sendo pouco visível nas imagens Landsat e fotografias aéreas analisadas (Fig. 4.3). A depressão, que se desenvolveu sobre rochas do substrato mioceno, exibe forma arqueada e profundidade de até 5m na parte central (Fig. 4.17A-C). É preenchido por sedimentos argilosos a sílticos, de coloração cinza médio, com tonalidades rosada a amarelada, com aspecto maciço e laminação plano-paralela, intensamente bioturbados (Fig. 4.17D). Em geral, apresenta aspecto mosqueado, caracterizado por manchas amarelas e vermelhas de óxido e/ou hidróxido de ferro, que se intensificam em direção ao topo, onde formam feições tubulares subverticais com aproximadamente 1 m de comprimento (Fig. 4.17F), além de solo pouco espesso (50 cm) no topo. Essas feições podem ser indicativas de uma fase inicial de desenvolvimento de paleossolo sobre esta unidade.

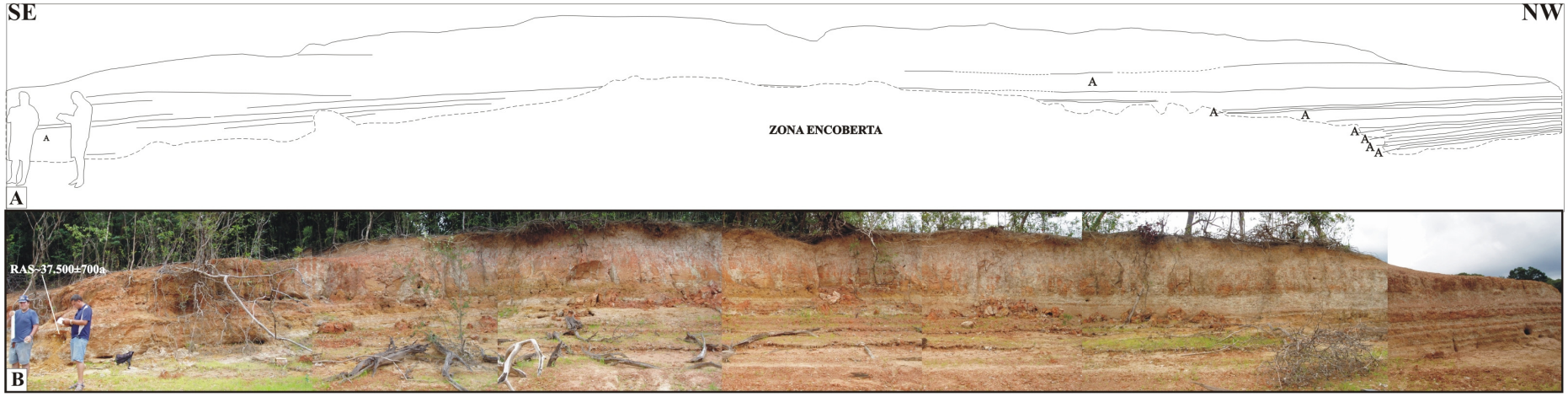

Figura 5.57 - Seção geológica (A) obtida a partir de fotomosaico (B) ilustrando a morfologia de barra fluvial e o acamamento inclinado de camadas de areia e lama que compõem a EHI no GCC, margem direita do Rio Negro (Local NS-171). A seta indica o local de coleta da amostra para datação por RAS, e as letras indicam as camadas de areia na seção geológica A.

5.6 ANÁLISES QUÍMICAS E DIFRAÇÃO DE RAIOS X

As análises por difração de raios X foram efetuadas para 7 amostras argilosas a siltosas representativas das unidades aluviais pleistocenas das planícies do Rio Solimões e Paraná do Ariaú (GPA), conforme ilustrado na tabela 2. Destas amostras, 2 pertencem ao terraço superior do Rio Solimões, 1 ao terraço intermediário do Rio Solimões e 4 ao terraço superior do Paraná do Ariaú . Nos difratogramas de raios X observa-se que o quartzo, mica e caulinita estão presentes em todas as amostras, nas frações silte e argila, enquanto que o feldspato restringe-se às amostras do Rio Solimões. Quanto aos argilominerais, o interestratificado illita-esmectita está presente em ambas as frações de todas as amostras. Nas amostras do terraço superior do Rio Solimões encontram-se ainda argilominerais 12Å e 10.8Å, provavelmente interestratificados regulares. Clorita está presente apenas nas amostras dos terraços superiores do Rio Solimões e do GPA.

A análise discriminante linear "passo a passo" (*Stepwise discriminant*) foi empregada para populações de amostras previamente definidas de acordo com as unidades estratigráficas pleistocenas individualizadas na área de estudo (Tabela 3), relacionadas as planícies aluviais dos rios Negro e Solimões e depressões tectônicas (Anexo 3).

No gráfico 1 (Fig. 5.58), amostras da bacia do Rio Solimões e do GPA definem grupos com alguma sobreposição, sugerindo pouca diferença em termos de composição química elementar. Por outro lado, no gráfico 2 (Fig. 5.58) nota-se a nítida separação dos grupos de populações dos sedimentos da bacia do Rio Negro e do GPA. Portanto, os dados sugerem que a sobreposição observada no gráfico 1 pode ser indicativa da grande influência do aporte sedimentar do Rio Solimões no preenchimento do GPA, desde sua formação, enquanto que a nítida separação dos grupos no gráfico 2 pode ser interpretada como indicativa da pouca contribuição do aporte sedimentar do Rio Negro no preenchimento da referida depressão. Os gráficos 3 e 4 (Fig. 5.58) mostram nítida separação entre amostras dos terraços mais elevados e mais inferiores do Rio Solimões e do Paraná do Ariaú, respectivamente. Esta individualização provavelmente reflete a influência do intemperismo químico sobre os depósitos dos terraços mais superiores, que apresentam-se com coloração avermelhada e aspecto mosqueado, devido a transformações mineralógicas e químicas. Na análise "passo a passo", os elementos discriminantes para os grupos estudados foram Na, As, Fe, Ce, K, Sc, Cr, Yb, Hf, Cs, Sm e U, cuja concentração é ilustrada na tabela 3.

Locais analisados	Mineralogia							
	Quartzo	Feldspato	Mica	Caulinita	I/S	Clorita	12Å	10,8Å
(TS2) NS-67	X	X	X	X	X			
(TS1) NS-66	X	X	X	X	X		X	X
(TS1) NS-65	X	X	X	X	X	X		
(TA1) NS-68	X		X	X	X			
(TA1) NS-68	X		X	X	X			
(TA1) NS-71	X		X	X		X		
(TA1) NS-70	X		X	X	X			

Tabela 2 - Composição mineralógica das amostras obtidas a partir de dados de difração de raios X para as frações inferiores a 62 μm e 4 μm. Legenda: I/S - argilomineral interestratificado illita-esmectita, 12Å - mineral com 12Å , 10,8Å - mineral com 10,8Å , NS - locais analisados, TS1 - terraço superior do rio Solimões, TS2 - terraço intermediário do rio Solimões, TA1 - terraço superior do Paraná do Ariaú (GPA).

Elementos	GPA (M±S)		Rio Negro (M±S)		Rio Solimões (M±S)	
	Terraço superior do Paraná do Ariaú	Terraço inferior do Paraná do Ariaú		GCC	Terraço superior	Terraços intermediário e inferior
As	4,09±1,28	4,43±2,43	4,27±1,59	3,60±1,97	4,78±2,03	7,13±4,02
Ba	190±94,63	375,44±182,75	282,51±133,3	512,30±407,7	253,53±118,20	549,16±254,42
Ce	84,40±51,32	90,41±39,70	104,09±41,83	70,00±6,10	122,36±42,35	88,01±13,87
Co	3,88±2,67	9,05±11,33	7,87±4,89	3,27±1,46	7,70±4,21	11,68±4,80
Cr	78,64±18,78	69,39±14,23	79,89±6,95	62,30±20,45	67,93±18,28	72,09±10,64
Cs	7,64±4,95	8,18±2,86	8,14±1,42	4,73±2,53	8,62±2,62	8,56±2,38
Eu	1,36±1,13	1,48±1,00	1,74±0,88	0,93±0,05	2,09±1,19	1,51±0,32
Fe%	3,70±1,99	3,16±1,19	4,05±0,72	3,43±2,01	2,74±0,86	3,97±1,25
Hf	10,96±4,76	10,02±4,05	8,52±2,78	15,93±5,92	10,17±4,20	7,73±3,59
K%	0,72±0,33	1,38±0,54	1,08±0,08	0,87±0,38	1,55±0,58	1,78±0,50
La	45,13±23,76	45,48±17,67	57,24±21,79	36,37±1,39	58,27±20,68	45,57±7,58
Lu	0,58±0,17	0,55±0,14	0,58±0,17	0,47±0,06	0,70±0,20	0,54±0,12
Na%	0,09±0,05	0,27±0,26	0,08±0,01	0,06±0,02	0,19±0,21	0,59±0,37
Nd	34,24±14,75	50,97±23,32	56,07±22,52	23,25±1,35	57,68±35,31	38,28±11,41
Rb	50,95±33,37	81,08±33,35	70,72±12,68	34,63±19,05	90,28±36,17	105,32±26,79
Sb	1,54±0,87	1,14±0,51	0,78±0,15	0,55±0,05	1,08±0,40	1,12±0,36
Sc	14,89±3,98	15,55±3,50	18,63±2,09	14,30±4,40	16,67±3,32	17,37±3,50
Sm	5,60±3,32	9,42±5,95	27,63±48,12	7,23±5,99	10,49±7,45	9,61±7,16
Ta	1,80±0,75	1,67±0,40	1,81±0,12	1,53±0,38	8,27±10,67	3,04±4,50
Tb	1,05±0,72	1,08±0,50	1,30±0,58	0,73±0,25	1,29±0,80	0,86±0,28
Th	15,43±3,08	14,48±2,74	15,87±2,23	13,47±3,26	15,00±2,19	14,95±3,04
U	4,94±1,22	4,61±1,41	5,34±2,31	4,50±0,50	3,80±1,02	4,53±1,69
Yb	3,63±1,06	3,76±0,98	4,01±0,50	2,97±0,46	4,59±1,37	3,54±0,58
Zn	50,76±31,29	77,48±48,44	86,22±45,37	51,03±29,06	80,47±38,72	111,79±38,72

Tabela 3 - Elementos analisados pelos métodos da ativação de neutrons e análise discriminante linear "passo a passo". M= média e S=desvio padrão.

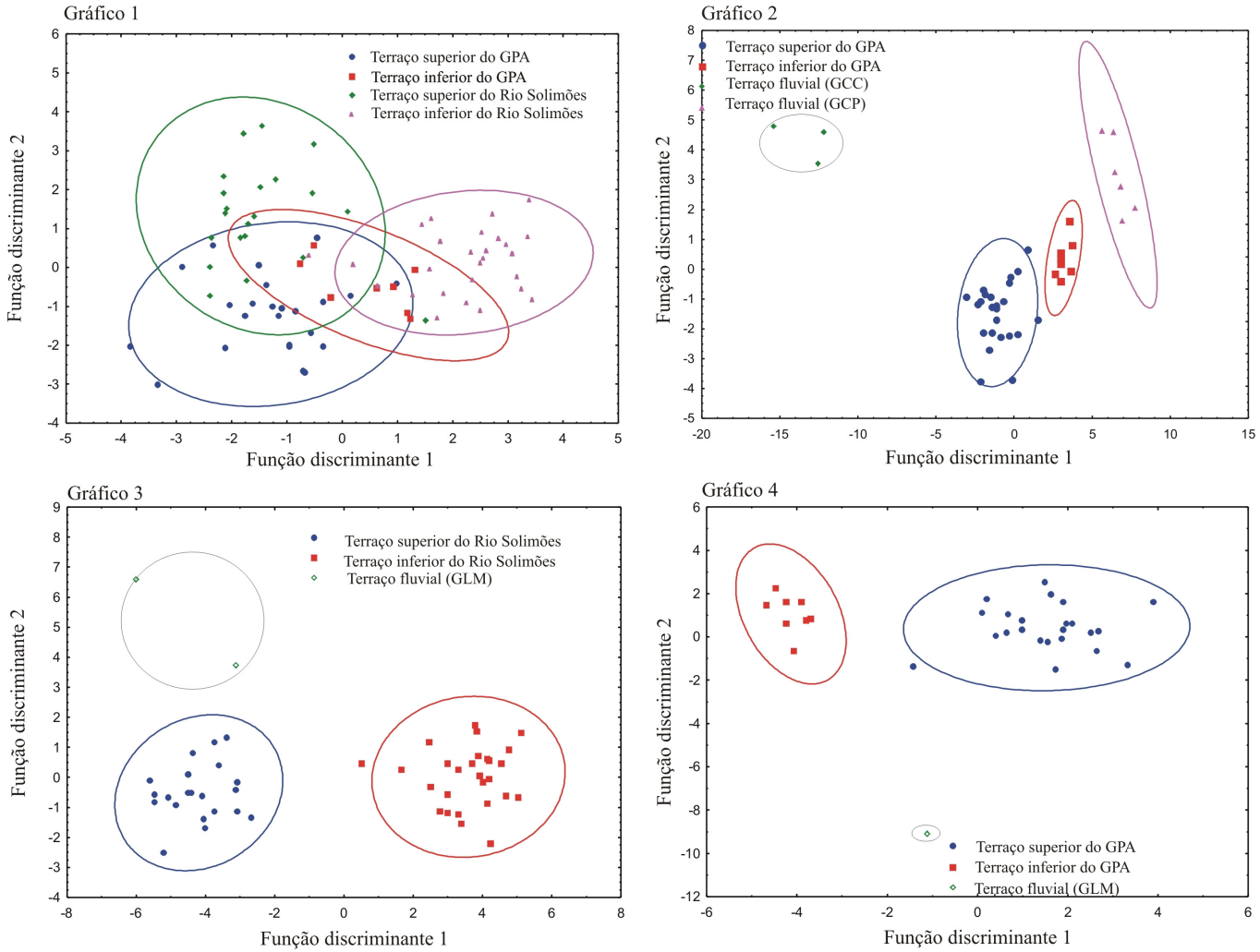

Figura 5.58 - Gráficos de análise discriminante em amostras de sedimentos das planícies aluviais dos rios Negro e Solimões e grábens. As amostras referentes ao terraço inferior do Rio Solimões englobam as amostras dos terraços intermediário e inferior, que quase não apresentam feições de intemperismo.

Os dados de difração de raios X indicaram que, de modo geral, as amostras analisadas das planícies aluviais do Rio Solimões e Paraná do Ariaú (GPA) apresentam composição mineralógica comum, dada pela presença de quartzo, mica, caulinita e argilomineral interestratificado illita-esmectita. Entretanto, os sedimentos do Rio Solimões possuem mineralogia mais variada, em função da presença de feldspato e argilominerais 12Å e 10.8Å, provavelmente interestratificados regulares, ausentes nas amostras do terraço superior do GPA. Ainda que a coloração avermelhada e aspecto mosqueado dos sedimentos dos terraços superiores do Rio Solimões e do GPA reflita a influência de processos intempéricos, e em função disso a análise discriminante linear tenha diferenciado claramente os terraços superior e inferior do Rio Solimões, os dados mineralógicos mostraram que minerais instáveis como feldspato e argilominerais interestratificados ainda estão presentes nesses sedimentos. Este fato pode indicar que, apesar da coloração avermelhada das unidades mais superiores, a atuação do intemperismo químico durante o Pleistoceno nessas unidades não foi ainda tão intensa a ponto de destruir completamente a assembléia mineralógica original.

5.7 INTERPRETAÇÃO TECTONO-SEDIMENTAR DAS DEPRESSÕES

Na área de estudo, a intrínseca relação entre deposição fluvial pleistocena e movimentações neotectônicas é bem evidente na evolução tectono-sedimentar das depressões. Provavelmente o desenvolvimento dessas feições estruturais, as mais expressivas da região de estudo, iniciou-se no Pleistoceo Inferior até cerca de 400.000 anos AP, relacionado a reativações de falhas de direção geral NW-SE no substrato cretáceo e mioceno, devido a esforços distensivos na direção NE-SW, conforme ilustrado nos blocos diagramas das figuras 5.59, 5.60, 5.61. Entretanto, registros do evento gerador das depressões tectônicas não foram encontrados nos depósitos das formações Alter do Chão e Novo Remanso. Somente foram identificadas estruturas que afetam o embasamento cretáceo e mioceno e a cobertura sedimentar mais jovem (ver item 4.2.9).

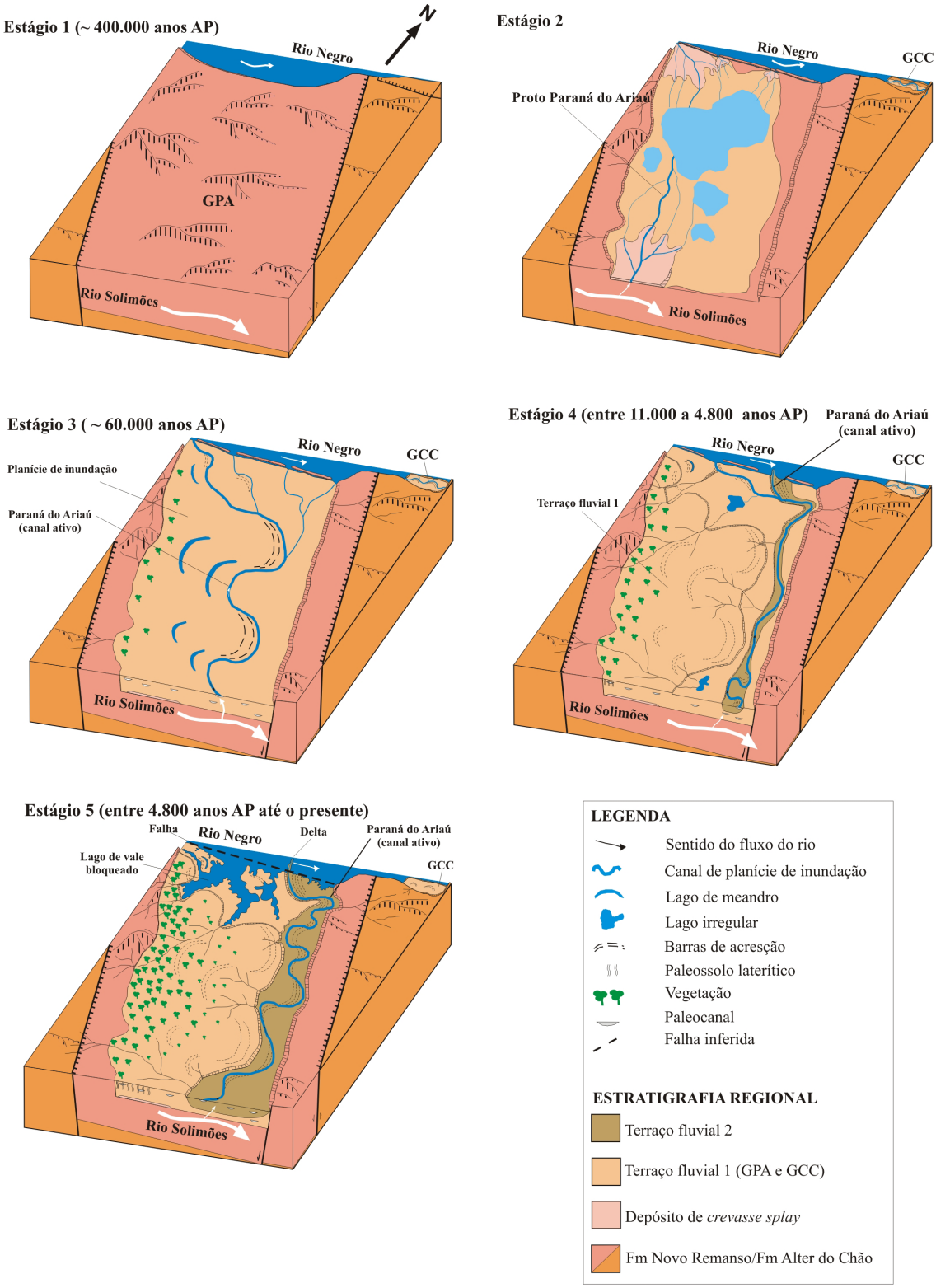

Figura 5.59 - Blocos diagramas esquemáticos ilustrando as etapas de desenvolvimento tectono-sedimentar do GPA e GCC, entre os rios Negro e Solimões. As etapas são descritas do texto.

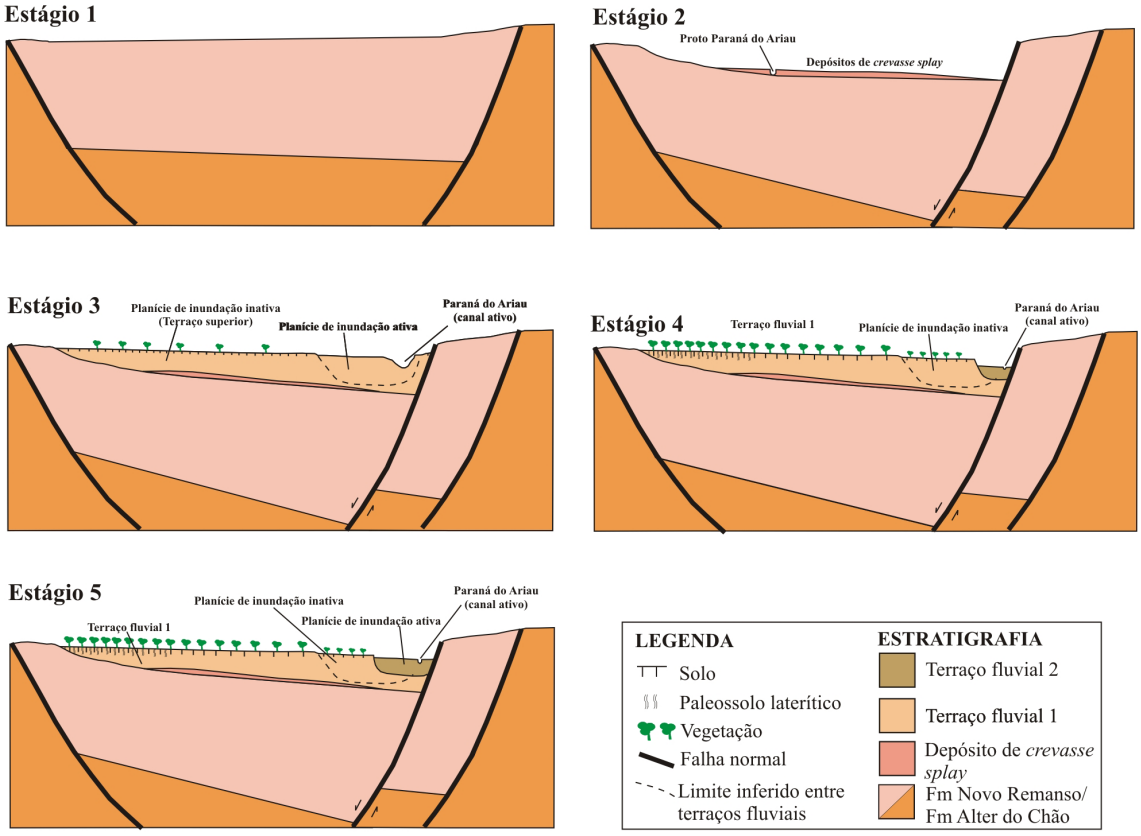

Figura 5.60 - Seções esquemáticas ilustrando os estágios de evolução tectono-sedimentar do GPA, cujo desenvolvimento inicial está relacionado com a reativação de falhas no embasamento cretáceo e mioceno (Estágio 1). O preenchimento sedimentar começa com a deposição de *crevasse splay* e desenvolvimento restrito de planície aluvial (Estágio 2). Nova fase de reativação de falhas promoveu o aprofundamento de basculamento do topo do substrato para E-NE, desenvolvendo uma feição de *hemigraben*. A criação de espaço de acomodação promoveu o amplo desenvolvimento do canal meandrante do Paraná do Ariaú e planície de inundação associada, cujo depósitos preencheram toda a extensão do GPA. A contínua migração do Paraná do Ariaú para leste leva ao desenvolvimento de nova planície aluvial neste sentido e, degradação e abandono a oeste, com o desenvolvimento do terraço fluvial superior, sobre o qual começou a se implantar vegetação e atuação dos processos de dissecação e pedogênese, com o desenvolvimento inicial do paleossolo laterítico (Estágio 4). Na porção leste do GPA, ocorreu o amplo desenvolvimento do terraço fluvial inferior e, sobre as partes inativas a oeste, ocorreu a total implantação de vegetação e amplo desenvolvimento do paleossolo laterítico que, em parte, sustenta o relevo do terraço superior.

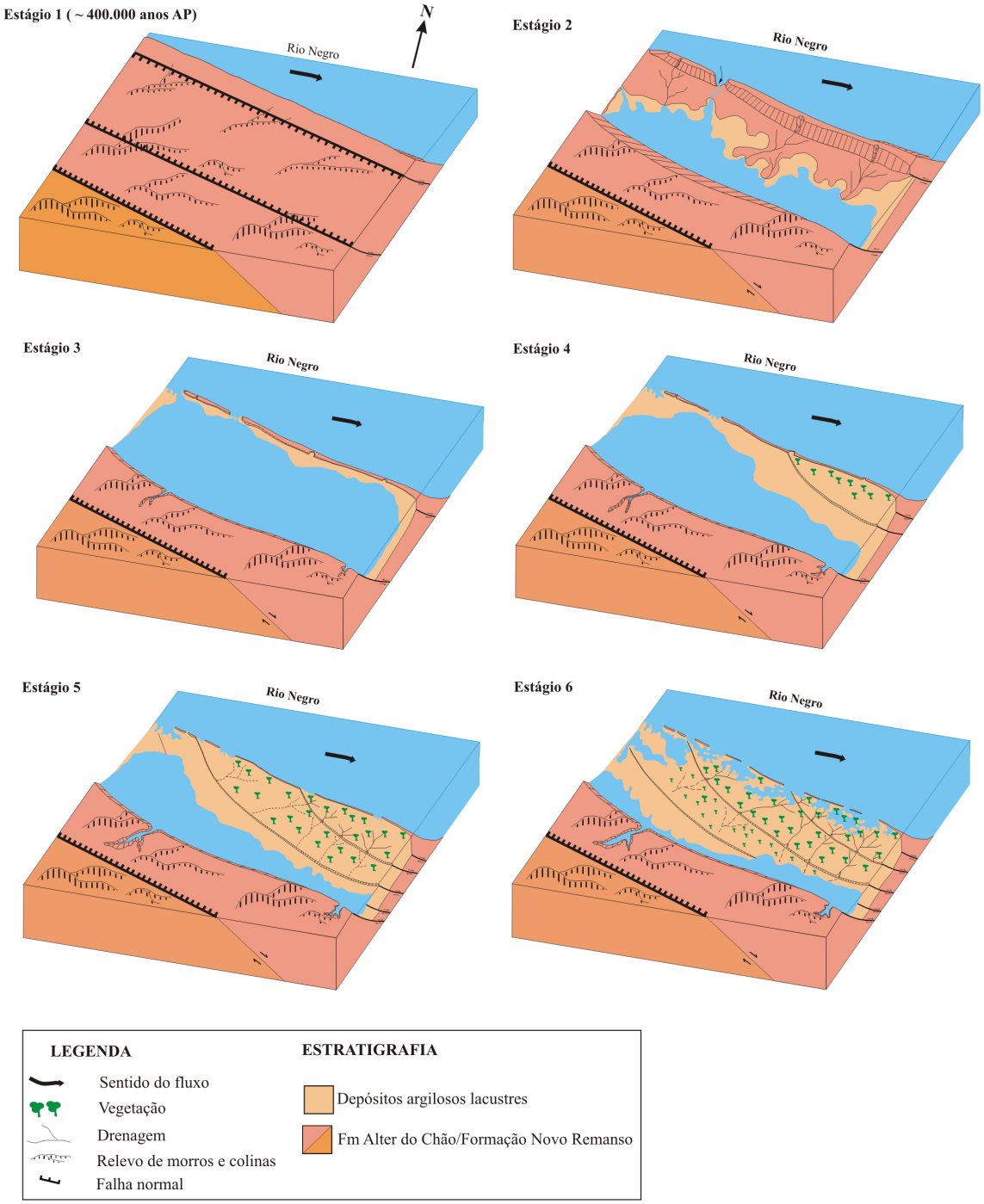

Figura 5.61 - Blocos diagramas esquemáticos ilustrando os estágios da evolução tectono-sedimentar da porção oeste do GCP. Os estágios são descritos no texto.

5.7.1 *INTERPRETAÇÃO TECTONO-SEDIMENTAR DO GPA E GCC*

Após desenvolvimento estrutural do GPA até cerca de 400.000 anos AP (Fig. 5.59, estágio 1), o preenchimento sedimentar tem início mais proeminente na porção oeste da depressão, com a sedimentação de depósitos de *crevasse splay* pela dinâmica dos rios Negro e Solimões, e conseqüente desenvolvimento de canais secundários associados a uma planície aluvial restrita com lagos (Fig. 5.59, estágio 2). O contínuo aprofundamente e basculamento do assoalho da depressão para E-NE proporcionou a implantação do pequeno sistema fluvial meandrante do Paraná do Ariaú, influenciado principalmente pela hidrodinâmica do Rio Solimões, com fluxo principal em direção ao Rio Negro (Fig. 5.59, estágio 3). Neste estágio, a contínua migração do Paraná do Ariaú para leste deixa áreas de planície inativa a oeste e promeve o amplo desenvolvimento da planície aluvial, que preencheu toda a depressão há cerca de 66.000 anos AP. Posteriormente, degradação e abandono da planície de inundação a oeste, leva ao desenvolvimento do terraço fluvial 1, sobre o qual começou a se instalar vegetação e atuação dos processos de dissecação e pedogênese, com desenvolvimento inicial de paleossolo laterítico nas partes mais elevadas (Fig. 5.59, estágio 4). Concomitantemente, entre 11.000 a 4.800 anos AP, nova fase de agradação e desenvolvimento de nova planície aluvial pelo canal ativo do Paraná do Ariaú se instala na porção leste da depressão e cordões arenosos alongados desenvolvem feição de delta, que começa a adentrar no Rio Negro. De 4.800 anos AP até o recente a nova planície de inundação do Paraná do Ariaú ocupa toda a porção leste da depressão e o delta adentra o Rio Negro por centenas de metros. Sobre o terraço superior, sustentado por paleossolo laterítico, se intensificam os processos de dissecação do relevo e desenvolvimento de lagos de vales bloqueados na porção NW da depressão, associados a subsidência tectônica por falhas (Fig. 5.59, estágio 5).

O desenvolvimento do GCC está relacionado ao contínuo aprofundamento e basculamento do assoalho para NE, que possibilitou a instalação de um pequeno sistema fluvial meandrante, mais restrito que no GPA, com a deposição de barras em pontal associadas a finos de planície de inundação (Fig. 5.59, estágios 1 a 5).

A Figura 5.60 ilustra em perfil os estágios de evolução tectono-sedimentar do GPA, e permite associar o desenvolvimento assimétrico (para N-NE) dos terraços fluviais do Paraná do Ariaú ao basculamento do substrato neste sentido.

5.7.1.1 *EVOLUÇÃO TECTONO-SEDIMENTAR DO CURSO INFERIOR DO RIO NEGRO*

Estudos recentes (Silva 2005, Almeida-Filho & Miranda 2007) têm levantado suposições sobre a mudança de curso do trecho inferior do Rio Negro durante o Pleistoceno, em diferentes locais. O trabalho de Almeida-Filho & Miranda (2007) foi baseado em dados morfológicos de modelos digitais de elevação (MDEs) obtidos a partir da missão *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM), que revelaram relictos de um antigo sistema de drenagem que poderia representar o antigo curso do Rio Negro. Segundo os autores, a antiga zona de confluência dos rios Negro e Solimões seria localizada onde é atualmente a desembocadura do Rio Manacapuru, aproximadamente a 70 km a oeste de Manaus, local da atual zona de confluência. Sobre esse antigo sistema de drenagem, que fluía para o sul, estão atualmente instaladas as drenagens dos rios Padauari e Carabinini, que fluem para norte, sendo portanto, tributários do Rio Negro. A inversão do fluxo de drenagem antiga e atual é sugestiva da atuação de atividade neotectônica, como conseqüência da inclinação de blocos regionais, controlada por falha do embasamento Cretáceo de orientação geral NW-SE (Forsberg *et al.* 2000).

O trabalho de Silva (2005) indica que a antiga passagem do Vale do Rio Negro se deu pelo GPA, localizado a aproximadamente 40 km a oeste de Manaus, onde atualmente está o Paraná do Ariaú, que faz a ligação entre os rios Negro e Solimões. Esta suposição foi baseada em dados de furos sondagens à percurssão, com 60 m de profundidade, efetuados ao longo do referido gráben. O registro sedimentar das sondagens foi descrito como predominantemente argiloso, com níveis areno-argilosos finos a médios, o qual foi associado ao provável ambiente fluvial do antigo Vale do Rio Negro. No presente trabalho, a análise dos mesmos dados de sondagens mostrou a nítida separação de duas unidades distintas. A superior, predominantemente argilosa e com espessura de até 20 m, corresponderia aos depósitos da planície aluvial do Paraná do Ariaú e, a inferior, predominantemente arenosa e disposta na profundidade de 20 a 60 m, à unidade miocena (Formação Novo Remanso), que compõe o substrato da referida depressão. A unidade inferior arenosa, descrita nas sondagens à percussão, possui características consistentes com os depósitos arenosos friáveis da Formação Novo Remanso, que ocorrem em muitos locais próximos ao GPA.

O GPA, assim como os demais grábens descritos na região, é pouco profundo, com até 20 m de profundidade, o que não é consistente com o paleocanal de um rio com o porte do Negro, que apresenta cerca de 100 de profundidade na região de Manaus.

Adicionalmente, a análise discriminante linear mostrou compatibilidade geoquímica entre as amostras das planícies aluviais do Rio Solimões e Paraná do Ariaú, o que indica a grande influência do aporte sedimentar do Rio Solimões no preendimento sedimentar do GPA. Em termos cronológicos, a idade de cerca de 40.000 anos AP, obtida para os depósitos de terraços que preenchem o GCC, localizado entre o GPA e Manaus, indica que o rio já corria por esse caminho a esta época. Terraços fluviais de idade entre 27.000 a 40.000 anos AP foram também reconhecidos no curso superior do Rio Negro, próximo a São Gabriel da Cachoeira, e denominados de Formação Tiquié (Latrubesse & Franzinelli 1998, 2005).

Verifica-se, portanto, que os dados sedimentológicos, estratigráficos, geoquímicos e geocronológicos mostram que o preenchimento sedimentar do GPA ocorreu sob aporte sedimentar do Rio Solimões, em contraposição ao proposto por Silva (2005). O modelo porposto por Almeida-Filho & Miranda (2007) revela-se mais consistente para uma ligação pretérita entre os rios Negro e Solimões, via Rio Padauari, no intervalo de tempo compreendido entre 400.000 (idade dos paleossolos do GCP) e 40.000 anos AP.

5.7.2 *INTERPRETAÇÃO TECTONO-SEDIMENTAR DO GCP*

No desenvolvimento do GCP (Fig. 5.61), o abatimento de blocos por falhas normais produziu um suave e diferenciado basculamento do assoalho, ora para SW ora para NE (Estágio 1), criando uma extensa área alagada abastecida pelo Rio Negro por estreitos canais de ligação, onde sedimentos finos foram depositados por suspensão principalmente nas bordas sudoeste e nordeste do GCP (Estágio 2). Com a total inundação da área, sedimentos finos progressivamente preencheram completamente a área abatida (Estágio 3) e sucessivos pulsos de reativação de falhas provocaram escalonamentos dos sedimentos nos rumos SW e NE, aumentando o espaço de acomodação nestes sentidos (Estágios 4, 5 e 6). Conforme os blocos foram sendo abatidos, as partes elevadas isoladas na porção leste do GCP foram progressivamente sendo estabilizadas por vegetação e submetidas a processos de dissecação e pedogênese. As feições desse escalonamento se refletem no relevo atual (Estágio 6), como linhas suavemente curvadas, de direção geral NW-SE.