



UFAM

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS

PROVENIÊNCIA DA FORMAÇÃO IÇÁ E DE SEDIMENTOS DO RIO
SOLIMÕES, ENTRE OS MUNICÍPIOS DE TEFÉ E MANACAPURU –
AMAZONAS

MARCELO BATISTA MOTTA

MANAUS
2008

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS

MARCELO BATISTA MOTTA

PROVENIÊNCIA DA FORMAÇÃO IÇÁ E DE SEDIMENTOS DO RIO
SOLIMÕES, ENTRE OS MUNICÍPIOS DE TEFÉ E MANACAPURU –
AMAZONAS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geociências da Universidade Federal do Amazonas, como parte do requisito para obtenção do título de Mestre em Geologia, área de concentração em Geologia Regional.

Orientadora: Prof^ª. Dra Adriana Maria Coimbra Horbe

MANAUS
2008

Ficha Catalográfica
(Catalogação na fonte realizada pela Biblioteca Central - UFAM)

Motta, Marcelo Batista

M921p Proveniência da Formação Içá e de sedimentos do rio Solimões, entre os municípios de Tefé e Manacapuru – Amazonas / Marcelo Batista Motta. - Manaus: UFAM, 2008.

112 f.; il.

Dissertação (Mestrado em Geologia) — Manaus, Universidade Federal do Amazonas, 2008.

Orientadora: Prof^a. Dra Adriana Maria Coimbra Horbe

1. Geomorfologia 2. Solos – Formação 3. Solos -
Composição I. Universidade Federal do Amazonas II. Adriana
Maria Coimbra Horbe III. Título

CDU 551.4(811.3)(043.3)

MARCELO BATISTA MOTTA

PROVENIÊNCIA DA FORMAÇÃO IÇÁ E DE SEDIMENTOS DO RIO
SOLIMÕES, ENTRE OS MUNICÍPIOS DE TEFÉ E MANACAPURU –
AMAZONAS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-
Graduação em Geociências da Universidade
Federal do Amazonas, como parte do
requisito para obtenção do título de Mestre em
Geociências, área de concentração em
Geologia Regional.

Aprovado em 15 de julho de 2008.

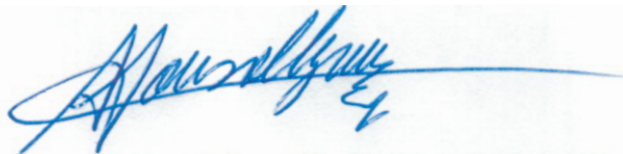
BANCA EXAMINADORA



Prof.^a. Dr.^a. Adriana Maria Coimbra Horbe
Universidade Federal do Amazonas - UFAM



Prof.^a. Dr.^a. Ana Maria Góes
Universidade de São Paulo - USP



Prof. Dr. Afonso César Rodrigues Nogueira
Universidade Federal do Pará - UFPa



UFAM

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS
DEPARTAMENTO DE GEOCIÊNCIAS
COORDENAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS

ATA DA DEFESA DE DISSERTAÇÃO

Aluno: Marcelo Batista Motta

Orientador: Adriana Maria Coimbra Horbe

Aos quinze dias do mês de julho do ano de dois mil e oito, às 9h00min, na sala I-19, do Departamento de Geociências/ICE/UFAM, Campus Setor Sul, cidade de Manaus, estiveram reunidos os Professores Doutores Adriana Maria Coimbra Horbe (orientadora e presidente da Banca), Ana Maria Góes (USP) e Afonso César Rodrigues Nogueira (UFPa) para proceder à avaliação da Dissertação de Mestrado do discente MARCELO BATISTA MOTTA, intitulada: "Proveniência da Formação Içá e de Sedimentos do Rio Solimões, entre os Municípios de Tefé e Manacapuru - Amazonas". Após a apresentação pública da dissertação do mestrando, onde estiveram presentes cerca de 27 pessoas, entre professores, alunos e outros convidados, os membros da Banca Examinadora procederam a seus comentários e arguições emitindo parecer substanciado e o conceito ***APROVADO***, conforme ficha em anexo. Nada mais havendo a tratar, eu, Antonio Marcos Lima Gonçalves, secretário, lavrei a presente ata, que após ser lida e aprovada será assinada por quem de direito. Manaus, 15 de julho de 2008.

Prof^a.Dr^a. Adriana Maria Coimbra Horbe (UFAM)
Orientadora/Presidente

Prof^a.Dr^a. Ana Maria Góes (USP)
Membro

Prof.Dr. Afonso César Rodrigues Nogueira (UFPa)
Membro

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais Raimundo Souza
Motta e Raimunda Nogueira Batista (*in memoriam*).
Às minhas irmãs Marisol Motta, Marilene Motta, Marilza
Motta, Marines Motta, Rosiney Motta (*in memoriam*) e
Regina Motta,
À meus sobrinhos Jordânia Motta, Janaína Motta, João
Motta, Jussara Motta, Larissa Motta, Otávio Motta e
Leandro Motta.
À minha noiva Adriana Santos Sevalho pelo incentivo e
força.
Aos meus amigos em geral.

A eles, isto e tudo.

AGRADECIMENTOS

Ao órgão fomentador dessa pesquisa CNPq e à CAPES que implementou a bolsa de estudos.

À Universidade Federal do Amazonas, com referência ao Departamento de Geociências pelo ambiente cedido para que pudéssemos desenvolver nossa pesquisa.

À minha orientadora, Prof^ª. Dr^ª. Adriana Maria Coimbra Horbe, pela orientação, discussões e críticas, bem como pela confiança e companheirismo durante o desenvolvimento deste trabalho.

Ao Prof^º. Dr. Afonso César Rodrigues Nogueira pelas discussões e sugestões concernentes a este.

Ao Sr. Hilton Túlio Costi (Museu Parensis Emílio Gueldi) e Prof^º. Dr. Lamarão da UFPA pelas análises de MEV.

Aos professores do Departamento de Geociências, Cláudio Milliotti, Lucindo Fernandes, Valmir Souza, Rielva Solimare, Albertino Carvalho, João Carvalho, Rutênio e demais pelo incentivo.

Aos bolsistas DCR Mônica Elizetti de Freitas, Jackson Douglas e Cláudia Cândida Silva pelas sugestões.

Agradeço também aos colegas de curso (PPGEO/UFAM):

Paulo José Mota, Keila Aniceto, Joelson Lima Soares, Humberto Abinader pelo companheirismo durante nossa longa jornada.

Ao doutorando José Bandeira Cavalcante da Silva Júnior (JB) – UFPA, pela ajuda durante trabalhos de campo; Carlos Augusto Oliveira pelo suporte ao Arc View para construção do mapa.

Agradeço também aos colegas da graduação (Geologia/UFAM):

Edson Bulhão Lima, Suely Costa Israel, Gilmar Honorato, Roberto César, Ismael Costa, Newton Cortez

Ao técnico Marcos pela ajuda nos trabalhos de campo e na confecção de lâminas petrográficas.

Em fim a todas as pessoas que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho. Recebam meu muito obrigado!!!

Epígrafo

Nas voltas que o mundo deu. . . Tua mão estendida estava!
Raimunda Nogueira Batista (*minha mãe*)

RESUMO

A análise de minerais pesados transparentes em arenitos e areias recentes da porção centro leste da Bacia do Solimões, ao longo do rio homônimo, região entre Tefé e Manacapuru – Amazonas diferenciou claramente os depósitos da Formação Içá, bem como os sedimentos recentes do rio Solimões. As assembléias minerais descritas foram zircão, turmalina, rutilo, anatásio, cianita, sillimanita, andalusita, estaurolita, granada, monazita, epidoto, mica, piroxênio e anfibólio, enquanto titanita, brookita e olivina ocorrem como traços. O estudo morfológico do zircão mostrou a existência de treze tipos na porção inferior e onze na porção superior da Formação Içá, bem como quatorze nos sedimentos recentes do rio Solimões. Os tipos D, S12 e S13 são abundantes e comuns nas duas unidades, enquanto S2, S8 e S24 restringem-se à porção inferior e P4 e S18 são restritos à porção superior da Formação Içá, enquanto I, S3, S17 e S22 ocorrem apenas nos sedimentos recentes do rio Solimões. Todos estes tipos bem como os demais citados no estudo morfológico reportam a granitos alcalinos, calci-alcalinos, granitos toleíticos, charnoquitos, monzonitos e granodioritos. Por outro lado às variedades mineralógicas como uvita e dravita (turmalina), espessartita, knorringita e almandina (granada), enstatita e ferrosilita (piroxênio), crossita e tirodita (anfibólio), mukhinita (epidoto), biotita e anandita (mica), também mostraram que nas unidades estudadas além de rochas ígneas, há participação de fontes metamórficas, bem como sedimentos da própria Bacia do Solimões e possivelmente da Bacia do Acre. De outro modo a contribuição metamórfica fica evidente a partir dos teores de polimorfos de Al_2SiO_5 . Destes em particular a andalusita se mostrou um importante indicador mineralógico para os depósitos da porção inferior da Formação Içá, enquanto a porção superior detém altos teores de mica (biotita e anandita). Além dos dados de variedades mineralógicas e morfologia de zircão os fragmentos de rocha confirmam a contribuição de biotita granito (fonte ígnea), gnaiss, quartzito, filito, mica-xisto (fonte metamórfica), quartzo-arenito, argilito (fonte sedimentar), arenito cimentado por gohetita e fragmentos ferruginosos (depósitos lateritizados). Estes dados associado às análises de paleocorrentes mostram que o fluxo de siliciclásticos proveio de oeste para leste da Bacia do Solimões. Os dados apresentados permitem atribuir para a Formação Içá fonte ígnea e metamórfica associada ao escudo cristalino brasileiro e suas províncias geocronológicas, enquanto os sedimentos recentes são supridos principalmente por fontes andinas, bem como retrabalhamento das unidades neógenas da Bacia do Solimões e possivelmente da Bacia do Acre. A presença de um limite entre as Formações Solimões e Içá, marcado por andalusita e mica é um fato nunca antes registrado na literatura referente ao Neógeno da Amazônia Ocidental.

Palavras chave: Solimões, Içá, sedimentos recentes, tipologia de zircão, minerais pesados

ABSTRACT

The transparent heavy minerals analysis in sandstone and recent sands of the middle-east part of Solimões Basin, along homonym river, between region Tefé and Manacapuru – Amazonas, clearly showed difference Pleistocene deposits, related to the Içá Formation, respectively, as well as recent sediments the Solimões River. The described mineral assemblage was: zircon, tourmaline, rutile, anatase, kyanite, sillimanite, andalusite, staurolite, garnet, monazite, epidote, biotite and anandita (mica group), pyroxene and amphibole, while titanite, brookite and olivine occur as traces. The morphological study of zircon showed the existence of thirteen types in the lower part and eleven types in the upper part the Içá Formation, as well as fourteen types in the recent sediments of the Solimões River. The types D, S12 and S13 are abundant and ordinary in all unities, while S2, S8 and S24 are restricted in the lower part Içá Formation, and P4 and S18 are restricted in the upper part Içá Formation, as well as I, S3, S17, and S22 types occur only in the recent sediments of the Solimões River. All these types, as well as, other cited in the morphologic studies report alkaline, calc-alkaline granites, toleithics granites, charnockites, monzonites and granodiorites. On the other hand, the mineralogics varieties as uvite and dravite (tourmaline), spessartine, knorringite and almandine (garnet), enstatite and ferrosilite (pyroxene), crossite and tirodite (amphibole), mukhinite (epidote), biotite and anandite (mica group), has also shown that the studied unities, more than igneous rocks, there's also the participation of metamorphic sources, as well as sediments of Solimões Basin and, possibly, the Acre Basin one. The metamorphic contribution is evident from polymorph of Al_2SiO_5 percent. These, in particular the andalusite, it has shown an important mineralogical indicator for lower deposits of the Içá Formation, as well as, upper deposits of the Içá Formation has high percent of biotite and anandite. More than zircon mineralogics and morphologics varieties data, the fragments of rock confirm the biotite granite contribution (igneous source), gnaiss, quartzite, filite, sheet-shale (metamorphic source), quartz-arenite, argillite (source sedimentary) and sandstone cemented for goethite, ferruginous fragments (weathering deposits). In association to these data the analyses of paleofluxes still show that the flow of siliciclastics came from west for east, of the Solimões Basin. Is possible attribute for the Içá Formations igneous and metamorphic source associated to the Brazilian Crystalline Shield and its geochronologics provinces, while the recent sediments are mainly supplied by Andean sources, as well as rework of the Neogene units of the Solimões Basin and, possibly, the Acre Basin. The presence of a limit between the lower and upper part of the Içá Formations, marked for andalusite and mica group (biotite and anandite) is a fact never registered before in referring literature to the Western Amazon Neogene.

Keyword: Solimões, Içá, zircon typology, heavy minerals, fluvial recent sediments

SUMÁRIO

RESUMO.....	vii
ABSTRACT.....	viii
LISTA DE ILUSTRAÇÕES.....	xi
LISTA DE TABELAS.....	xiv
1. INTRODUÇÃO.....	15
1.1 APRESENTAÇÃO.....	15
2. OBJETIVOS.....	16
2.1 OBJETIVOS GERAIS.....	16
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	16
3. LOCALIZAÇÃO E ACESSO.....	16
4. ESTADO DA ARTE.....	18
4.1 MINERAIS PESADOS.....	18
4.1.1 Dificuldades e alternativas para interpretação da proveniência.....	18
4.1.2 Estudos de proveniência por meio do zircão.....	20
4.1.2.1 Zircão.....	21
5. MATERIAIS E MÉTODOS.....	26
5.1. COLETA E TRATAMENTO DAS AMOSTRAS.....	26
5.1.1 Coleta de amostras.....	26
5.1.2 Peneiramento.....	27
5.1.3 Concentração por gravidade.....	28
5.1.4 Concentração por líquido denso.....	28
5.1.5 Separação magnética.....	29
5.1.6 Preparação de Lâminas.....	29
5.1.7 Técnicas analíticas.....	30
5.1.8 Medidas de Paleocorrentes.....	31
6. ASPECTOS GEOLÓGICOS.....	32
6.1 BACIA DO SOLIMÕES.....	32
6.2. TRABALHOS PRÉVIOS.....	34
6.2.1 Formação Solimões.....	34
6.2.2 Formação Içá.....	36
6.2.3 Sedimentos Recentes.....	37
7. RESULTADOS.....	38
7.1 DESCRIÇÃO DE AFLORAMENTOS.....	38
7.1.1 Formação Solimões.....	38

7.1.2	Formação Içá.....	41
7.1.3	Perfis Litoestratigráficos.....	43
7.1.4	Sedimento Recente.....	45
7.2	CLASSIFICAÇÃO DOS ARENITOS.....	47
7.2.1	Fragmentos de Rocha.....	48
8. MINERAIS PESADOS TRANSPARENTES DAS FORMAÇÕES SOLIMÕES, IÇÁ E SEDIMENTOS RECENTES.....		50
8.1	QUANTIFICAÇÃO.....	50
8.1.1	Aspectos Comparativos.....	58
8.1.2	Índice ZTR.....	62
8.1.3	Razão And/ZTR+And e Mi/ZTR+Mi.....	62
8.2	ASPECTOS DESCRITIVOS.....	65
8.2.1	Zircão.....	65
8.2.2	Sillimanita.....	72
8.2.3	Piroxênio.....	72
8.2.4	Anfibólio.....	73
8.2.5	Estaurolita.....	73
8.2.6	Andalusita.....	75
8.2.7	Granada.....	75
8.2.8	Titanita.....	77
8.2.9	Cianita.....	77
8.2.10	Rutilo.....	77
8.2.11	Olivina.....	79
8.2.12	Turmalina.....	79
8.2.13	Brookita.....	79
8.2.14	Epidoto.....	80
8.2.15	Topázio.....	80
8.2.16	Monazita.....	80
8.2.17	Anatásio.....	82
8.2.18	Mica.....	82
8.2.19	Coríndon, Gahnita, Ilmenita, Ilmenorutilo-struverita.....	82
9. MORFOLOGIA DO ZIRCÃO.....		83
9.1	ASPECTOS EXTERNOS E INTERNOS DO ZIRCÃO.....	83
9.1.1	Morfologia Externa.....	83
9.1.2	Distribuição do zircão.....	88
9.1.3	Estrutura Interna.....	92
10. PALEOFLUXO.....		94
11. DISCUSSÃO.....		96
11.1	PROVENIÊNCIA.....	97
CONCLUSÕES.....		102
REFERÊNCIAS.....		104

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

<i>Figura 1. Mapa de localização, geológico e de coletas ao longo dos rios Solimões e Purus.....</i>	<i>17</i>
<i>Figura 2. Quadro tipológico do zircão (Pupin 1980).....</i>	<i>23</i>
<i>Figura 3. Pontos de coleta de amostras ao longo da calha do rio Solimões com corte mostrando a estratificação cruzada plano-paralela.....</i>	<i>26</i>
<i>Figura 4. Peneiramento das amostras e concentração de minerais pesados por fluxo gravitacional em elutriador.....</i>	<i>27</i>
<i>Figura 5. Separação de minerais pesados dos leves por meio de bromofórmio e magnéticos com ímã de mão.....</i>	<i>29</i>
<i>Figura 6. Lâminas preparadas para petrografia, análise de difração de raios X-DRX e análise de microscopia eletrônica de varredura-MEV.....</i>	<i>30</i>
<i>Figura 7. Modalidades de paleocorrentes em função da variação do fluxo (Pettijhon et al. 1973 modificado de Selley 1968).....</i>	<i>31</i>
<i>Figura 8. Mapa da bacia do Solimões e suas principais feições estruturais.....</i>	<i>32</i>
<i>Figura 9. Carta estratigráfica da bacia do Solimões, modificada de Eiras et al. (2004).....</i>	<i>33</i>
<i>Figura 10. Afloramento da Formação Solimões entre os municípios de Codajás e Coari. A) Lobos deltaicos com camadas inclinadas de pelito/argilite cinza, B) Argilitos acinzentados intercalados por camadas de arenito mostrando ciclos granodecrescentes ascendentes.....</i>	<i>38</i>
<i>Figura 11. Acumulações orgânicas e estruturas sedimentares nas proximidades da foz do lago de Beruri.....</i>	<i>39</i>
<i>Figura 12. Arenito alaranjado estratificação com legs disseminados no topo intercalado com camadas de argilite cinza truncado em baixo ângulo.....</i>	<i>40</i>
<i>Figura 13. Arenitos avermelhados que constitui uma barra em seção longitudinal com estratificação plano-paralela e cruzada acanalada de pequeno porte.....</i>	<i>41</i>
<i>Figura 14. Afloramento da Formação Içá nas proximidades do município de Tefé com até 25m de altura.....</i>	<i>41</i>

<i>Figura 15. Escarpa fluvial da Formação Içá formada por arenitos com estratificação cruzada acanalada incipiente, médio a grosso com matriz argilosa e fino avermelhado com lentes de argila.....</i>	<i>42</i>
<i>Figura 16. Perfis litoestratigráficos das Formações Solimões e Içá, com os pontos de coleta e divisão estratigráfica adaptada de Vega (2005).....</i>	<i>44</i>
<i>Figura 17. Geograma de um trecho do rio Solimões nas proximidades do município de Coari, com ponto de coleta de sedimentos recente.....</i>	<i>46</i>
<i>Figura 18. Diagrama triangular mostrando os tipos de arenitos dos depósitos estudados.....</i>	<i>48</i>
<i>Figura 19. Principais fragmentos de rochas que compõem o arcabouço dos arenitos e areias estudadas.....</i>	<i>49</i>
<i>Figura 20. Distribuição dos minerais pesados das Formações Solimões e Içá no intervalo 0,062mm a 0,125mm.....</i>	<i>59</i>
<i>Figura 21. Distribuição dos minerais pesados das Formações Solimões e Içá no intervalo 0,125mm a 0,250mm.....</i>	<i>60</i>
<i>Figura 22. Distribuição dos minerais pesados dos sedimentos recentes nos intervalos 0,062mm a 0,125mm e 0,125mm a 0,250mm.....</i>	<i>61</i>
<i>Figura 23. Diagrama ternário mostrando o comportamento do índice zircão+turmalina+rutilo (ZTR) das unidades e relação entre minerais ultra-estáveis (ZTR)/ estáveis (CSAnd)/ instáveis (EpPAf).....</i>	<i>63</i>
<i>Figura 24. Diferenciação entre as Formações Solimões e Içá por meio da razão usando andalusita e mica.....</i>	<i>64</i>
<i>Figura 25. Assembléia de minerais pesados da Formação Solimões.....</i>	<i>66</i>
<i>Figura 26. Assembléia de minerais pesados da Formação Içá.....</i>	<i>67</i>
<i>Figura 27. Assembléia de minerais pesados encontrados nos sedimentos recente ao longo do rio Solimões entre Tefé e Manacapuru.....</i>	<i>68</i>
<i>Figura 28. Assinaturas difratométricas do zircão, sillimanita e piroxênio.....</i>	<i>69</i>
<i>Figura 29. Grãos observados por meio de Imagens de microscopia eletrônica de varredura.....</i>	<i>71</i>
<i>Figura 30. Assinaturas difratométricas do anfibólio, estauroлита e andalusita.....</i>	<i>74</i>
<i>Figura 31. Assinaturas difratométricas da andalusita e granadas.....</i>	<i>76</i>

<i>Figura 32. Assinaturas difratométricas da cianita, rutilo e turmalina.....</i>	<i>78</i>
<i>Figura 33. Assinaturas difratométricas da mukhinita, topázio e mica.....</i>	<i>81</i>
<i>Figura 34. Populações de zircão identificadas nas Formações Solimões, Içá e sedimentos recentes ao longo do rio Solimões no trecho entre Tefé e Manacapuru.....</i>	<i>83</i>
<i>Figura 35. Imagens de microscopia eletrônica de varredura em modo elétrons secundários dos grãos de zircão encontrados na Formação Solimões.....</i>	<i>84</i>
<i>Figura 36. Imagens de microscopia eletrônica de varredura em modo elétrons secundários dos grãos de zircão encontrados na Formação Içá.....</i>	<i>85</i>
<i>Figura 37. Imagens de microscopia eletrônica de varredura em modo elétrons secundários dos grãos de zircão encontrados nos sedimentos recentes.....</i>	<i>86</i>
<i>Figura 38 Principais tipos morfológicos de zircão que ocorrem ao longo das seções vertical das Formações Solimões e Içás.....</i>	<i>89</i>
<i>Figura 39. Distribuição dos tipos de zircão nas unidades estudadas.....</i>	<i>90</i>
<i>Figura 40. Estruturas internas de diferentes tipos de zircão observadas por microscopia eletrônica de varredura no modo de elétrons retro-espalhados.....</i>	<i>93</i>
<i>Figura 41. Diagrama de rosetas mostrando as principais direções das paleocorrentes.....</i>	<i>95</i>
<i>Figura 42. Limites propostos para as Formações Solimões e Içá.....</i>	<i>96</i>
<i>Figura 43. Províncias geocronológicas do Cráton Amazônico.....</i>	<i>99</i>
<i>Figura 44. Geograma mostrando área produtora de sedimentos e direções do paleofluxo.....</i>	<i>101</i>

LISTA DE TABELAS

<i>Tabela 1: Classificação dos grupos de minerais pesados de acordo com sua estabilidade, modificado de Pettijohn et al. (1973).....</i>	<i>20</i>
<i>Tabela 2: Razão de Zr/Hf e conteúdo de Y e Hf.....</i>	<i>24</i>
<i>Tabela 3. Concentração de elementos traços (ppm) em zircão de dez tipos de rochas ígneas segundo Belousova & Griffin (2002).....</i>	<i>24</i>
<i>Tabela 4. Tipos e subtipos de zircão encontrado em granitóides do oeste australiano, com destaque para a relação entre a morfologia e assinatura de elementos traços (Belousova et al. 2006).....</i>	<i>25</i>
<i>Tabela 5. Quantitativo dos grãos de quartzo, feldspato e fragmento de rocha.....</i>	<i>47</i>
<i>Tabela 6. Proporção dos minerais pesados em cada perfil.....</i>	<i>51</i>
<i>Tabela 7. Proporção dos minerais pesados dos sedimentos recentes.....</i>	<i>57</i>
<i>Tabela 8. Comparação dos teores de minerais pesados das unidades estudadas.....</i>	<i>58</i>
<i>Tabela 9: Principais reflexões das variedades de minerais identificados por difração de raios X.....</i>	<i>70</i>
<i>Tabela 10: Distribuição e individualização das populações de zircão das três unidades com base na classificação de Pupin (1980) e cor.....</i>	<i>87</i>
<i>Tabela 11. Proporção dos tipos morfológicos de zircão encontrados nas Formações Solimões e Içá.....</i>	<i>91</i>
<i>Tabela 12. Proporção dos tipos morfológicos de zircão encontrados nos sedimentos recentes.....</i>	<i>92</i>

1. INTRODUÇÃO

1.1 APRESENTAÇÃO

A Bacia sedimentar do Solimões tem recebido atenção especial nos últimos anos em função de problemas geológicos ainda existentes ou em fase de revisão. Estudos palinológicos (Hoorn 1994, Hoorn *et al.* 1995, Silveira 2005), estratigráficos (Gingras *et al.* 2002, Nogueira *et al.* 2003, Rossetti *et al.* 2005; Vega 2006), mineralógicos e geoquímicos (Horbe *et al.* 2007) tem contribuído para o estabelecimento de uma base sólida de informações a respeito das unidades que nela afloram. Contudo, entre as cidades de Tefé e Manacapuru, objetivou-se o estudo da proveniência dos depósitos da Formação Içá e sedimentos recentes do rio Solimões, frente à carência de informações sobre o tema. Minerais pesados são uma das técnicas utilizadas para tal estudo, pois estes têm uma paragênese muito restrita e específica e, por isso, dão informações cruciais a respeito da proveniência (Morton & Hallsworth, 1994). Estudos anteriores na Bacia do Solimões, (Rossetti *et al.* 2005, Motta *et la.* 2007) descrevem espécies minerais e associações de minerais pesados para os depósitos da Formação Içá, que conseqüentemente são bem diferentes dos depósitos quaternários do rio Solimões descritos por Landin *et al.* (1983) e Franzinelli & Potter (1985). Estes dados permitiram aos autores correlações genéricas com fontes andinas e do Cráton Amazônico, faltando, entretanto, um estudo detalhado das variedades mineralógicas, a fim de identificar com maior precisão as rochas fonte. Para tanto, além da petrografia convencional, a difratometria de raios X mostrou que alguns minerais apresentam até três variedades (ex.granadas), enquanto o estudo morfológico do zircão via MEV reporta fontes específicas (Pupin 1980), assim como os fragmentos de rocha. Por fim, os resultados deste estudo mostraram ampla distribuição de minerais pesados, advindos principalmente da porção andina e da própria Bacia do Solimões, bem como contribuições significativas de rochas do Cráton Amazônico.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVOS GERAIS

Promover o entendimento acerca da proveniência dos arenitos da Formação Içá e sedimentos recentes, ao longo da calha do rio Solimões no trecho entre as cidades de Tefé e Manacapuru-Amazonas.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) identificação e quantificação dos minerais pesados transparentes que ocorrem nas unidades supracitadas;
- b) caracterização morfológica dos grãos de zircão a fim de correlacioná-los com sua rocha fonte;
- c) delimitar a porção inferior e superior da Formação Içá com base nas assembléias de minerais pesados;
- d) tecer considerações a respeito da proveniência dos materiais siliciclásticos que constituem as referidas unidades.

3. LOCALIZAÇÃO E ACESSO

A área de estudo situa-se na porção central do Estado do Amazonas, corresponde à parte centro-leste da Bacia Solimões e extremo oeste da Bacia do Amazonas onde ocorrem as Formações Solimões, Içá e sedimentos recentes (Fig.1). A área é limitada pelo curso do rio Solimões, a oeste tem-se a cidade de Alvarães e a leste a cidade Manaus. Na margem esquerda do rio homônimo, no trecho especificado estão situadas as cidades de Codajás e Manacapuru, enquanto na margem direita estão as cidades de Tefé e Coari. Entre a comunidade Tapuru e a foz do rio Purus localiza-se a cidade de Beruri na margem direita.

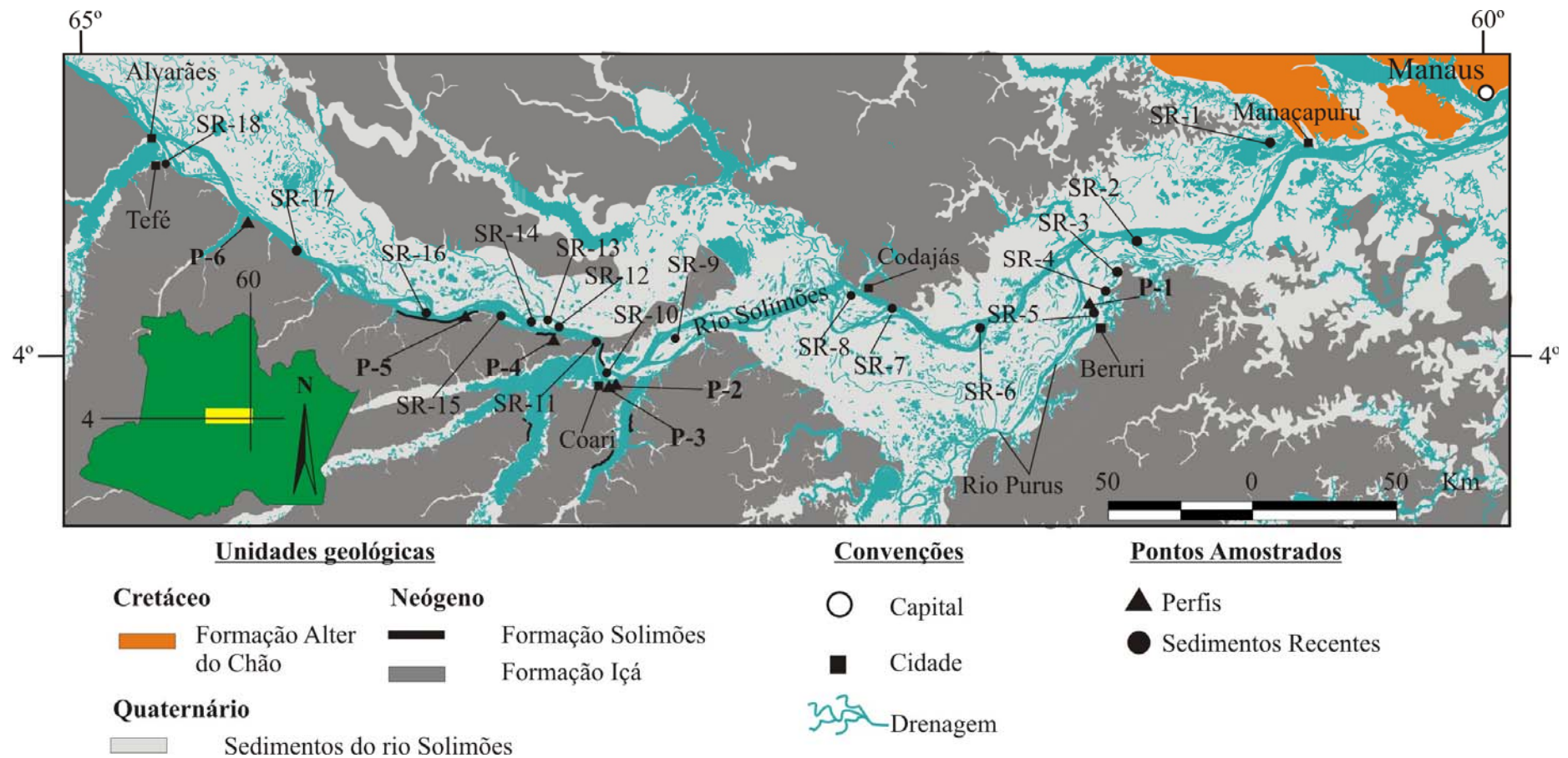


Figura 1. Mapa de localização e amostragem, com os pontos de coletas ao longo dos rios Solimões e Purus. Pontos circulares compreendem aos sedimentos do rio Solimões (SR), e triangulares aos perfis (P-1, 2, 3, 4, 5 e 6) das Formações Solimões e Içá.

4. ESTADO DA ARTE

4.1 MINERAIS PESADOS

Minerais acessórios com peso específico superior a $2,85 \text{ g/cm}^3$ em relação aos minerais comuns tais como feldspato, quartzo e micas ($2,60 \text{ g/cm}^3$), são denominados de minerais pesados (Pettijohn *apud* 1975 Morton 1985; Suguio 2003). Além da alta densidade, tais minerais são bastante resistentes ao intemperismo e sua acumulação em rochas sedimentares soma até 1% do volume das mesmas.

Estas características, bem como os tipos de minerais e sua composição química são as chaves fundamentais para o entendimento da proveniência das rochas sedimentares (Force 1980, Deer *et al.* 1992; Zack *et al.* 2002, 2004; Morton 1985, 1991, Morton *et al.* 2005). Segundo Pettijohn (1975 *apud* Weltje & Eynatten 2004) o entendimento da proveniência é simples, ao ponto que cada tipo de rocha, gera uma assembléia mineral característica, porém, torna-se difícil quando há aporte de fontes diversificadas. Além disso, a seleção física, abrasão e dissolução por fluidos intraestratais também contribuem para tais modificações (Morton 1985, Morton *et al.* 2005; Morton & Hallsworth 1999).

4.1.1 Dificuldades e alternativas para interpretação da proveniência de rochas sedimentares

Minerais pesados têm sido amplamente estudados em função de sua resistência, em parte, aos processos que atuam durante o ciclo sedimentar, sejam eles de natureza física (seleção física, abrasão e saltação) ou química (dissolução). Em relação ao primeiro, a seleção física é o produto da interação entre o tamanho da partícula e a força hidrodinâmica que atua durante o transporte e deposição – os grãos são depositados em função do seu tamanho, forma e densidade; a abrasão é o responsável pela redução do tamanho dos grãos em função do

desgaste das faces arestas e vértices que culmina no seu arredondamento e esfericidade, bem como a saltação promove o fraturamento e conseqüentemente a quebra dos mesmos (Pettijohn *et al.* 1973, Morton 1985, Morton *et al.* 2005). Por outro lado, a dissolução é o principal fator responsável pela modificação composicional das associações de minerais pesados, principalmente os instáveis, ainda na rocha fonte e durante o transporte, exposição subaérea e diagênese na rocha hospedeira (Pettijohn *et al.* 1973, Morton & Hallsworth 1999). Tudo isso dificulta as interpretações quanto à proveniência (Morton 1985, Mange & Maurer 1991, Morton & Hallsworth 1999). As alternativas encontradas são estudar os minerais mais estáveis e o uso de índices de proveniência como o ZTR (zircão+turmalina+rutilo) (Morton 1985), bem como índices ZTR+E (E = estauroлита) (Morton 1985) e AZr (100 x apatita/apatita+zircão) que podem dar informação sobre o grau de intemperismo, GZr (100 x granada/granada+zircão) como indicador de diagênese (Morton & Hallsworth 1994) e MZr (100 x monazita/monazita+zircão) para auxiliar no cálculo da maturidade, juntamente com o I/E (instáveis/estáveis) (Morton 1985; Morton *et al.* 2005).

Pettijohn *et al.* (1973 *apud* Weltje *et al.* 2004) classificou os minerais pesados em muito instáveis, instáveis, moderadamente estáveis, estáveis e ultraestáveis (Tabela 1). Suguio (2003) apresenta classificação para os mesmo em opacos, micáceos, meta-estáveis e ultra-estáveis.

Tabela 1: Classificação dos grupos de minerais pesados de acordo com sua estabilidade. Modificado de Pettijohn *et al.* (1973).

Estabilidade	Minerais	Fórmula Química	Densidade
Muito instável	Olivina	$(\text{Mg,Fe})_2\text{SiO}_4$	4.39
Instáveis	Hornblenda	$(\text{Ca,Na,K})_{2-3}(\text{Mg,Fe}^{+2},\text{Fe}^{+3},\text{Al})_5\text{Si}_6(\text{Si,Al})_2\text{O}_{22}(\text{OH,F})_2$	3.0 – 3.4
	Diopsídio	$\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$	3.22 – 3.38
	Actinolita	$\text{Ca}_2(\text{Mg,Fe}^{+2})_5\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH,F})_2$	3.03 – 3.24
	Augita	$(\text{Ca,Mg})(\text{Fe}^{+2}, \text{Fe}^{+3}, \text{Ti,Al})_2(\text{Si,Al})_2\text{O}_6$	3.2 – 3.4
	Hiperstênio	$(\text{Mg, Fe})\text{SiO}_3$	3.4 – 3.5
	Apatita	$\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{F,Cl,OH})$	3.15 – 3.20
Moderadamente estáveis	Epidoto	$\text{Ca}_2(\text{Al,Fe})_3\text{Si}_3\text{O}_{12}(\text{OH})$	3.35 – 3.45
	Cianita	Al_2SiO_5	3.55 – 3.66
	Andradita	$\text{Ca}_3\text{Fe}_2(\text{SiO}_4)_3$	3.8 – 3.9
	Sillimanita	Al_2SiO_5	3.23
	Titanita	$\text{CaTiO}(\text{SiO}_4)$	3.48 – 3.60
	Zoisita	$\text{Ca}_2\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{12}(\text{OH})$	3.15 – 3.36
Estáveis	Andalusita	Al_2SiO_5	3.13 – 3.16
	Piropo	$\text{Mg}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$	3.58
	Estaurolita	$\text{Al}_4\text{FeSi}_2\text{O}_{10}(\text{OH})_2$	3.65 – 3.75
	Monazita	$(\text{Ce,La,Y,Th})\text{PO}_4$	4.6 – 5.4
Ultra-estáveis	Rutilo	TiO_2	4.18 – 4.25
	Zircão	ZrSiO_4	4.68
	Turmalina	$\text{Na}(\text{Mg,Fe})_3\text{Al}_6(\text{BO}_3)(\text{Si}_6\text{O}_{18})(\text{OH})_4$	2.97 – 3.14
	Anatásio	TiO_2	3.9

4.1.2 Estudos de proveniência

A partir de Milner (1926 *apud* Pettijohn *et al.* 1973) e Boswell (1933 *apud* Pettijohn *et al.* 1973) os minerais pesados ganharam amplo significado no estudo da proveniência dos sedimentos siliciclásticos. Atualmente, a química mineral passou também a ser aplicada, pois permite identificar variações composicionais da rocha fonte e, conseqüentemente fornece mais detalhes sobre os tipos litológicos envolvidos na gênese das rochas sedimentares (Morton 1987, 1991; Zack *et al.* 2001, 2002, 2004).

Técnicas mais sofisticadas como microsonda eletrônica, laser ablation (LA-ICP-MS), sensitive sighth resolution ion microprobe (SHRIMP) e catodoluminescência (CL) acoplada ao

microscópio eletrônico de varredura (MEV), fornecem de modo rápido e eficiente informação sobre a química e idade dos minerais (Morton 1991, Figueiredo 2000).

Neste contexto há estudos de minerais pesados como granadas (White 1996, Morton and Hallsworth 1999, Sabeen *et al.* 2002, Sengupta & Raith 2002), turmalina (Henry and Guidotti 1985, Henry *et al.* 2002, Viator 2003), rutilo (Zack *et al.* 2002, Zack *et al.* 2004), zircão (Morton 1985, Morton 1991), piroxênio (Cawood 1983) anfibólio (Mange-Rajetzky 1981, Mange-Rajetzky and Oberhansli 1982) e epidoto (Yokoyama *et al.* 1990).

4.1.2.1 Zircão

O zircão é um dos minerais detríticos mais resistentes aos processos químicos e físicos que ocorrem na superfície terrestre, quer seja por meio do intemperismo na área fonte, percolação de fluidos no sítio deposicional ou até mesmo ao transporte por longas distâncias (Morton 1985). Por isso, ele é bastante expressivo entre as assembléias de minerais detríticos resistidos da maior parte dos depósitos sedimentares. Outra característica deste mineral é sua resistência às transformações causadas por altas temperaturas em ambientes hidrotermais, metamórficas (Belousova *et al.* 2002) e de anatexia (Barros *et al.* 2005). Apresenta também baixa difusão iônica intracristalina, fato que favorece a preservação de sua composição química e isotópica em eventos geológicos (Cherniak *et al.* 1997).

Geneticamente o zircão está associado a rochas ígneas félsicas, metamórficas, xenólitos mantélicos, além de rochas lunares, meteoritos e tekititos (Pupin 1980, Speer 1982). Devido apresentar concentrações razoáveis de U e Th na sua estrutura, este mineral tornou-se chave para estudos geocronológicos (Gaudette *et al.* 1998; Roelofsen & Veblen 1999; Carter & Bristow 2000; Strnad & Mihaljevič 2005; Vry & Baker 2006).

A partir destas características, o zircão tornou-se indispensável em estudos de proveniência (Caironi *et al.* 1996; Belousova *et al.* 2002), principalmente por causa de suas

variedades morfológicas (prismas e pirâmides) relacionadas com o quimismo de diferentes tipos de magmatismo granítico (Pupin 1980, Sturm 2004), bem como pelas características geoquímicas relacionadas à assinatura de isótopos de Zr, Hf e teores de ETR, U, Th, Nb e Y (Belousova *et al.* 2002, 2006).

Os estudos relacionados à morfologia dos grãos de zircão em rochas ígneas e sedimentares foram impulsionados a partir da década de 60 e 70 com os trabalhos de Poldervaart (1955, 1956 *apud* Speer 1982) e Robson *et al.* (1971 *apud* Speer 1982) que observaram a combinação de prismas com clivagem (110), enquanto Pupin & Turco (1972) observaram as variedades tipológicas relacionadas à temperatura e quimismo do magma. No início da década de 70, uma série de experimentos e estudos petrológicos mostrou que a rápida cristalização afeta o desenvolvimento das faces prismáticas (Kostov 1973 *apud* Speer 1982) e que a natureza félsica do magma favorece o crescimento de cristais tabulares e bipirâmideais (Caruba 1975, 1978 *apud* Speer 1982).

Zircões cristalizados a baixas temperaturas por conta de magmas hidratados desenvolvem prisma {110} e inibem o crescimento de prisma {100}, o que é inversamente proporcional em magmas anhidros (Koler 1970; Pupin & Turco 1972; Jocelyn & Pidgeon 1974 *apud* Speer 1982). Além destes fatores o desenvolvimento dos prismas está associado à variação nos teores de ETR e Hf (Kostov 1973 *apud* Speer 1982).

Pupin (1980), a partir do estudo da morfologia do zircão de diversos tipos de granito, propôs um cenário tipológico com sessenta e quatro formas possíveis para o mesmo. Tal concepção relaciona as formas deste mineral com a escala de cristalização (550 a 900 ± 50 °C) que é controlada pelo teor de voláteis em particular, H₂O. Este controle torna-se responsável pelo desenvolvimento das faces prismáticas (100) em função da (110) (Pupin & Turco 1972, 1975 *apud* Speer 1982), a razão Al_2O_3/Na_2O+K_2O controla o crescimento das faces

piramidais, onde o aumento de Al_2O_3 faz surgir às faces (211) e (112), enquanto o enriquecimento de Na_2O+K_2O desenvolve as faces piramidais (101) e (301) (Fig. 2).

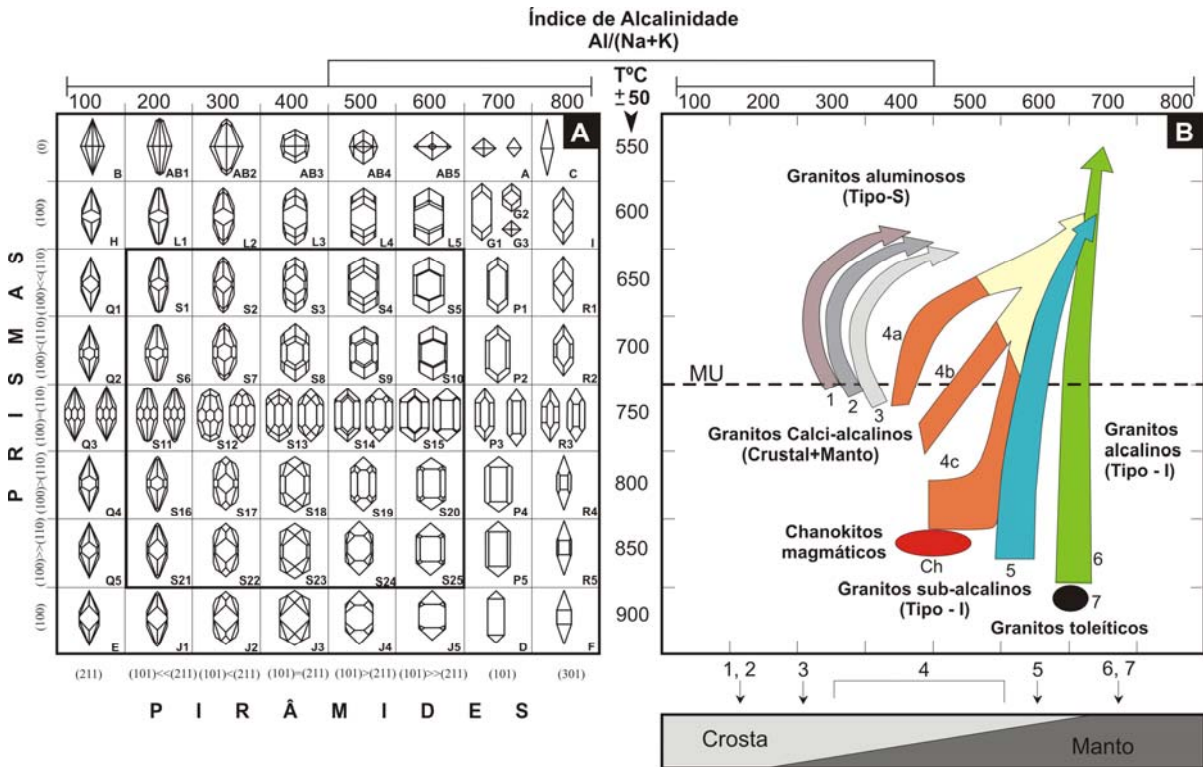


Figura 2. Quadro tipológico do zircão relacionado a diversos tipos de granitos. A) Principais tipos e subtipos da classificação tipológica do zircão com 64 formas possíveis. O índice de alcalinidade $Al/(Na+K)$ controla o desenvolvimento das pirâmides e a temperatura afeta o desenvolvimento dos prismas. B) Classificação petrogenética para as populações de zircão de origem granítica. (1),(2) e (3) são orogênicos (origem crustal): (1) leucogranitos aluminosos; (2) monzogranitos e granodiorito sub/autóctones; (3) monzogranitos e granodiorito aluminosos intrusivos. (4) e (5) granitos de origem crustal + mantélico, granitos híbridos (granitos orogênicos): (4a-c, laranjado) granodioritos + monzonitos; (4a-c, amarelo claro) monzogranitos + granitos alcalinos; (5) granitos da série sub alcalina. (6) e (7) granitos do manto ou principalmente de origem mantélica (granitos anarogênicos): (6) granitos da série alcalina; (7) granitos da série toleítica. Ch, área de charnoquitos magmáticos; MU, limite do muscovita granito (< 725 °C). Modificado de Pupin (1980).

Por outro lado a fórmula química ideal do zircão é composta por 67,22% de ZrO_2 e 32,78% de SiO_2 , contudo este pode formar a solução sólida $ZrSiO_4-HfSiO_4$, cujo primeiro predomina amplamente (Speer 1982). Este último autor menciona que mais de 50 elementos são encontrados na estrutura do zircão, cujos principais são: Hf, Y, U, Th, La, ETR, Lu, Pb, Fe, Na, K, Ti, Nb, Ta, Si, Al, P e S. Hoskin & Black (2000) mostraram que em zircão metamórfico a razão Th/U é $< 0,1$, enquanto Belousova *et al.* (2002) observaram nas rochas ígneas a razão Th/U $> 0,1$ e anomalias em Ce positivas.

Pupin (2000) mostra que concentrações de HfO₂ acima de 2% são restritas a pegmatitos e que a razão Zr/Hf diferencia zircão de vários tipos de rochas ígneas, bem como o conteúdo de Y e Hf ajuda identificar zircão de diferentes ambientes geotectônicos (Tab. 2).

Tabela 2: Razão de Zr/Hf e conteúdo de Y e Hf ajudam a identificar tipos de rochas e ambientes geotectônicos, segundo Pupin (1980).

Razão	Crosta Continental	Granitos Intraplaca	Orogênicos e Anatexia	Sienitos Nefelínico	mantélicos
Zr/Hf	36 - 65	60	< 60	73 - 135	60 - 68

Granitos Toleíticos	Associações Sienito-Granitóides Cálcio-		Granitos de Anatexia
	Granito	Alcalinos	
Hf baixo Y alto	Hf baixo Y médio a alto	Hf médio Y baixo	Hf alto Y baixo

Belousova & Griffin (2002) fizeram um excelente estudo a respeito da concentração de elementos traços no zircão de diferentes tipos de rocha hospedeira, cujos dados obtidos são apresentados na tabela seguir (Tab. 3):

Tabela 3. Concentração de elementos traços (ppm) em zircão de dez tipos de rochas ígneas segundo Belousova & Griffin (2002).

	kimberlito		Lamproito		Carbonatito		Basalto		Dolerito		Granitóide		Sienito		Lavríquito		Pegmatito	
	Min.	Máx.	Min.	Máx.	Min.	Máx.	Min.	Máx.	Min.	Máx.	Min.	Máx.	Min.	Máx.	Min.	Máx.	Min.	Máx.
P	21	343	64	543	21	144	29	238	195	396	110	12,748	—	—	861	2,191	81	390
Ti	<1.9	779	<3.2	68	<3.6	<22	<2.7	17	<12	140	<9.5	24,305	659	719	106	531	6.2	228.6
Mn	<0.06	17	<0.58	4.2	<0.37	4.6	<2.4	31	<1.6	11	<1.6	2,951	—	—	<1.5	84	<0.7	2.6
Fe	<0.01	819	<42	142	<22	59	<83	220	<93	484	<9.1	41,823	—	—	<18	5,389	<33	80
Ga	<0.06	11	<0.38	2.6	<0.38	<1.93	<0.23	4.3	<0.74	6.6	<1.4	67	<0.45	<0.74	<0.18	10	<0.2	0.8
Sr	<0.02	144	<0.12	2.1	<0.03	2.3	<0.06	1.1	<0.35	26	<0.23	655	<0.07	0.15	0.46	11	<0.15	2.0
Y	4.0	194	53	1,081	22	757	83	2,342	821	4,415	376	67,922	120	171	3,075	11,326	911	17,258
Nb	<0.44	23	0.16	5.2	0.70	116	<0.22	76.0	<0.33	1.5	<0.48	3,460	0.75	0.94	6.9	24.3	7.9	73.4
Sn	<0.05	5.5	<0.22	2.3	<0.38	2.5	<0.14	5.4	<0.65	5.0	<0.89	2,222	—	—	<0.92	9.0	<0.45	5.9
Ba	<0.02	12	<0.12	9.4	<0.07	3.5	<0.03	1.9	<0.33	13	<0.2	1,833	<0.05	<0.08	<0.31	47.0	<0.05	2.1
La	<0.01	4.0	<0.06	2.3	<0.03	2.9	<0.03	2.4	<0.21	1.3	<0.17	7,144	<0.05	0.16	0.13	3.1	<0.04	1.8
Ce	0.16	6.7	2.3	30	0.34	20	0.6	76	3.5	19	1.5	15,615	2.0	3.1	58	140	15	638
Pr	<0.01	2.0	<0.05	1.1	<0.03	4.7	<0.02	7.1	<0.18	1.1	<0.12	2,110	<0.03	0.12	0.7	5.1	<0.06	4.9
Nd	<0.06	5.0	0.67	7.7	<0.23	37	<0.13	65	<1.3	6.6	<0.66	8,456	0.28	0.45	11	104	2.0	59
Sm	<0.08	4.2	0.48	9.5	<0.05	25	<0.6	50	<1.0	2.1	<0.5	2,167	<0.25	0.69	17	82	3.3	69
Eu	<0.02	3.4	<0.06	3.3	<0.09	16	<0.2	22	<0.25	2.6	<0.24	497	0.19	0.60	2.6	14	<0.15	6.9
Gd	<0.06	10	3.3	33	<0.29	69	<0.7	128	11	95	1.0	2,622	1.7	2.6	75	330	18	233
Dy	<0.13	25	6.9	106	3.1	128	7.2	319	55	376	25	8,319	8.6	14	301	1,13	81	1,119
Ho	0.13	7.7	1.5	36	0.8	34	2.8	89	26	151	11	2,317	4.0	5.5	108	407	30	522.
Er	0.39	25	5.2	154	3.1	102	15	330	131	671	60	8,906	21	29	473	1,689	146	2,948
Yb	0.16	36	6.9	277	4.6	115	31	610	305	1,149	173	17,860	56	73	985	3,013	296	6,693
Lu	0.12	6.8	1.2	56	0.9	19	5.1	117	73	235	34	2,470	12	16	192	558	61	1,226
Hf (%)	0.57	2.3	0.79	1.30	0.79	1.27	0.53	0.83	0.87	1.03	0.65	3.07	0.59	0.59	0.86	1.31	0.68	1.92
Ta	0.10	13	0.07	2.1	1.1	26	0.2	20	<0.19	0.9	<0.3	266	0.4	0.5	3.8	15	2.1	11
Pb	<0.03	18	<1.0	29	0.5	18	<0.13	34	<0.95	16	<0.26	2,806	1.9	3.4	5.8	36	1.9	43
Th	0.84	48	12	188	2.9	845	8	3,17	95	651	31	12,088	24	35	258	1,453	119	2,518
U	3.0	69	17	348	<0.03	131	17	1,447	141	543	76	12,381	71	104	304	1,450	3.6	1,014
Nº A.	284		34		37		38		25		154		4		36		24	

A integração de dados da morfologia externa, estrutura interna, elementos traços e assinaturas isotópicas de Hf no zircão podem ajudar no entendimento acerca da geração de magmas graníticos no manto, na crosta e/ou da fusão de magmas destes dois ambientes (Belousova *et al.* 2006). Imagens de catodoluminescência de zircão dos granitóides do oeste australiano, obtidos por estes autores, mostram que internamente, durante a evolução do magma, os cristais de zircão desenvolveram diferentes formas em função das variações químicas e de temperatura no ambiente ígneo. Na tabela 4 são apresentados alguns tipos e subtipos de zircão do oeste australiano, encontrado no Adamellito Berridale e Ignibrito Riodacito Dundee.

Tabela 4. Tipos e subtipos de zircão encontrado em granitóides do oeste australiano, com destaque para a relação entre a morfologia e assinatura de elementos traços, segundo Belousova *et al.* (2006). Subtipos S, G e P de Pupin (1980).

Rochas	Zircão		Características
	Tipo	Subtipo	
Adamellito Berridali	T1	G1 e P1	<ul style="list-style-type: none"> * Séries granitóides subcalcinas. * Apresentam prisma {100} bem desenvolvido. * Tem altas concentrações de Mn e baixas de la, Ta e P, baixas anomalias de Eu em relação aos demais grupos.
	T2	S1 e S19	<ul style="list-style-type: none"> * Gerados em granitos cálcio-alcalinos de origem híbrida (crosta manto). * Apresentam prisma {100} bem desenvolvido. * Tem altas concentrações de U, Ba, Sr e elementos terras raras leves (ETRL) em relação aos demais grupos e pronunciada anomalia em Eu.
	T3	S17 e S22	<ul style="list-style-type: none"> * Formados em tonalitos e por anatexia de anfibolitos. * Apresentam prisma {100} bem desenvolvido. * Apresenta baixa concentração de elementos traços.
	T4	S3, S7	<ul style="list-style-type: none"> * Formados em granitóides alcalinos da crosta ou de origem principalmente crustal. * Apresentam prisma {110} e pirâmide {211} bem desenvolvidos. * Possuem baixa concentração de Pb, Sr, Ba, Th, Mn e elementos terras raras médio(ETRM)
Ignibrito riodacito Dundee	T1	S3 e S8	<ul style="list-style-type: none"> * Encontrados em monzogranitos e granodioritos aluminosos de origem crustal. * Apresentam prisma {110} bem desenvolvidos. * São enriquecidos em elementos terras raras pesadas (ETRP) e ETRL intermediários em relação aos demais tipos. * Ba, Sr, Nb, Mn e Ga estão abaixo do limite de detecção.
	T2	S18 e S20 S24 e S25	<ul style="list-style-type: none"> * Associados com granodioritos cálcio-alcalinos e granitóides subcalcinos. * Apresentam prisma {100} e {110} bem desenvolvidos. * Possuem altas concentrações de ETRL, Sr, Ti e P.
	T3	P1 e S5	<ul style="list-style-type: none"> * Encontrados em granitóides, principalmente de origem mantélica. * Apresentam prisma {110} bem desenvolvidos. * Apresentam padrões de elementos traços bem definido, com anomalias positivas em Ce e pronunciada em Eu. * Mostram baixas concentrações de Sr, Ti, P e ETRM.

5. MATERIAIS E MÉTODOS

O desenvolvimento desta dissertação teve o suporte de pesquisas bibliográficas, trabalho de campo e fase laboratorial com etapas analíticas diversificadas. Os dados subsidiam as informações para o entendimento da proveniência dos minerais pesados transparentes que constituem a Formação Içá e os sedimentos recentes do rio Solimões.

5.1. COLETA E TRATAMENTO DAS AMOSTRAS

5.1.1 Coleta de amostras

As coletas foram realizadas durante o período de vazante do rio Solimões e Purus, trecho entre as cidades de Manacapuru e Tefé-AM entre 2004 e 2007. No total foram coletadas 79 amostras, das quais, 61 são referentes à fácies arenosa das escarpas de terraços fluviais que pertecem a Formação Içá, enquanto que as amostras restantes (18 amostras) são de sedimentos recentes que ocorrem ao longo do rio Solimões (Fig. 3A, B).



Figura 3. A) Coleta de sedimentos recentes ao longo da calha do rio Solimões e B) Estratificação cruzada tabular, com paleocorrentes indicando o sentido de migração para leste.

5.1.2 Peneiramento

As amostras foram lavadas em peneira 0,062mm no Laboratório de Sedimentologia do Departamento de Geociências da Universidade Federal do Amazonas (DEGEO/UFAM) para retirada da fração silte-argila. A fração retida na peneira foi seca e, posteriormente peneirada nos intervalos granulométricos de 0,250-0,125mm e 0,125-0,062mm. Segundo Pettijohn *et al.* 1973 estes dois intervalos acumulam bastante minerais pesados, enquanto Morton (1985) diz que o último é mais promissor, pois minimiza o efeito hidráulico (Fig. 4A, B).



Figura 4. A) Peneiramento de amostras fração areia nos intervalos granulométricos 0,250-0,125mm e 0,125-0,062mm, B) Grãos retidos correspondentes ao primeiro intervalo granulométrico, C) Concentração de minerais pesados por fluxo de água ascendente em elutriador e D) Grãos de maior densidade descem para a base do elutriador, enquanto os de menor ficam em suspensão, conforme mostrado no detalhe do equipamento.

5.1.3 Concentração por elutriador

A concentração de minerais pesados das frações mencionadas anteriormente foi realizada por meio de elutriador (Parfenoff *et al.* 1970) instalado no Laboratório de Sedimentologia do DEGEO/UFAM. Esse equipamento utiliza o princípio da diferença de densidade dos minerais em meio a um fluxo de água ascendente e constante (lei de Stock), que coloca em suspensão os minerais mais leves (Fig. 4C). Na parte inferior do aparelho, mantendo-se o fluxo constante, as fases minerais mais densas são concentradas e recuperadas (Fig. 4D). O uso deste equipamento se fez necessário em função do mesmo reduzir custos no processo de separação apresentado a seguir.

5.1.4 Concentração por líquido denso

Após a etapa de concentração por gravidade foi utilizado bromofórmio que por ter densidade $2,89 \text{ g/cm}^3$, aumenta a concentração dos minerais pesados em relação aos leves. Para tal as amostras concentradas na etapa anterior, depois de secas, foram despejadas em líquido denso com aparato montado na capela do Laboratório de Geoquímica do DEGEO/UFAM (Fig. 5A). As partículas com peso específico superior ao do bromofórmio imergiram, enquanto as mais leves permaneceram emersas. Os grãos imersos foram recuperados, lavados com água para eliminar resíduos do bromofórmio e secos a $60 \text{ }^\circ\text{C}$. Após este procedimento os grãos foram lavados com solução de HCl 10% para eliminar filmes ferruginosos da superfície dos grãos que mascaram as suas características petrográficas. Em seguida foram lavados com água para eliminar os resíduos de ácido clorídrico e, secos em estufa a $60 \text{ }^\circ\text{C}$.

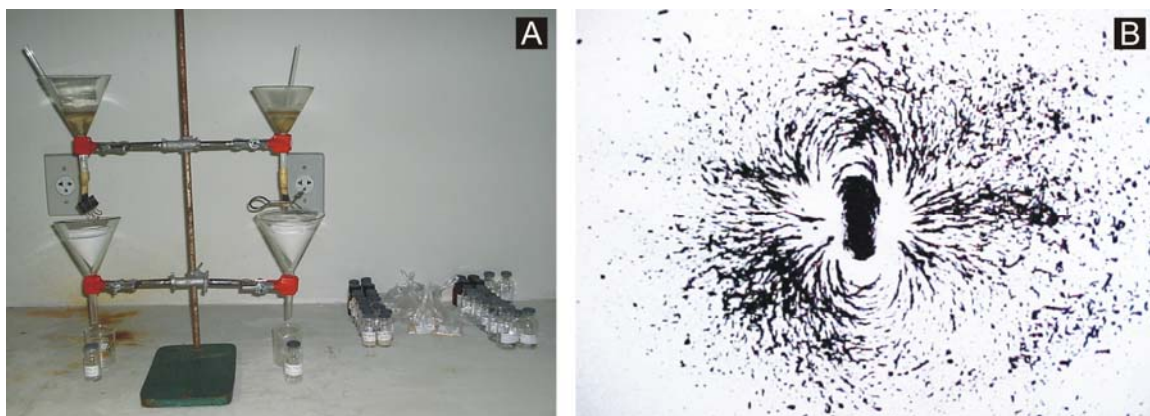


Figura 5. A) Colunas de separação de minerais pesados dos leves por meio de bromofórmio e B) Separação de minerais opacos ferromagnéticos com ímã de mão.

5.1.5 Separação magnética

Tal separação consistiu da aplicação do campo magnéticos de um ímã de mão (Fig. 5B). Este procedimento teve por finalidade eliminar os minerais opacos ferromagnéticos e consequentemente concentrar ainda mais os minerais pesados transparentes.

5.1.6 Preparação de Lâminas

As lâminas petrográficas com dimensões de 76x26x1mm foram preparadas no Laboratório de Laminação do DEGEO/UFAM. As mesmas receberam uma porção de cola, sobre as quais foram despejados os minerais pesados e, posteriormente cobertos com lamínula (Fig. 6A). No total foram confeccionadas 158 lâminas de grãos das quais 122 para os perfis amostrados e 36 para os dos sedimentos do rio Solimões. As lâminas para análises de difração de raios X foram preparadas no decorrer do processo, bem como as analisadas por MEV (Fig. 6B e C). Para as análises de raios X os grãos foram montados no centro de uam lâminas anti-reflexivas e depois moído sobre esta com uma lâmina de vidro até à condição de pó, enquanto para o MEV os grão foram montados sobre fita adesiva que foi colada em uma lâmina de vidro que posteriormente foi metalizado com uma camada de carbono.

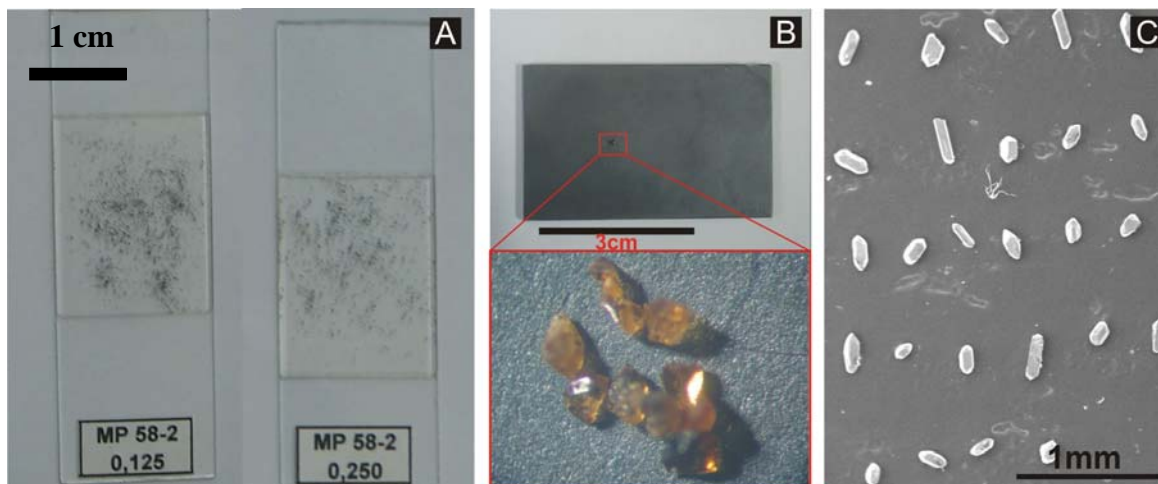


Figura 6. A) Lâminas de grãos dos dois intervalos granulométricos analisados; B) Lâmina anti-reflexiva (silício metálico), com de grãos soltos de andalusita utilizada na DRX e C) Grãos de zircão metalizados com carbono para análise por MEV.

5.1.7 Técnicas analíticas

Os equipamentos empregados nas análises dos minerais pesados transparentes foram microscopia óptica com luz transmitida (MO), difração de raios X (DRX) e microscopia eletrônica de varredura (MEV).

A análise de MO e DRX foram realizada no Laboratório de Microscopia e Difração de Raios X no Departamento de Geociências da Universidade Federal do Amazonas (DEGEO/UFAM). O microscópio usado é o da marca Olympus, modelo BX-60, enquanto o difratômetro é da marca Shimadzu, modelo XRD-6000, cujo método empregado foi o do pó.

Os detalhes das formas, identificação de zircão, sobrecrescimentos dos grãos, bem como as micrografias foram feitas no Laboratório de Microscopia Eletrônica de Varredura do Museu Paraense Emílio Goeldi - MPEG, com o MEV marca LEO, modelo 1450VP. As análises pontuais foram feitas por Energy Dispersive Spectrometer (EDS), marca GRESHAN, com janela de Be.

5.1.8 Medidas de Paleocorrentes

A paleocorrente é a técnica utilizada para medir as direções do paleofluxo, ou seja, esta proporciona informações acerca da migração de corpos sedimentares, além de contribuir para estudos da geometria dos mesmos e auxilia na interpretação da proveniência.

Para este trabalho foram coletadas 467 medidas da direção e inclinação de estratificações cruzada tabular. As medidas foram feitas com bússola magnética Bruton, cuja orientação do vetor indica o sentido da corrente.

O ponto de registro das medidas é o mesmo onde foram realizadas as coletas de arenitos para análises de minerais pesados, e está registrada nos perfis litoestratigráficos com suas principais estruturas. Para amenizar variações tendenciosas a cada grupo de dez medidas foi feita à média, e o conjunto destas foram plotados em diagramas de roseta e mostram as possíveis direções primárias e secundárias (Fig. 7) (Boggs 1987, Pettijhon *et al.* 1973).

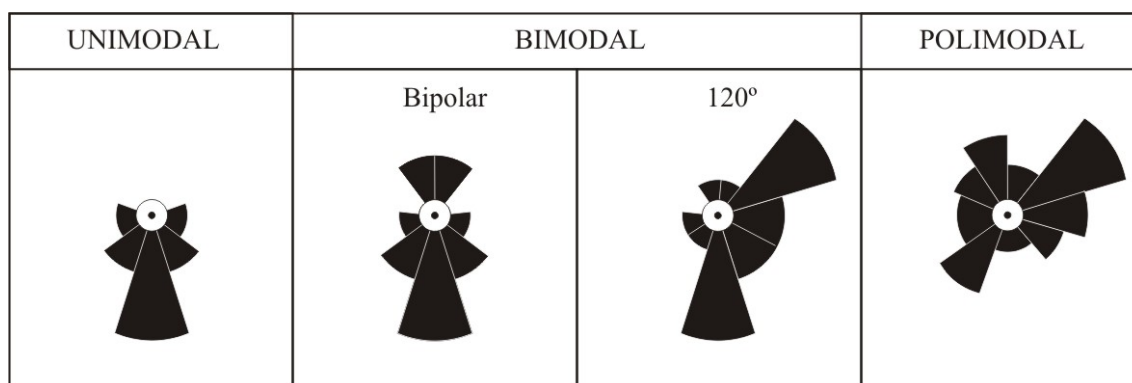


Figura 7. Paleocorrentes e suas modalidades em função da variação do fluxo (Pettijhon *et al.* 1973).

Devido a estas variações as paleocorrentes são categorizadas em unimodal, bimodal ou polimodal. A primeira pode apresentar padrões estreitos e amplos em uma única direção, são comuns em ambientes de praia, aluviais, estuarino e turbidíticos. O segundo apresenta registros em sentidos opostos e com ângulo de até 120°, ocorrem em ambientes eólico, fluvial com dunas subaquosas e maré. O último apresenta um padrão complexo que aponta para várias direções é muito comum em ambientes estuarino, fluvial meandrante (Pettijohn *et al.* 1973).

6. ASPECTOS GEOLÓGICOS

As grandes bacias sedimentares intracratônicas, situadas na região norte do Brasil, foram preteritamente denominadas de bacia do Amazonas devido ao pouco conhecimento de seu arcabouço sedimentar (Bezerra 2003). A partir da perfuração de poços estratigráficos realizadas pelo Petróleo Brasileiro S/A (PETROBRAS), novos entendimentos foram aceitos para o prisma sedimentar da bacia. As variações litológicas observadas de leste para oeste permitiram sua divisão em três bacias menores denominadas de alto, médio e baixo Amazonas (Caputo *et al.* 1971, Eiras *et al.* 1994). A primeira, cujas unidades superficiais aflorantes foram o foco principal deste estudo, denomina-se bacia do Solimões, enquanto a segunda recebeu o nome de bacia do Amazonas e, por fim, a última mais a leste passou a ser chamada de bacia do Marajó (Caputo 1984, Cunha *et al.* 1994).

6.1 BACIA DO SOLIMÕES

A bacia Solimões de idade paleozóica está situada na porção norte do Brasil, a qual apresenta acumulações comerciais de óleo e gás na região de Coari e no rio Juruá (Cunha *et al.* 1994). Sua área é de aproximadamente 400.000 km² e situa-se entre o Arco de Iquitos a oeste e Arco de Purus a leste (Eiras *et al.* 1994) (Fig. 8).

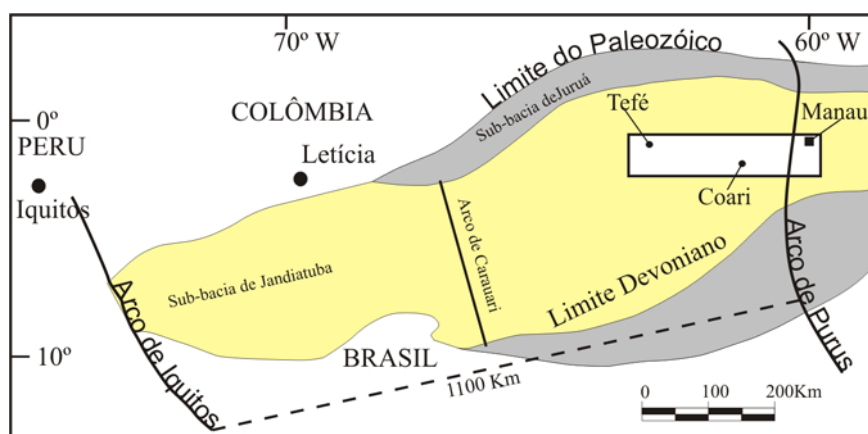


Figura 8. Bacia Solimões dividida em sub-bacias por suas principais feições estruturais. Modificado de Ecopetrol (1999). O retângulo mostra a área estudada.

Sua história geológica guarda o registro de eventos regressivo-transgressivos marinhos (mudanças eustáticas do nível do mar) relacionados à subsidência da bacia, em resposta ao soerguimento andino na porção norte-oriental (Caputo & Silva 1991, Hoorn *et al.* 1995). Com o aumento gradual do espaço de acomodação, a sedimentação empilhou mais de 4000m de material siliciclástico e terrígeno (Caputo 1984, Eiras *et al.* 1994). Tais registros estão inseridos nos grupos Purus, Marimari, Tefé e Javari (Cunha *et al.* 1994, Eiras *et al.* 1994) (Fig. 8). As unidades deste último grupo afloram na área de estudo, compreendem as formações Solimões e Içá e os sedimentos holocenos (Caputo *et al.* 1971, Caputo 1984, Franzinelli & Potter 1985, Maia *et al.* 1977, Melo & Villas Boas 1993, Hoorn 1994, Rossetti *et al.* 2005) (Fig. 9).

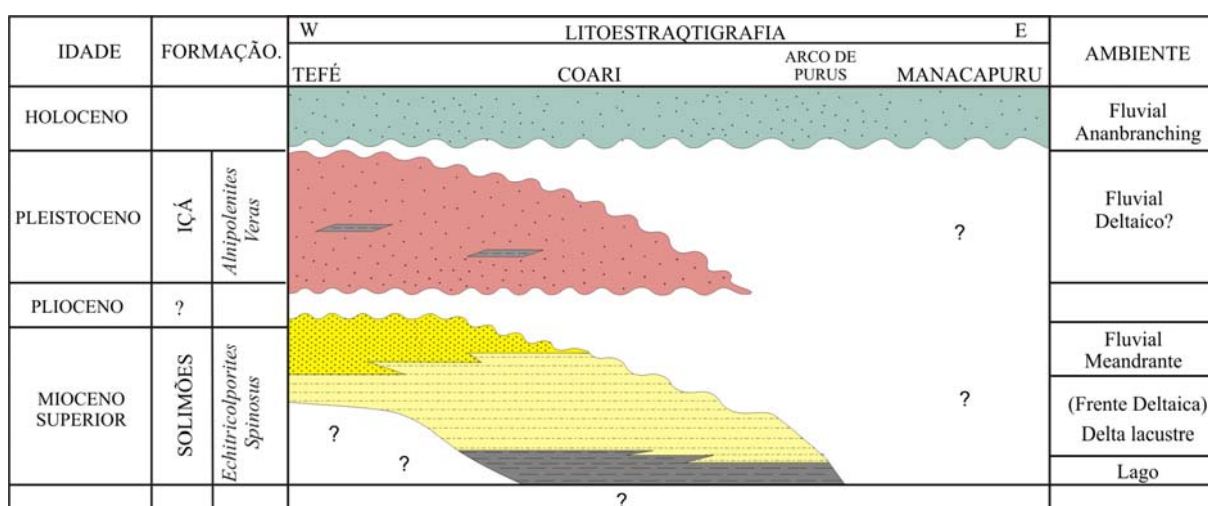


Figura 9. Carta estratigráfica da bacia Solimões mostrando o posicionamento das unidades estudadas (Vega (2006))

6.2. TRABALHOS PRÉVIOS

6.2.1 Formação Solimões

Uma das primeiras referências a respeito desta unidade foi feita por Hartt (1870 *apud* Bezerra 2003). Mais tarde Orton (1876 *apud* Bezerra 2003) e Brown (1879 *apud* Bezerra 2003) descreveram as características e conteúdo fossilífero de invertebrados desta unidade, a qual Hartt (1870 *apud* Bezerra 2003) chamou de “Fauna Pebas”.

A partir dos dados geológicos conhecidos do rio Ucayali e Marañon (Amazônia peruana), algumas correlações foram feitas pela PETROBRÁS por meio de estudos das bacias do Acre e Solimões (Bouman 1959, Cunha 1963 *apud* Bezerra 2003). Contudo, Caputo *et al.* (1971) percebeu que as diversas denominações Camadas Aquiri (Hartt 1870 *apud* Bezerra 2003), Formação Pebas (Oliveira & Carvalho 1924 *apud* Bezerra 2003), Formação Puçá (Steinmann 1929 *apud* Bezerra 2003), Série Solimões (Moraes Rego 1930 *apud* Bezerra 2003), Série das Barreiras (Oliveira & Leonardos 1943), Formação Cruzeiro (Oppenheim 1937), Formação Baixada (Miranda 1938 *apud* Bezerra 2003), Formação Rio Branco (Oliveira & Leonardos 1943 *apud* Bezerra 2003), Grupo Contamana (Kummel 1948 *apud* Bezerra 2003), Formação Ramon (Bouman 1959 *apud* Bezerra 2003) e Formação Purus (Cunha 1963 *apud* Bezerra 2003), referentes à sedimentação cenozóica dessas bacias, tinham as mesmas características e, portanto, pertencentes a uma mesma unidade geológica. Tais observações revalidaram o termo Formação Solimões proposto por Moraes Rego (1930 *apud* Bezerra 2003).

Maia *et al.* (1977) advogam com base em sondagens e levantamentos de superfície que o termo Formação Solimões deve ser usado com restrição aos pacotes pelíticos, enquanto os pacotes arenosos referem-se à Formação Içá, pretérita Formação Sanozama de Almeida (1974 a e b). Tal divisão é contestada por Silva (1991, 2001) em função de seu caráter dúbio.

No entanto, Coelho (2000) identificou ao longo do rio Solimões em alguns afluentes entre Tabatinga e Santo Antônio do Içá, uma sucessão flúvio-lacustre (Formação Solimões) e outra fluvial de alta energia (Formação Içá).

Litologicamente a Formação Solimões é composta no topo por arenitos finos a grossos subangulares a subarredondados, intercalados com camadas centimétricas a métricas de argila branco-avermelhada (Maia *et al.* 1977, Caputo 1984). A base é constituída por camadas argilosas cinzento-esverdeadas, maciça, rica em fósseis vegetais (folhas e troncos), além de dentes e escamas de peixe, fito e bioturbação (*Taenidium* e marcas de raízes) (Caputo *et al.* 1971, Cunha *et al.* 1994). Nogueira *et al.* (2003), descreve a presença de estratificação inclinada heterolítica, *tidal bundles*, brechas intraformacionais e acamamento *wave-flaser-linsen* nesta unidade. Embora estas feições e dinoflagelados (Arai *et al.* 2003) confirmem a influência marinha na parte ocidental da bacia Solimões, ainda não existe confiabilidade quanto à ação dos processos de maré (Silveira 2005). Vega (2005) com base em análise de fácies mostra que na região de Coari a Formação Solimões é constituída por onze fácies sedimentares agrupada em quatro associações que caracterizam ambiente deltaico-lacustre, suprido por canais meandrantés, controlado pelo sistema estrutural do Arco de Purus.

Alguns pesquisadores com base no conteúdo fóssilífero de vertebrados, moluscos, ostracodes e palinórfos a posicionaram no intervalo Mioceno Médio (Barros *et al.* 1977), Mioceno Superior ao Plioceno (Latrubesse *et al.* 1994) e Mioceno Médio ao Superior (Hoorn 1993, 1994). Estudos mais recentes (biozona *Echitricolporites spinosus*) posicionam esta unidade no Mioceno Superior (Silveira 2005).

6.2.2 Formação Içá

Até a década de 70 admitia-se correlação do topo do pacote cenozóico da genérica bacia do Amazonas com a “Série Barreiras” de Albuquerque (1922 *apud* Bezerra *et al.* 2003). Na década de 80, Maia *et al.* (1977) descreveu os arenitos da Formação Içá, na seção tipo, localizada ao longo do rio homônimo até sua foz no rio Solimões e, segundo estes autores, é discordante dos pelitos e arenitos da Formação Solimões. A partir de então muitos autores, Schobenhuis *et al.* (1981), Santos (1984), Borges (1987 *apud* Bezerra 2003), Cunha (1991), Melo & Villas Boas (1993), Bezerra *et al.* (1999), Braz *et al.* (1999), Coelho (2000) e Bezerra (2003) vem identificando esta unidade em todos os trabalhos referentes a cobertura sedimentar cenozóica na bacia Solimões, exceto Silva (1999) que contesta a existência de tal unidade.

Dados recentes de Silveira (2005) e Vega (2005) na região de Coari (palinologia e ambiente deposicional) confirmam que as duas unidades, Formação Solimões e Içá de fato não fazem parte da mesma seqüência estratigráfica. No que concerne ao seu posicionamento no tempo geológico Daemon & Contreiras (1971) com base no conteúdo fossilífero, a posicionaram no Cretáceo. No entanto, ao longo da seção tipo da Formação Içá, Santos *et al.* (1974 *apud* Bezerra 2003) e Lourenço *et al.* (1978 *apud* Bezerra 2003) descrevem restos vegetais carbonificados relacionados ao Pleistoceno. Latrubesse *et al.*, (1994) e Rossetti *et al.* (2005) admitem idade Plio-Pleistocênica para a referida formação em função de a mesma discordar sobrepostamente às rochas da Formação Solimões. Estudo palinológico (pólen *Alnus* - biozona *Alnipollenite verus*) realizado na região de Coari atribui idade pleistocênica para o topo da Formação Içá (Silveira 2005).

Segundo Maia *et al.* (1977) a formação supracitada foi depositada em ambiente fluvial de oeste para leste e é composta litologicamente por arenitos silto-argiloso amarelo-avermelhado (Melo & Villas Boas 1993). Segundo Maia *et al.* (1977) a Formação Içá é uma

seqüência psamítica intercalados com pelitos e conglomerados, cujo contraste textural em imagem de radar permite delinear seu contato com a Formação Solimões próximo ao arco de Jutai.

6.2.3 Sedimentos do rio Solimões

Segundo Irion (1976) e Meade *et al.* (1979) a história da planície do rio Solimões-Amazonas é caracterizada pela deposição de sedimentos provenientes dos contrafortes andinos e pela erosão da própria planície de inundação em função do rebaixamento do nível das águas do próprio rio. Landin *et al.* (1983) coletou amostras sistemáticas do sistema fluvial Solimões-Amazonas com o objetivo de estudar os minerais pesados e assim caracterizar a fonte e áreas que contribuem significativamente com sedimentos. Durante o estudo, os autores verificaram que as areias do rio Solimões-Amazonas são compostas por ZTRE, granada, apatita, epidoto, hiperstênio, augita, anfibólio, tremilita, magnetita, ilmenita e leucoxênio.

A partir de então os estudos de Potter & Franzinelli (1985) mostraram que os depósitos recentes do rio Solimões são diferentes em relação aos do rio Negro. As areias do Solimões têm proporções de feldspato entre 6% a 11% e fragmentos de rocha entre 27% a 32%, enquanto as do rio Negro apresentam proporções de feldspato entre 2% a 3% e fragmentos de rocha entre 2,6% e 4%. Em função da predominância deste último componente, Franzinelli & Potter (1983), enquadraram as areias do rio Solimões-Amazonas no campo dos arenitos líticos a sublíticos.

Rossetti *et al.* (2005) individualizou quatro depósitos quaternários mais antigos na Amazônia Ocidental, cujas espessuras destes variam entre 3 a 10m com idades entre 4300-37400 a 240-130 anos. O conteúdo mineralógico destas unidades é formado por esmectita, caulinita, clorita e illita, além de anfibólio (27% a 45%), hiperstênio (4.4%-14%), augita (14% a 27%) e epidoto (15% a 34%).

7. RESULTADOS

7.1 UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS

7.1.1 Formação Solimões

Entre os municípios de Manacapuru e Tefé, a Formação Solimões é representada por afloramentos da ordem de até 30m de altura. É constituído por siltitos e argilitos acinzentado maciço na base que grada para laminações de argilitos acinzentados intercalados por pacotes de arenito alaranjado/avermelhados da ordem de centímetros a metros (Fig. 10).

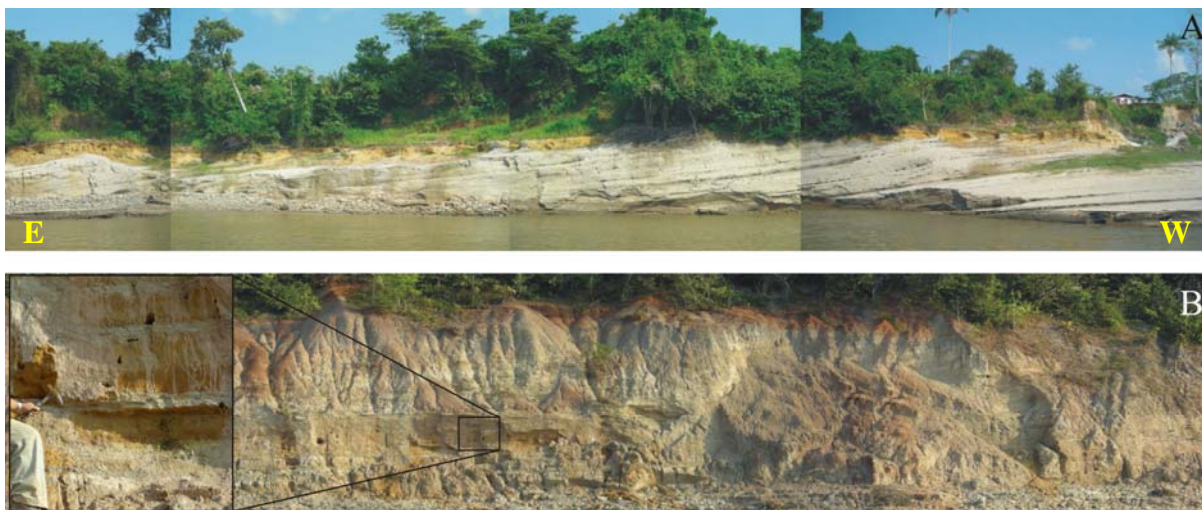


Figura 10. Afloramento da Formação Solimões entre os municípios de Codajás e Coari. A) Estratificação inclinada heterolítica acinzentada formada por pelito/arenito, B) Argilitos acinzentados intercalados por camadas de arenito alaranjado-avermelhado, onde o detalhe mostra ciclos granodecrescentes ascendentes

Nas proximidades da foz do lago de Beruri no rio Purus, sobre os pacotes argilosos acinzentados ocorre camadas de até 2m de espessura de detritos vegetais como galhos, troncos, folhas e sementes. Os galhos e troncos são da ordem de centímetros a metros, as folhas carbonificadas e em moldes argilosos medem até 20cm, bem como as sementes até 2,5cm. Estes se distribuem lateralmente com diminuição da espessura em direção ao município de Coari que posteriormente desaparecem em direção ao município de Tefé (Fig. 11A e B).

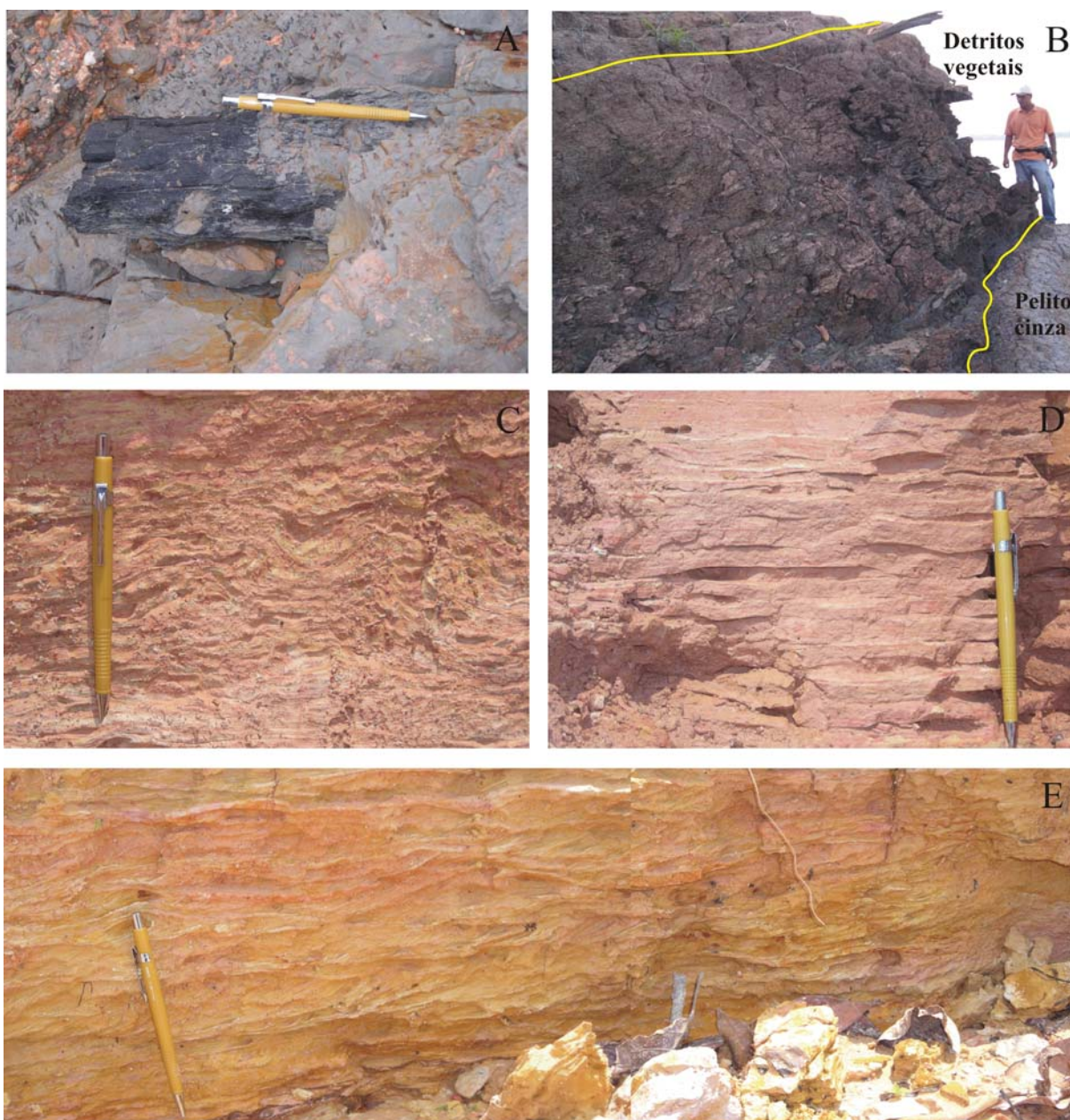


Figura 11. Acumulações orgânicas e estruturas sedimentares observadas na Formação Solimões. A e B) Restos vegetais formando camadas de até 2m de espessura, C e) Deformações sim deposicionais em argilitos avermelhados e ritimito ondulado nas proximidade da foz do lago de Beruri, E) Pelito/arenito com *climbing ripple cross lamination* subcrítico

Boa parte dos pacotes argilosos acinzentados da base tem estrutura maciça a laminada, contudo, em direção ao topo foram observados pacotes argilosos avermelhados laminados, com convoluções, argilito laminado e pelito/arenito fino com *climbbing ripple cross lamination* (Fig. 11C, D e E). Os pacotes sedimentares para o topo são constituídos por ciclos granodecrescentes ascendentes formados por camadas argilitos acinzentados/esbranquiçados

truncadas, maciços a laminados, intercalados com camadas de arenitos alaranjados/avermelhados friáveis de 50cm até 1m de espessura, com granulometria entre areia média a fina. Os *forsets* arenosos apresentam estratificação cruzada plano-paralela, cruzada acanalada de baixo ângulo com clastos disseminados na base (Fig. 12).

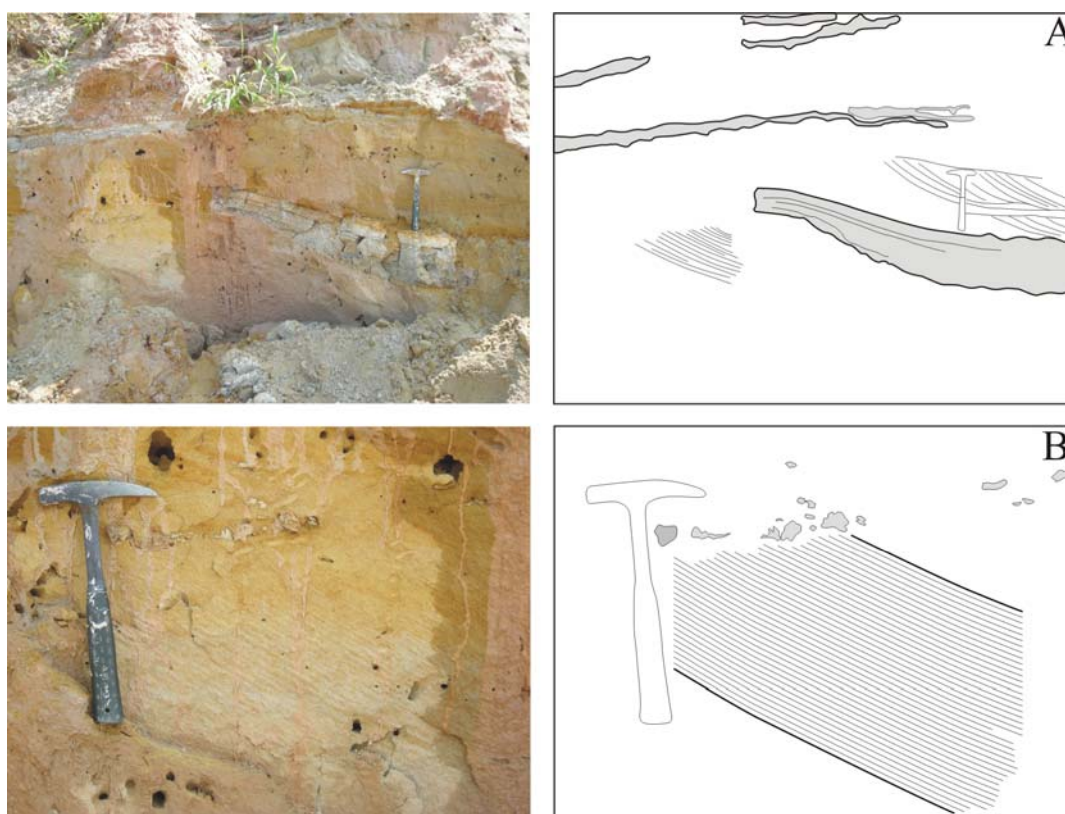


Figura 12. Arenito alaranjado intercalado com camadas de argilito cinza na Formação Solimões. A) Camadas de argilito truncado em baixo ângulo com estratificação cruzada acanalada sobreposta e drapes argilosos. B) Estratificação cruzada planar com clastos disseminados no topo.

Para o topo estes ciclos diminuem até não mais ser perceptível qualquer tipo de estrutura em função dos processos de intemperismo e lateritização que ocorrem no presente. Lateralmente são encontrados arenitos avermelhados com estratificação cruzada planar cujos ciclos diminuem gradativamente até passarem para pelitos vermelho maciço a laminado com presença de brechas intraformacionais no topo (Fig. 13).

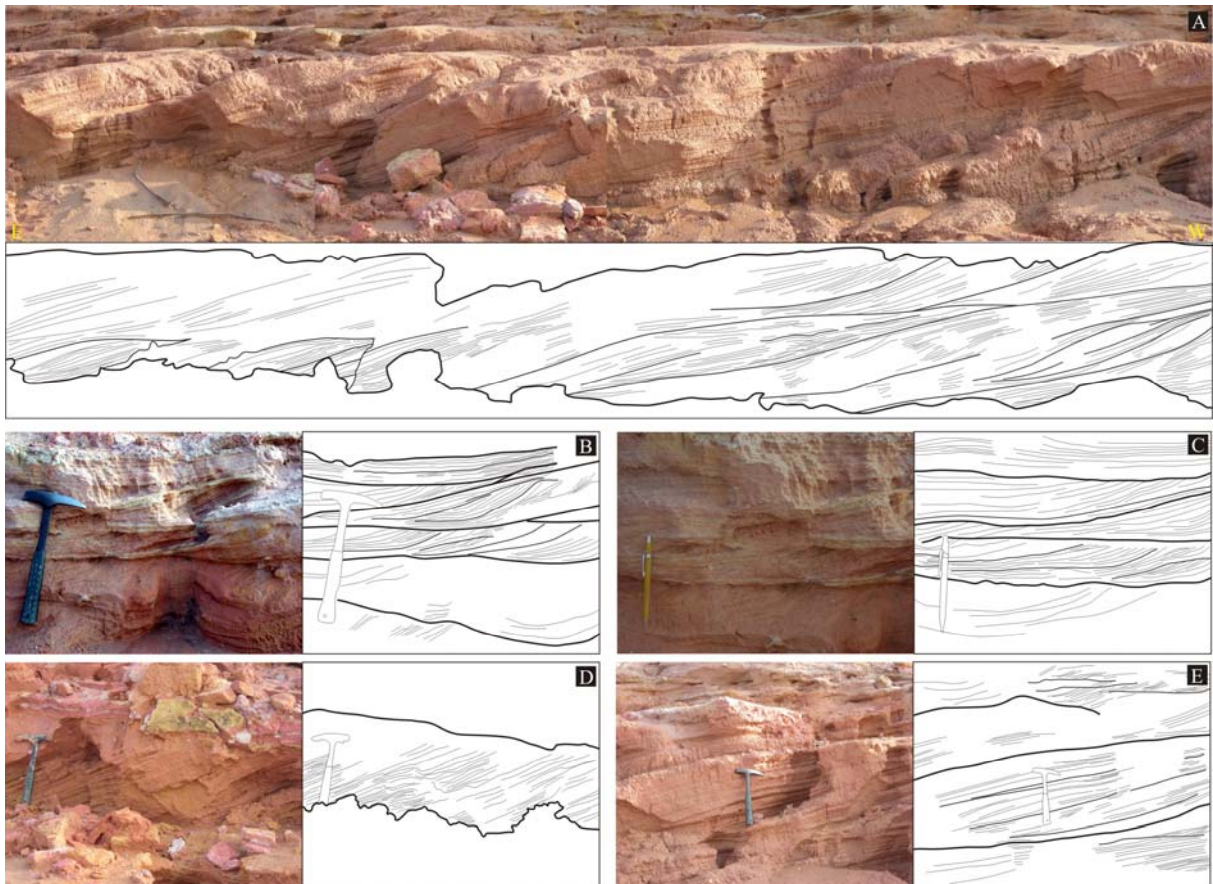


Figura 13. Lobos sigmoidais em arenitos avermelhados da Formação Solimões cujas medidas de paleocorrentes indicam migração para NE. A) Barra em seção longitudinal com estratificação cruzada sigmoidal. B, C e E) Estratificação cruzada acanalada de pequeno porte para o topo do arenito e D) Estratificação cruzada planar

7.1.2 Formação Içá

Na região entre Coari e Tefé, ao longo do rio Solimões, esta unidade expõe suas rochas na forma de escarpas de terraços fluviais, as quais são bastante expressivas e podem atingir aproximadamente 30m de altura (Fig. 14).



Figura 14. Arenitos esbranquiçados da Formação Içá na margem direita do rio Solimões entre os municípios de Coari e Tefé com até 25m de altura

É constituída por pacotes arenosos, areno-siltoso e areno-argiloso de coloração predominantemente esbranquiçada. Nestes são observados estratificação cruzada acanalada de médio porte, com *foresets* que variam entre 50cm a 1m. Exibem ciclos granodecrescentes ascendentes formados, na base por areia média à grossa, constituídos principalmente por quartzo leitoso, hialino e escuro. Para o topo são constituídos por areia média a fina e entre os ciclos ocorrem camadas de centimétricas de argila cinza e vermelha, bem como pequenos *sets* de areia média com estratificação cruzada tabular, enquanto nos *foresets* inferiores são encontrados clastos argilosos avermelhados disseminados (Fig. 15).

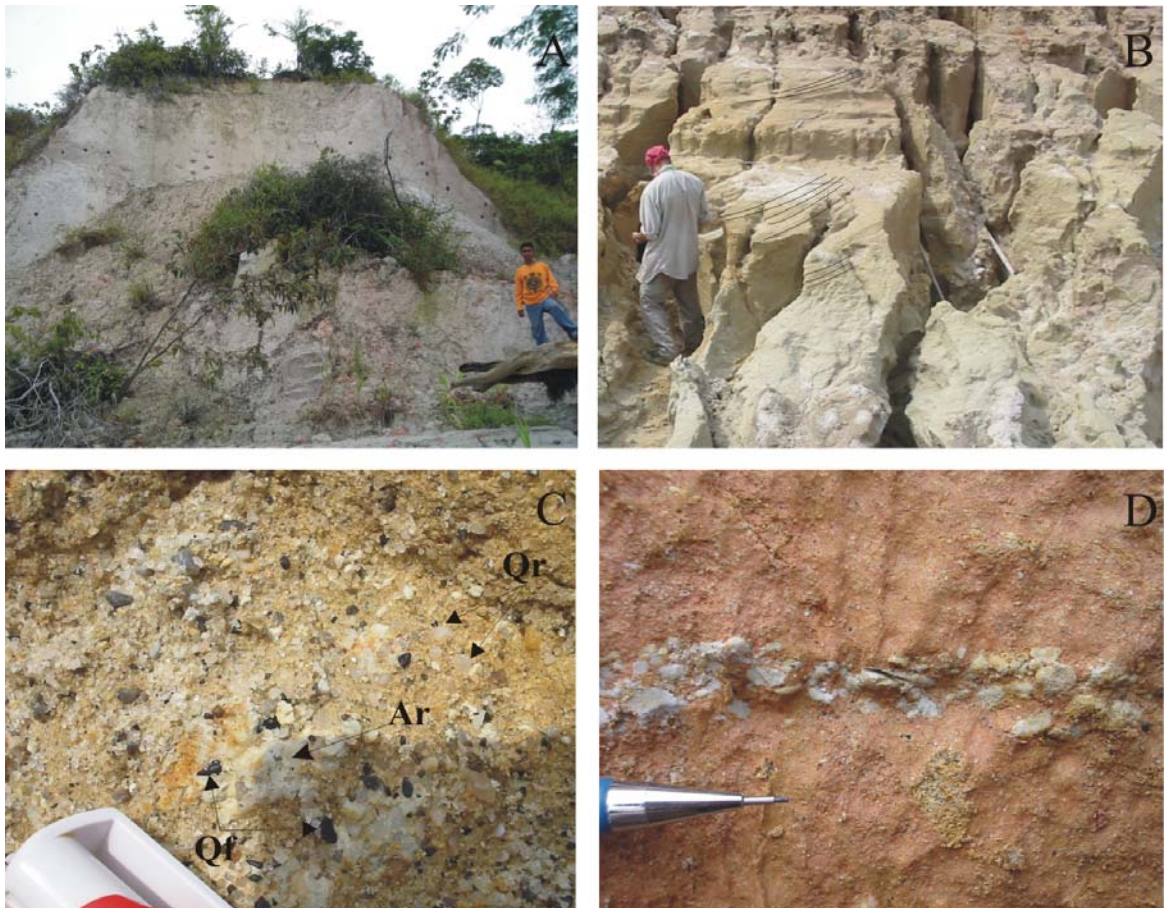


Figura 15. A) Escarpa fluvial da Formação Içá com pacotes arenosos, B) Arenito da porção basal da unidade com estratificação cruzada acanalada incipiente, C) Arenitos médio a grosso com matriz argilosa, D) Arenito fino avermelhado com lentes de argila

7.1.3 Seções Colunares

A confecção dos perfis baseou-se na integração das medidas das camadas, laminações, altura dos afloramentos e nas descrições das estruturas sedimentares como estratificação cruzada acanalada, cruzada plano-paralela e inclinada heterolítica nas Formações Solimões e Içá. As medidas de paleocorrentes ajudaram a compreender a direção do paleofluxo que ajudou na deposição de mais de 15m material siliciclástico, enquanto a descrição das estruturas sedimentares ajudou na compreensão dos processos deposicionais.

Em vista disso o principal alvo de coleta amostras, plotados ao longo dos perfis, foram os arenitos da Formação Içá. Os dados de minerais pesados transparentes extraídos destes arenitos são descritos mais adiante e têm como principal finalidade corroborar para o entendimento da proveniência e limite da Formação Içá, uma vez que a divisão atual, apresentada a seguir, foi apenas por meio de descrição estratigráfica proposta por Maia *et al.* (1977) (Fig. 16).

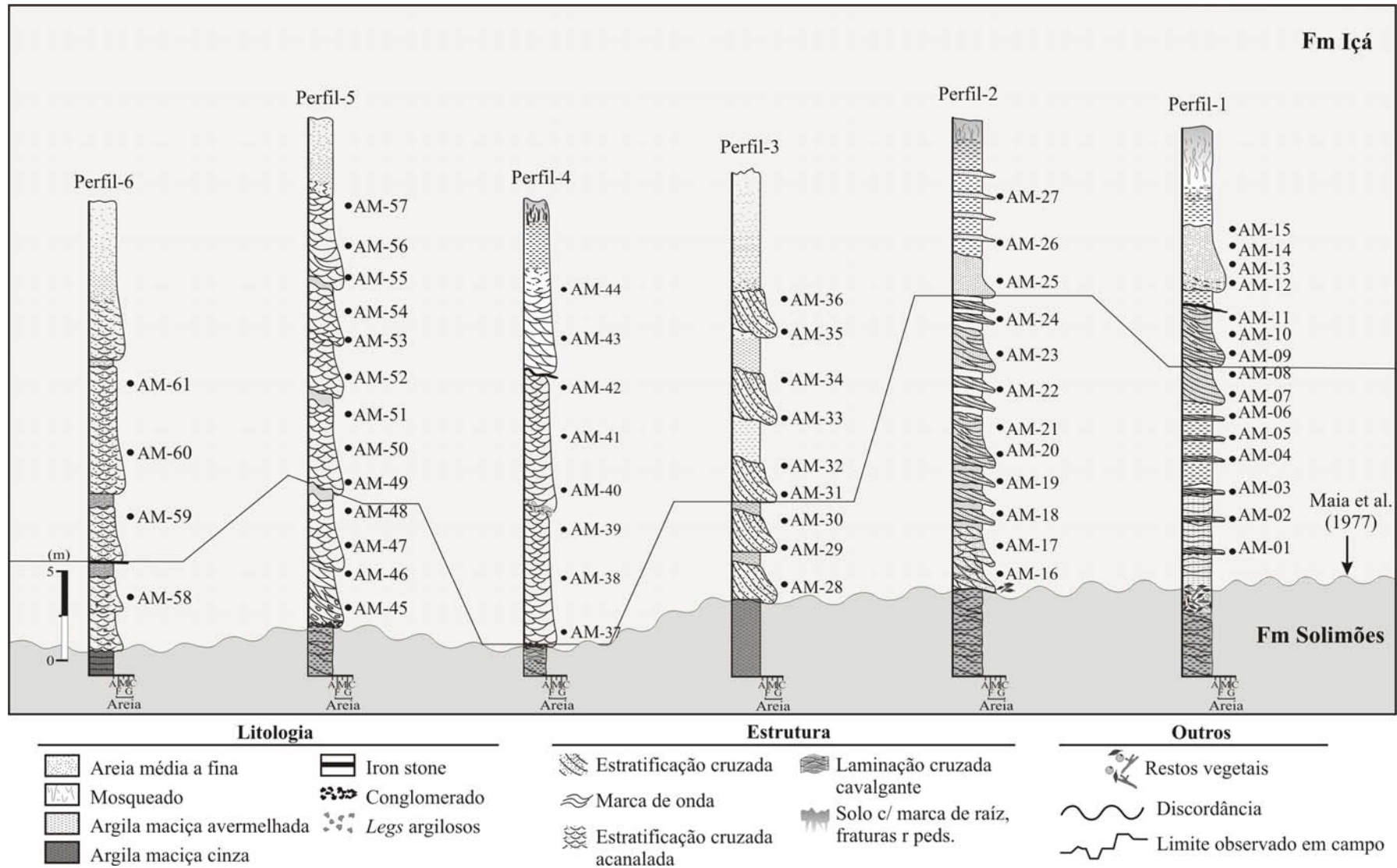


Figura 16. Perfis litoestratigráficos da Formação Solimões e Formação Içá, com pontos de coleta na última unidade. Limite das unidades adaptada de Maia *et al.* (1977) e por observações feitas durante a coleta de amostras deste trabalho

7.1.4 Sedimentos do rio Solimões

Os sedimentos recentes ocorrem ao longo de todo trecho estudado na porção centro ocidental da bacia Solimões e são bem representados ao longo do rio homônimo por ilhas e barras da ordem de quilômetros de extensões que podem ser vistas principalmente nos períodos de seca.

Estes sedimentos podem ser classificados em argilosos e arenosos, onde o primeiro são transportados por longas distâncias rapidamente em relação aos arenosos em função do tamanho da partícula e da força hidrodinâmica do rio Solimões. São depositados principalmente nas planícies de inundação, apresentam coloração escura em função da mineralogia e/ou da matéria orgânica associada. Por outro lado, a velocidade de transporte das areia é mais lenta e depende da granulometria, o que favorece a formação de dunas subaquosas e ilhas ao longo do rio supracitado.

As principais características das areias do rio mencionado é a granulação média à fina e localmente grossa, cujas cores variam principalmente em função da heterogeneidade mineralógica, conforme será mostrado na descrição mineralógica.

Cortes feitos nas barras em seções longitudinais no mesmo sentido de migração do rio Solimões mostram que os processos deposicionais atuais registraram estratificação cruzada tabular de baixo ângulo com direção E-W nestes depósitos. As estruturas são marcadas principalmente por minerais pesados opacos como hematita, magnetita e biotita, além do quartzo e fragmentos de rocha (Fig. 17A, B e C).

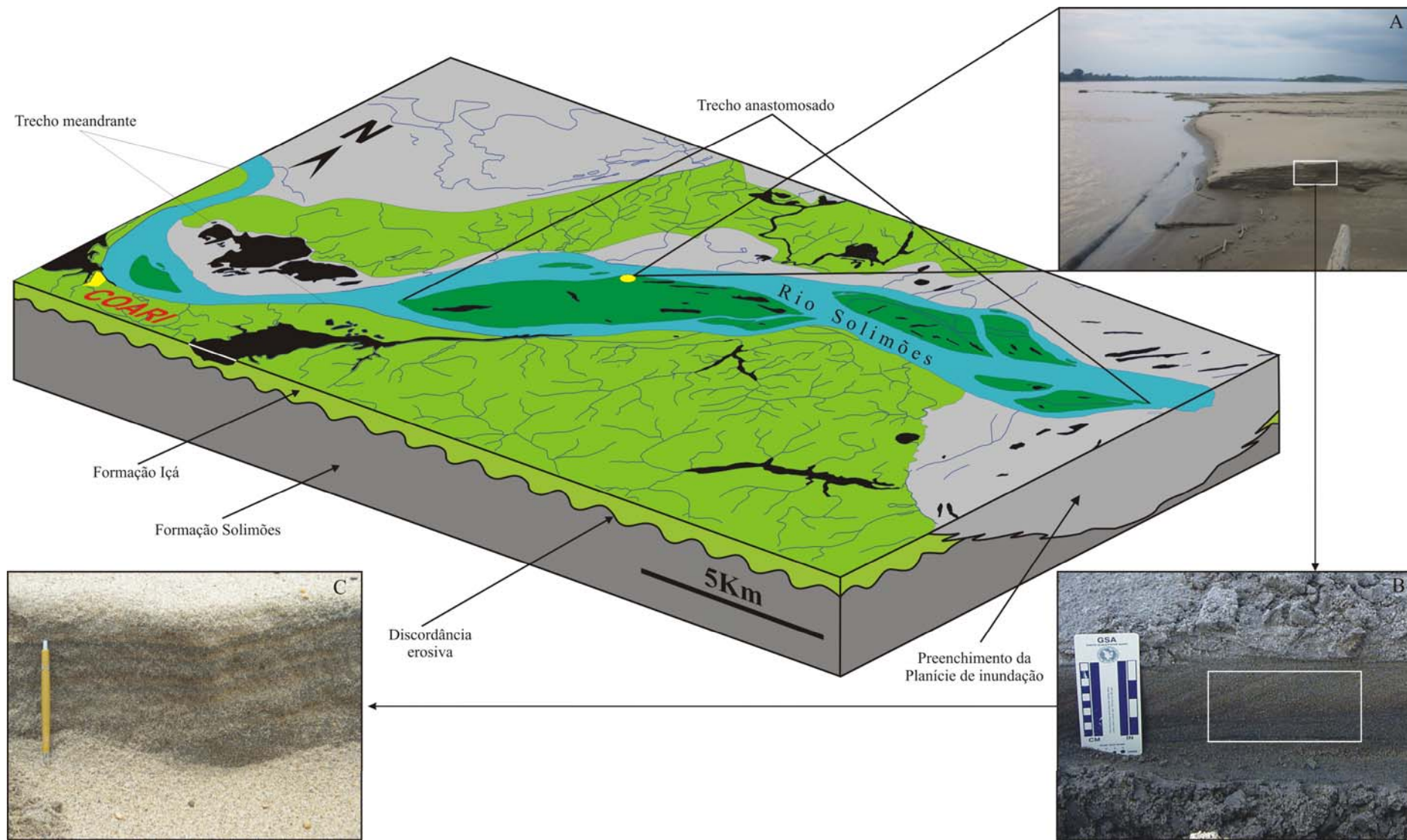


Figura 17. Diagrama de um trecho do rio Solimões nas proximidades do município de Coari, com destaque para as ilhas e barras que se formam ao longo do canal. A) Ponto de coleta, B) Corte para verificação de estruturas e C) Minerais pesados opacos marcando a estratificação cruzada tabular

7.2 CLASSIFICAÇÃO DOS ARENITOS

Ao serem observados em lupa binocular os arenitos da Formação Içá na fração 0,250-0125mm exibem quartzo, mica, feldspato, fragmentos de rocha e minerais opacos (hematita e magnetita) como constituintes mais abundantes. Estes arenitos foram classificados segundo Pettijhon *et al.* (1973), por meio da contagem dos principais constituintes conforme mostra a tabela abaixo (Tab. 5).

Tabela 5. Quantitativo dos grãos para as amostras de cada perfil

Perfil-1	AM-1	AM-2	AM-3	AM-4	AM-5	AM-6	AM-7	AM-8	AM-9	AM-10	AM-11	AM-12	AM-13	AM-14	AM-15
Quartzo	238	452	326	332	561	482	333	218	228	342	455	479	399	569	502
Feldspato	2	5	9	11	10	7	5	4	9	11	21	13	10	8	9
F. Rocha	14	27	15	8	7	9	8	10	12	18	12	19	20	21	23
Total	254	484	350	351	578	498	346	232	249	371	488	511	429	598	534
Perfil-2	AM-16	AM-17	AM-18	AM-19	AM-20	AM-21	AM-22	AM-23	AM-24	AM-25	AM-26	AM-27			
Quartzo	249	244	260	281	283	252	431	421	444	252	288	299			
Feldspato	4	2	8	14	18	9	2	3	4	8	7	5			
F. Rocha	15	8	3	10	12	10	8	3	5	14	16	18			
Total	268	254	271	305	313	271	441	427	453	274	311	322			
Perfil-3	AM-28	AM-29	AM-30	AM-31	AM-32	AM-33	AM-34	AM-35	AM-36						
Quartzo	381	320	299	252	238	482	561	554	429						
Feldspato	7	5	4	6	2	1	8	9	11						
F. Rocha	16	22	31	21	18	12	9	8	13						
Total	404	347	334	279	258	495	578	571	453						
Perfil-4	AM-37	AM-38	AM-39	AM-40	AM-41	AM-42	AM-43	AM-44							
Quartzo	122	211	207	189	244	245	328	339							
Feldspato	12	13	14	21	32	41	43	45							
F. Rocha	12	7	11	9	12	10	7	9							
Total	146	231	232	219	288	296	378	393							
Perfil-5	AM-45	AM-46	AM-47	AM-48	AM-49	AM-50	AM-51	AM-52	AM-53	AM-54	AM-55	AM-56	AM-57		
Quartzo	122	133	234	299	312	321	378	244	212	199	331	425	444		
Feldspato	44	82	21	19	17	12	16	10	19	19	21	29	55		
F. Rocha	21	7	12	14	12	7	12	21	8	12	10	7	21		
Total	187	222	267	332	341	340	406	275	239	230	362	461	520		
Perfil-6	AM-58	AM-59	AM-60	AM-61											
Quartzo	433	321	428	299											
Feldspato	23	32	25	21											
F. Rocha	12	18	32	10											
Total	468	371	485	330											

Os dados acima, plotados em diagrama triangular (Fig. 18) mostram que os arenitos das Formações Solimões e Içá são classificados em quartzo arenito, sublitarenito e subarcósio.

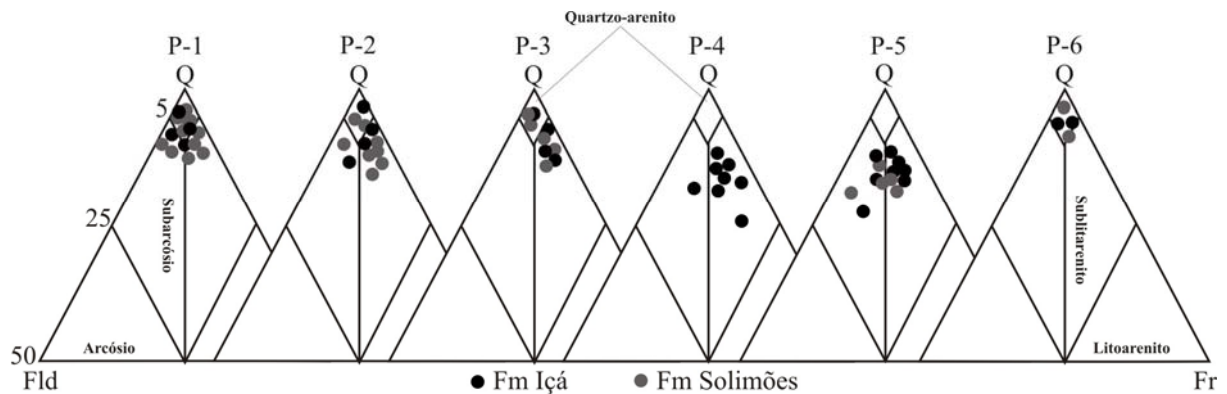


Figura 18. Diagrama triangular mostrando os tipos de arenitos dos depósitos estudados

Os perfis 1, 2, 3 e 6 são litologicamente similares, constituídos principalmente por quartzo-arenito, enquanto que os perfis 4 e 5 se diferenciam devido a maior quantidade de líticos e feldspato, englobando boa parte das amostras no campo dos sublitarenitos e em menor proporção no campo dos subarcósio. O quartzo é angular, subangular a subarredondado, o tipo predominante é o hialino, seguido em menor proporção pelo leitoso e fumée como traços. Os feldspatos são subangulosos a subarredondados, ocorrem em tons esbranquiçados, enquanto os fragmentos de rocha são de tipos variados, conforme descritos no item abaixo.

7.2.1 Fragmentos de Rocha

Na porção inferior da Formação Içá os fragmentos de rocha identificados são, possivelmente de gnaisse, filito grafitoso, quartzito e arenitos, com tamanho entre 0,250mm a 0,125mm. Os fragmentos gnáissicos apresentam bandas em tons avermelhada e outra marrom-acinzentado, os filitos e os quartzitos são marrom e branco, enquanto o quartzo-arenito é composto por agregados de quartzo hialino. Por outro lado na porção superior predominam fragmentos de arenito fino, argilito acinzentado e mica-xisto cinza claro a alaranjado. Nos sedimentos recentes foram encontrados fragmentos ferruginosos avermelhado com grãos de quartzo e feldspato esbranquiçado, enquanto o quartzito e mica-xisto são similares aos observados nas Formações Solimões e Içá (Fig. 19).

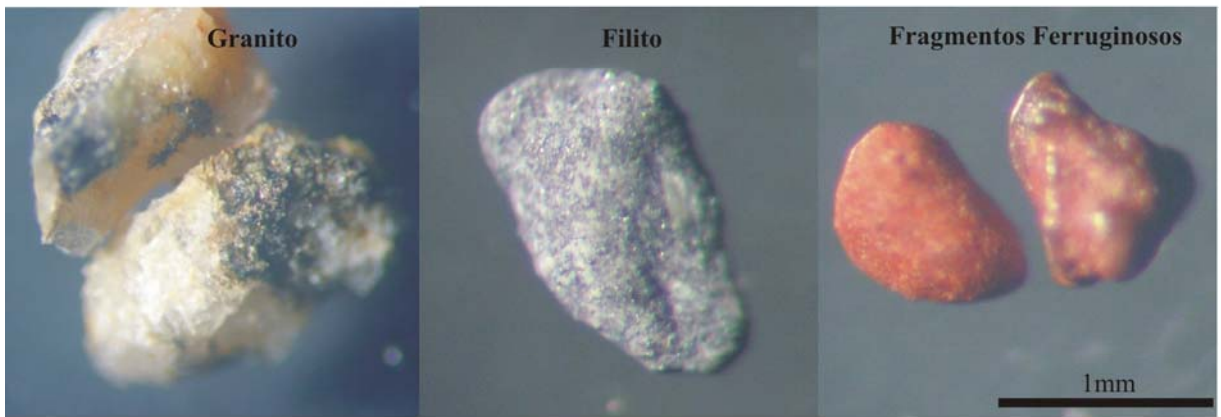
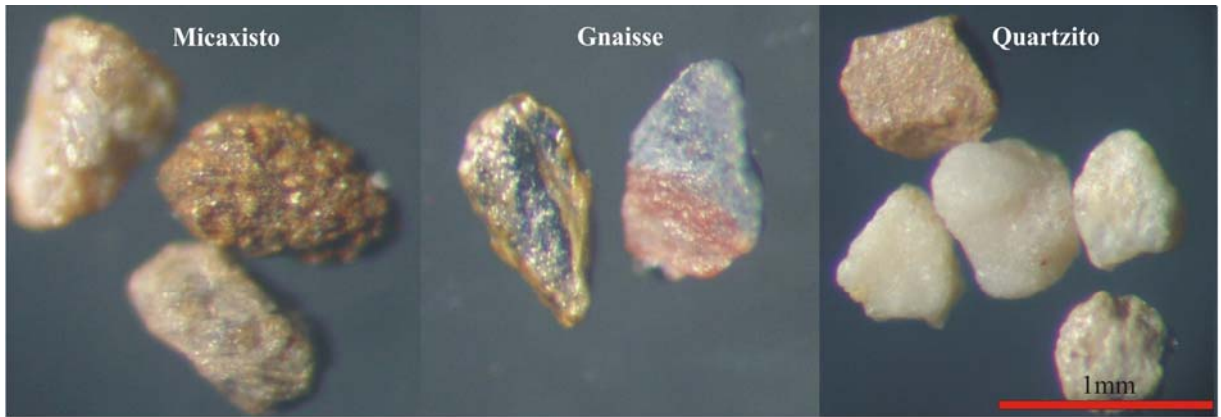


Figura 19. Principais fragmentos de rochas que compõem o arcabouço dos arenitos estudados

8. MINERAIS PESADOS TRANSPARENTES DA FORMAÇÃO, IÇÁ E SEDIMENTOS DO RIO SOLIMÕES

Nos intervalos granulométricos estudados (0,250-0,125mm e 0,125-0,062mm) das três unidades geológicas são encontrados zircão, turmalina, rutilo, anatásio, estaurolita, cianita, sillimanita, andaluzita, granada, topázio, monazita, titanita, mica, brookita, piroxênio, anfibólio e olivina.

8.1 QUANTIFICAÇÃO

Dos minerais supracitados os mais representativos com teor acima de 10% são a andalusita, cianita, sillimanita, zircão, estaurolita e mica na porção inferior da Formação Içá, enquanto na porção superior predominam zircão, sillimanita, mica, andalusita, rutilo, cianita e estaurolita. Por outro lado nos sedimentos do rio Solimões os minerais mais abundantes são o piroxênio, anfibólio, estaurolita, cianita e zircão, enquanto topázio, titanita, brookita e olivina aparecem como minerais traços < 0,5% na Formação Içá e não ocorrem nos sedimentos supracitados, ao contrário da monazita que nesta última unidade é traço.

Andalusita, cianita, piroxênio e anfibólio são os principais componentes que distingue a porção superior da Formação Içá da porção inferior, cujos principais minerais são o zircão, sillimanita e mica. Por outro lado nos sedimentos recentes predominam piroxênio e anfibólio que são altamente instáveis ao ambiente superficial seguido de estaurolita, cianita, zircão e epidoto. A tabela 6 e 7 mostra a distribuição em porcentagem das associações de minerais pesados nas unidades estudadas, bem como o índice ZTR (zircão+turmalina+rutilo) e as razões $Mi/ZTR+Mi$ (mica/ZTR+mica) e $And/ZTR+And$ (andaluzita/ZTR+andaluzita).

Tabela 6. Minerais pesados em % nos intervalos granulométricos. Zircão (Z), turmalina (T), rutilo (R), anatásio (A), estauroлита (E), cianita (C), sillimanita (S), andalusita (And), granada (G), monazita (M), epidoto (Ep), Mi (mica), piroxênio (P) e anfibólio (Af). Minerais ultra-estáveis (ZTR), estáveis (CSAnd), instáveis (EpPAf)

ϕ	Perfil	Fm	Amostra	Z	T	R	A	E	C	S	And	G	M	EP	MI	P	AF	ZTR	CSAnd	EpPAf	Mi/ZTR+Mi	And/ZTR+And	Total Grãos	
0,250 - 0,125m	Perfil-1	IÇÁ	SUPERIOR	01	6	5	1	0	19	19	4	31	3	1	1	4	3	3	13	54	6	4	33	179
				02	9	7	5	0	5	5	11	39	2	5	0	5	5	5	20	55	9	5	41	183
				03	20	3	7	0	10	3	5	31	0	2	0	5	8	5	31	39	14	5	32	178
				04	13	4	0	0	9	13	4	38	0	0	2	6	0	9	18	56	11	6	40	120
				05	3	6	3	1	6	8	2	34	1	4	0	6	19	5	13	44	24	7	36	190
				06	8	6	1	0	2	12	12	36	1	1	1	6	9	5	15	59	16	7	38	207
				07	10	2	3	0	1	3	15	36	0	0	0	7	15	8	15	53	23	7	38	295
				08	7	13	5	0	4	20	2	36	4	0	0	7	2	0	26	58	2	8	37	155
				09	7	0	4	0	5	11	13	38	0	0	2	7	5	8	11	62	15	8	41	693
				10	9	0	2	0	9	12	12	39	0	2	0	8	4	5	10	63	9	8	42	456
				11	24	15	5	0	0	3	0	35	1	4	1	7	1	0	44	38	2	7	36	191
				Máxima	24	15	7	1	19	20	15	39	4	5	2	8	19	9	44	63	24	8	42	693
	Média	12	6	3	0	7	11	8	36	1	2	1	6	7	5	22	54	13	7	38	295			
	Mínima	3	0	0	0	0	3	0	31	0	0	0	4	0	0	10	38	2	4	32	120			
	Perfil-2	IÇÁ	SUPERIOR	12	5	2	6	0	11	10	14	2	0	0	1	33	12	4	13	26	17	35	2	209
				13	2	1	1	2	11	14	25	1	0	0	0	33	5	7	3	40	11	44	1	539
				14	7	1	8	0	7	8	13	1	2	1	1	38	9	5	16	21	15	40	1	307
				15	4	2	1	1	5	31	4	0	1	0	0	38	6	7	7	35	13	43	0	338
				Máxima	7	2	8	2	11	31	25	2	2	1	1	38	12	7	16	40	17	44	2	539
				Média	4	1	4	1	9	16	14	1	1	0	0	35	8	6	10	31	14	41	1	348
				Mínima	2	1	1	0	5	8	4	0	0	0	0	33	5	4	3	21	11	35	0	209
				Perfil-2	IÇÁ	SUPERIOR	16	8	1	1	0	5	6	11	55	0	0	0	2	5	4	11	73	9
	17	7	3				3	0	6	9	11	51	0	0	0	2	4	4	13	71	8	2	55	159
	18	10	8				4	0	7	3	1	56	5	2	2	0	1	0	21	60	4	0	58	259
19	10	6	4				0	1	9	5	56	3	1	1	0	2	0	20	69	3	0	59	197	
20	12	0	0				0	5	14	9	56	1	0	1	1	0	3	12	79	3	1	61	184	
21	9	0	0				0	4	12	9	57	0	0	0	0	3	4	10	78	7	1	63	120	
22	9	0	0				0	2	8	9	56	0	0	0	1	9	5	10	73	14	1	62	128	
23	10	0	2				0	1	8	11	59	0	0	0	1	5	2	12	78	7	1	64	143	
Máxima	12	8	4				0	7	14	11	59	5	2	2	2	9	5	21	79	14	2	64	259	
Média	9	2	2				0	4	9	8	56	1	0	0	1	4	3	14	73	7	1	60	170	
Mínima	7	0	0				0	1	3	1	51	0	0	0	0	0	0	10	60	3	0	55	120	
Perfil-2	IÇÁ	INFERIOR	24				17	2	2	1	8	13	8	4	1	1	2	16	10	17	21	24	29	17
			25	15	2	3	0	11	13	15	2	0	1	0	23	9	7	19	30	16	24	2	101	
			26	17	3	3	0	7	14	18	1	0	1	0	21	10	5	22	33	15	21	1	107	
			27	14	3	2	1	14	16	16	1	0	1	0	17	6	9	19	33	15	18	1	111	
			Máxima	17	3	3	1	14	16	18	4	1	1	2	23	10	17	22	33	29	24	4	132	
			Média	16	2	2	0	10	14	14	2	0	1	0	19	9	9	20	30	19	20	2	113	
Mínima	14	2	2	0	7	13	8	1	0	1	0	16	6	5	19	24	15	17	1	101				

Continuação da tabela 6. Zircão (Z), turmalina (T), rutilo (R), anatásio (A), estauroilita (E), cianita (C), sillimanita (S), andalusita (And), granada (G), monazita (M), epidoto (Ep), Mi (mica), piroxênio (P) e anfibólio (Af). Minerais ultra-estáveis (ZTR), estáveis (CSAnd), instáveis (EpPAf)

ϕ	Perfil	Fm	Amostra	Z	T	R	A	E	C	S	And	G	M	EP	MI	P	AF	ZTR	CSAnd	EpPAf	Mi/ZTR+Mi	And/ZTR+And	Total Grãos	
0,250 - 0,125m	Perfil-3	IÇÁ	SUPERIOR	28	19	2	1	0	21	23	11	14	0	2	0	1	5	2	22	48	7	1	14	130
				29	11	4	2	0	15	13	8	27	0	1	1	1	10	7	17	48	18	1	29	161
				30	11	2	0	1	22	14	7	30	1	1	1	1	6	4	13	51	11	1	33	178
				31	12	1	1	1	4	14	15	32	0	1	1	1	11	7	14	61	18	2	34	514
				32	12	3	3	1	3	14	14	27	1	1	1	1	10	8	17	55	19	1	29	279
				Máxima	19	4	3	1	22	23	15	32	1	2	1	1	11	8	22	61	19	2	34	514
				Média	13	2	1	1	13	16	11	26	0	1	1	1	8	6	17	52	15	1	28	252
			Mínima	11	1	0	0	3	13	7	14	0	1	0	1	5	2	13	48	7	1	14	130	
			INFERIOR	33	10	6	2	0	13	13	17	3	2	2	0	30	2	1	17	33	3	31	3	112
				34	16	3	3	0	2	23	8	4	1	5	1	21	3	10	22	34	14	22	4	122
				35	11	5	3	0	21	12	7	2	0	2	0	25	8	5	19	21	13	26	2	167
				36	10	3	4	0	3	12	18	1	3	5	0	14	15	10	18	31	26	14	1	172
				Máxima	16	6	4	0	21	23	18	4	3	5	1	30	15	10	22	34	26	31	4	172
				Média	12	4	3	0	10	15	12	3	1	3	0	22	7	7	19	30	14	23	3	143
	Mínima	10		3	2	0	2	12	7	1	0	2	0	14	2	1	17	21	3	14	1	112		
	Perfil-4	IÇÁ	SUPERIOR	37	24	3	5	0	4	6	31	0	0	1	0	22	1	2	33	37	3	23	0	188
				38	14	3	4	0	9	11	32	0	0	1	0	24	1	1	21	43	2	26	0	145
				39	35	1	5	0	6	2	25	0	0	1	1	22	1	2	41	28	3	22	0	159
				40	31	0	3	0	4	3	24	1	0	1	2	28	2	2	34	28	5	28	1	134
				41	37	4	3	0	6	2	19	0	0	1	2	22	2	1	44	21	5	23	0	155
				42	36	4	4	0	12	8	13	1	0	1	1	19	2	1	43	22	4	19	1	221
				43	37	2	8	0	4	3	29	0	1	1	3	11	1	1	47	32	4	11	0	325
44				30	2	8	1	3	3	30	0	1	2	2	16	2	2	40	32	5	17	0	197	
Máxima				37	4	8	1	12	11	32	1	1	2	3	28	2	2	47	43	5	28	1	325	
Média				31	2	5	0	6	5	25	0	0	1	1	20	1	1	38	30	4	21	0	191	
Mínima	14	0	3	0	3	2	13	0	0	1	0	11	1	1	21	21	2	11	0	134				

Continuação da tabela 6. Zircão (Z), turmalina (T), rutilo (R), anatásio (A), estauroлита (E), cianita (C), sillimanita (S), andalusita (And), granada (G), monazita (M), epidoto (Ep), Mi (mica), piroxênio (P) e anfibólio (Af). Minerais ultra-estáveis (ZTR), estáveis (CSAnd), instáveis (EpPAf).

ϕ	Perfil	Fm	Amostra	Z	T	R	A	E	C	S	And	G	M	EP	MI	P	AF	ZTR	CSAnd	EpPAf	Mi/ZTR+Mi	And/ZTR+And	Total Grãos		
0,250 - 0,125m	Perfil-5	IÇÁ	SUPERIOR	45	24	5	4	0	4	2	20	29	1	4	1	0	3	2	34	50	6	0	30	120	
				46	21	1	3	0	5	2	26	37	0	1	3	0	1	1	24	64	4	0	38	225	
				47	23	2	3	1	2	2	15	46	0	1	1	1	1	2	28	63	4	1	47	124	
				48	14	1	1	0	8	6	19	47	0	1	1	1	1	0	1	15	72	2	1	50	189
				Máxima	24	5	4	1	8	6	26	47	1	4	3	1	3	2	34	72	6	1	50	225	
			Média	20	2	3	0	5	3	20	39	0	2	1	1	1	2	25	62	4	1	41	165		
			Mínima	14	1	1	0	2	2	15	29	0	1	1	0	0	1	15	50	2	0	30	120		
			INFERIOR	49	46	5	5	0	3	2	22	1	0	4	0	8	2	1	56	25	3	8	1	156	
				50	18	2	3	0	13	7	33	0	0	1	5	14	2	3	22	40	9	14	0	188	
				51	27	0	1	0	16	4	29	1	0	2	2	14	2	1	28	35	5	14	1	355	
	52	34		5	2	0	9	2	27	1	0	1	2	13	2	2	41	30	7	13	1	289			
	53	36		4	2	1	9	11	19	1	0	1	1	12	2	1	42	31	4	12	1	312			
	54	26	1	4	0	13	3	33	2	1	1	2	12	1	2	31	38	5	12	2	203				
	55	26	2	7	1	10	2	26	1	0	1	2	18	2	2	35	30	6	18	1	205				
	56	37	1	3	0	8	6	18	1	0	1	0	21	2	3	40	25	5	21	1	286				
	57	19	2	2	2	10	13	16	1	1	0	1	30	2	2	23	30	4	32	1	221				
	Máxima	46	5	7	2	16	13	33	2	1	4	5	30	2	3	42	40	9	32	2	355				
	Média	30	2	3	0	10	6	25	1	0	1	2	16	2	2	33	32	6	17	1	246				
	Mínima	18	0	1	0	3	2	16	0	0	0	0	8	1	1	22	25	4	12	0	156				
	Perfil-6	SUPERIOR	IÇÁ	58	18	6	8	0	1	12	14	25	2	0	0	1	10	1	32	51	12	1	26	199	
59				15	14	7	0	1	10	4	22	12	5	1	1	2	3	35	36	5	1	22	226		
Máxima				18	14	8	0	1	12	14	25	12	5	1	1	10	3	35	51	12	1	26	226		
Média				17	10	7	0	1	11	9	23	7	3	0	1	6	2	34	44	9	1	24	213		
Mínima				15	6	7	0	1	10	4	22	2	0	0	1	2	1	32	36	5	1	22	199		
INFERIOR		60	16	5	2	1	1	31	16	4	2	2	0	10	6	1	23	52	7	10	4	354			
		61	16	5	2	0	1	33	13	2	2	1	1	15	6	4	22	48	10	16	2	228			
		Máxima	16	5	2	1	1	33	16	4	2	2	1	15	6	4	23	52	10	16	4	354			
		Média	16	5	2	0	1	32	15	3	2	1	0	13	6	2	23	50	9	13	3	291			
		Mínima	16	5	2	0	1	31	13	2	2	1	0	10	6	1	22	48	7	10	2	228			

Continuação da tabela 6. Zircão (Z), turmalina (T), rutilo (R), anatásio (A), estauroilita (E), cianita (C), sillimanita (S), andalusita (And), granada (G), monazita (M), epidoto (Ep), Mi (mica), piroxênio (P) e anfibólio (Af). Minerais ultra-estáveis (ZTR), estáveis (CSAnd), instáveis (EpPAf).

ϕ	Perfil	Fm	Amostra	Z	T	R	A	E	C	S	And	G	M	EP	MI	P	AF	ZTR	CSAnd	EpPAf	Mi/ZTR+Mi	And/ZTR+And	Total Grãos	
0,125 - 0,062mm	Perfil-1	IÇÁ	SUPERIOR	01	5	4	1	0	28	13	7	33	1	1	0	4	2	1	9	53	4	4	36	179
				02	8	5	3	0	5	9	11	31	1	4	1	8	5	8	16	51	15	9	33	183
				03	13	3	6	0	6	6	8	32	0	1	1	3	15	7	21	46	24	3	33	178
				04	23	0	0	0	0	6	10	32	0	0	6	3	0	19	23	48	26	3	34	120
				05	7	4	3	1	3	7	4	32	1	2	0	4	23	7	14	43	30	5	34	190
				06	6	3	1	0	2	9	21	33	1	1	0	3	16	5	10	62	21	3	36	207
				07	6	1	3	0	1	4	19	31	0	0	0	6	19	12	9	54	30	7	34	295
				08	7	0	2	0	3	22	13	34	0	0	1	7	4	7	9	69	11	8	37	155
				09	6	0	3	0	11	19	11	36	0	2	0	2	5	6	9	66	11	2	40	693
				10	14	11	2	0	6	14	2	33	4	1	2	1	7	0	28	49	9	1	34	456
				11	2	0	1	3	7	10	30	30	0	0	0	6	4	5	4	70	10	8	37	191
	Máxima	23	11	6	3	28	22	30	36	4	4	6	8	23	19	28	70	30	9	40	693			
	Média	9	3	2	0	6	11	12	32	1	1	1	4	9	7	14	56	17	5	35	259			
	Mínima	2	0	0	0	0	4	2	30	0	0	0	1	0	0	4	43	4	1	33	120			
	Perfil-1	IÇÁ	INFERIOR	12	7	1	5	0	4	7	13	2	1	0	0	50	6	4	13	21	10	54	2	209
				13	5	2	2	0	6	12	7	1	1	0	0	48	9	6	9	19	16	54	1	539
				14	4	1	3	0	6	2	7	1	0	0	0	71	3	2	8	10	5	80	1	307
				15	5	2	1	0	2	6	6	0	0	0	0	71	4	2	9	13	5	79	0	338
				Máxima	7	2	5	0	6	12	13	2	1	0	0	71	9	6	13	21	16	80	2	539
				Média	5	2	3	0	5	7	8	1	0	0	0	60	6	4	10	16	9	67	1	348
				Mínima	4	1	1	0	2	2	6	0	0	0	0	48	3	2	8	10	5	54	0	209
	Perfil-2	IÇÁ	SUPERIOR	16	12	2	2	0	9	9	12	48	0	0	0	0	5	0	16	69	5	1	51	173
				17	7	10	4	0	6	12	4	41	0	1	1	1	7	6	21	56	15	2	43	159
				18	10	5	3	0	6	18	6	42	1	1	0	4	5	0	18	65	5	4	45	259
				19	16	3	3	0	4	9	11	43	0	0	0	1	6	3	22	63	9	1	45	197
				20	18	0	0	0	6	12	18	42	1	0	1	1	0	1	18	72	2	1	44	184
				21	15	1	0	1	6	13	17	40	0	0	0	1	3	4	15	70	7	1	43	120
22				13	0	1	0	3	11	11	41	0	0	0	1	11	6	14	64	18	1	44	128	
23				13	0	3	1	2	9	9	48	0	0	0	1	8	6	15	66	14	1	52	143	
Máxima				18	10	4	1	9	18	18	48	1	1	1	4	11	6	22	72	18	4	52	259	
Média				13	3	2	0	5	12	11	43	0	0	0	1	6	3	17	66	9	1	46	170	
Mínima				7	0	0	0	2	9	4	40	0	0	0	0	0	0	14	56	2	1	43	120	
Perfil-2		IÇÁ	INFERIOR	24	14	1	1	1	9	12	9	2	1	1	1	16	16	16	17	23	33	17	2	132
				25	22	2	4	0	11	18	13	2	0	1	0	17	7	4	28	33	11	18	2	101
				26	17	5	2	0	13	14	15	1	0	1	0	13	12	6	25	30	17	14	1	107
	27			20	3	2	1	10	18	15	1	0	1	0	12	7	10	25	34	17	12	1	111	
	Máxima			22	5	4	1	13	18	15	2	1	1	1	17	16	16	28	34	33	18	2	132	
Média	18	3	2	0	11	16	13	1	0	1	0	15	10	9	24	30	20	15	1	113				
Mínima	14	1	1	0	9	12	9	1	0	1	0	12	7	4	17	23	11	12	1	101				

Continuação da tabela 6. Zircão (Z), turmalina (T), rutilo (R), anatásio (A), estauroilita (E), cianita (C), sillimanita (S), andalusita (And), granada (G), monazita (M), epidoto (Ep), Mi (mica), piroxênio (P) e anfibólio (Af). Minerais ultra-estáveis (ZTR), estáveis (CSAnd), instáveis (EpPAf).

ϕ	Perfil	Fm	Amostra	Z	T	R	A	E	C	S	And	G	M	EP	MI	P	AF	ZTR	CSAnd	EpPAf	Mi/ZTR+Mi	And/ZTR+And	Total Grãos		
0,125 - 0,062mm	Perfil-3	IÇÁ	SUPERIOR	28	10	1	0	0	7	12	10	39	0	1	0	0	10	8	12	61	19	1	42	130	
				29	10	2	0	0	7	11	10	40	0	0	0	0	10	8	13	60	19	1	43	161	
				30	10	2	1	0	8	11	10	38	0	0	1	0	10	8	13	59	18	1	41	178	
				31	10	2	1	0	7	12	11	40	0	0	0	1	6	8	14	62	15	1	43	514	
				32	11	2	1	1	6	10	10	38	1	1	0	1	10	7	14	57	18	1	40	279	
				Máxima	11	2	1	1	8	12	11	40	1	1	1	1	10	8	14	62	19	1	43	514	
	Média	10	2	1	0	7	11	10	39	0	1	0	1	9	8	13	60	18	1	42	252				
	Mínima	10	1	0	0	6	10	10	38	0	0	0	0	6	7	12	57	15	1	40	130				
	Perfil-3	IÇÁ	INFERIOR	33	14	4	2	0	11	13	9	1	1	1	0	20	14	11	19	24	24	22	1	112	
				34	12	3	3	0	9	13	5	2	1	3	1	23	14	10	18	20	25	24	2	122	
				35	12	3	4	0	9	13	7	1	0	2	0	20	18	11	20	21	29	21	1	167	
				36	12	3	4	0	9	12	7	1	2	2	0	21	18	10	19	20	28	22	1	172	
				Máxima	14	4	4	0	11	13	9	2	2	3	1	23	18	11	20	24	29	24	24	2	172
				Média	12	3	3	0	10	13	7	1	1	2	0	21	16	10	19	21	26	22	1	143	
	Mínima	12	3	2	0	9	12	5	1	0	1	0	20	14	10	18	20	24	21	1	112				
	Perfil-4	IÇÁ	SUPERIOR	37	28	4	7	1	5	6	34	1	1	2	0	7	3	1	39	41	4	8	1	166	
				38	36	5	3	1	8	4	25	1	1	2	0	8	4	2	44	30	6	9	1	158	
				39	31	1	3	0	4	3	34	1	0	2	1	17	2	1	34	38	4	18	1	159	
40				24	1	7	0	3	3	24	2	0	2	1	29	1	2	32	30	4	29	2	134		
41				43	4	2	0	5	2	28	0	0	2	1	9	2	1	49	31	5	9	0	185		
42				46	3	2	0	8	3	15	1	0	3	1	12	3	2	51	19	6	13	1	171		
43				41	2	6	1	2	1	27	1	0	1	1	16	2	1	49	28	4	16	1	191		
44				37	1	10	1	1	1	25	1	0	1	1	19	1	1	48	27	3	20	1	197		
Máxima				46	5	10	1	8	6	34	2	1	3	1	29	4	2	51	41	6	29	2	197		
Média				36	3	5	0	4	3	27	1	0	2	1	15	2	1	43	30	4	15	1	170		
Mínima	24	1	2	0	1	1	15	0	0	1	0	7	1	1	32	19	3	8	0	134					

Continuação da tabela 6. Zircão (Z), turmalina (T), rutilo (R), anatásio (A), estauroлита (E), cianita (C), sillimanita (S), andalusita (And), granada (G), monazita (M), epidoto (Ep), Mi (mica), piroxênio (P) e anfibólio (Af). Minerais ultra-estáveis (ZTR), estáveis (CSAnd), instáveis (EpPAf).

ϕ	Perfil	Fm	Amostra	Z	T	R	A	E	C	S	And	G	M	EP	MI	P	AF	ZTR	CSAnd	EpPAf	Mi/ZTR+Mi	And/ZTR+And	Total Grãos		
0,125 - 0,062mm	Perfil-5	IÇÁ	SUPERIOR	45	30	4	3	0	3	1	18	34	0	3	1	1	1	1	37	53	3	1	35	120	
				46	18	1	2	0	7	3	25	35	0	1	2	1	2	1	22	63	5	1	36	471	
				47	26	1	4	0	3	3	20	35	0	2	1	1	1	2	32	58	4	1	36	100	
				48	14	2	2	1	8	6	22	37	0	1	2	2	2	2	1	18	65	5	2	39	159
				Máxima	30	4	4	1	8	6	25	37	0	3	2	2	2	2	37	65	5	2	39	471	
			Média	22	2	3	0	5	3	21	35	0	1	1	1	2	1	27	60	4	1	37	213		
			Mínima	14	1	2	0	3	1	18	34	0	1	1	1	1	1	18	53	3	1	35	100		
			INFERIOR	49	28	3	3	0	9	4	29	1	0	0	0	17	3	1	34	35	4	17	2	156	
				50	18	2	2	0	12	9	30	2	0	2	2	20	1	1	23	40	4	20	2	184	
				51	28	2	4	0	7	6	17	2	1	0	1	30	1	2	33	25	3	31	2	432	
	52	35		0	3	0	5	4	31	1	0	1	1	17	1	0	38	36	2	18	1	289			
	53	43		0	4	0	7	4	19	1	0	0	1	20	1	1	47	24	2	21	1	324			
	54	26	1	6	1	10	4	22	1	1	1	1	24	2	1	32	26	5	25	1	103				
	55	28	1	6	0	8	8	23	1	0	1	1	24	1	1	34	31	2	25	1	110				
	56	26	2	6	0	9	4	22	1	0	1	0	26	1	1	34	27	2	27	1	186				
	57	25	1	2	1	8	7	17	1	0	0	1	35	2	2	27	25	4	36	1	109				
	Máxima	43	3	6	1	12	9	31	2	1	2	2	35	3	2	47	40	5	36	2	432				
	Média	28	1	4	0	8	5	23	1	0	1	1	24	1	1	33	29	3	25	1	210				
	Mínima	18	0	2	0	5	4	17	1	0	0	0	17	1	0	23	24	2	18	1	103				
	Perfil-6	IÇÁ	SUPERIOR	58	18	2	2	1	2	3	1	40	4	3	1	1	17	6	21	43	24	1	42	175	
59				22	16	12	0	2	1	1	30	9	1	0	3	4	0	49	31	4	3	30	226		
Máxima				22	16	12	1	2	3	1	40	9	3	1	3	17	6	49	43	24	3	42	226		
Média				20	9	7	0	2	2	1	35	7	2	1	2	11	3	35	37	14	2	36	201		
Mínima				18	2	2	0	2	1	1	30	4	1	0	1	4	0	21	31	4	1	30	175		
INFERIOR			60	24	9	11	1	2	26	1	2	2	6	0	14	2	0	44	29	2	15	2	354		
			61	26	8	10	0	0	23	7	2	2	1	1	13	4	4	44	31	9	14	2	107		
			Máxima	26	9	11	1	2	26	7	2	2	6	1	14	4	4	44	31	9	15	2	354		
			Média	25	9	11	0	1	24	4	2	2	3	0	14	3	2	44	30	5	14	2	231		
			Mínima	24	8	10	0	0	23	1	2	2	1	0	13	2	0	44	29	2	14	2	107		

Tabela 7. Zircão (Z), turmalina (T), rutilo (R), anatásio (A), estauroлита (E), cianita (C), sillimanita (S), andalusita (And), granada (G), monazita (M), epidoto (Ep), Mi (mica), piroxênio (P) e anfíbólio (Af). Minerais ultra-estáveis (ZTR), estáveis (CSAnd), instáveis (EpPAf).

Und.	Amosta	Z	T	R	A	E	C	S	And	G	EP	MI	P	AF	ZTR	CSAnd	EpPAf	Mi/ZTR+Mi	And/ZTR+And	Total Grãos
SOLIMÕES	01	15	3	6	0	19	25	6	0	0	4	1	13	8	24	32	25	1	0	425
	02	11	1	3	0	20	13	1	0	7	3	1	28	13	14	14	43	1	0	488
	03	5	2	1	0	12	14	2	0	8	4	2	32	18	8	16	54	2	0	325
	04	4	2	2	0	33	37	8	0	0	4	2	2	6	8	45	12	2	0	499
	05	5	2	4	0	36	30	8	0	4	2	0	6	3	11	38	11	0	0	305
	06	9	2	1	0	12	5	8	0	6	2	0	34	21	12	13	57	0	0	208
	07	7	5	7	0	14	8	8	0	11	11	0	17	12	19	16	40	0	0	121
	08	11	0	2	0	26	30	14	0	0	6	0	6	5	13	44	17	0	0	333
	09	7	2	6	0	16	15	7	0	3	0	0	19	25	15	22	44	0	0	412
	10	7	1	1	1	6	6	4	6	6	6	1	39	18	9	15	63	1	6	228
	11	10	2	0	0	10	10	6	4	5	10	1	26	17	11	20	53	1	4	222
	12	7	1	1	0	5	5	6	5	2	7	0	34	28	9	15	69	0	5	219
	13	11	1	1	0	2	4	5	10	2	20	1	28	15	13	18	63	1	10	201
	14	5	2	1	0	1	4	10	3	5	10	0	37	24	7	17	70	0	3	306
	15	4	2	0	1	5	6	8	5	3	12	0	33	22	5	19	66	0	6	220
	16	5	1	0	0	3	6	6	4	1	6	0	45	23	6	16	74	0	5	256
	17	8	3	1	0	10	14	5	7	6	8	1	23	14	13	26	44	1	7	352
	18	9	2	1	1	7	11	4	7	6	16	0	23	13	12	22	52	0	8	199
	19	19	1	1	0	5	11	3	2	3	16	1	23	15	21	16	54	1	2	155
SEDIMENTOS	Máxima	19	5	7	1	36	37	14	10	11	20	2	45	28	24	61	93	2	10	499
	Média	9	2	2	0	14	15	7	3	4	8	1	26	16	13	24	50	1	3	299
	Mínima	4	1	1	1	1	4	1	2	1	2	1	2	3	5	7	7	1	2	121
SOLIMÕES	01	17	3	14		21	15	7	0	0	4	0	12	7	34	23	23	0	0	321
	02	22	5	10		14	6	4	0	9	3	0	15	13	36	10	31	0	0	425
	03	2	0	0		9	21	9	0	0	4	1	29	25	2	30	58	2	0	325
	04	30	2	4		13	22	6	0	0	2	0	15	7	35	28	24	0	0	521
	05	12	7	5		29	28	2	0	0	5	1	10	2	24	30	16	1	0	201
	06	13	7	3		9	3	5	0	8	2	0	30	20	23	8	52	0	0	199
	07	20	5	4		21	15	1	0	4	4	0	17	10	29	15	31	0	0	172
	08	45	2	2		10	14	3	0	0	5	0	11	7	49	17	23	0	0	155
	09	33	3	9		6	11	1	0	2	0	1	24	11	45	12	35	1	0	132
	10	3	1	0	0	2	1	0	1	3	4	0	56	28	5	1	88	0	1	189
	11	3	0			1	0	0	0	3	6	0	56	31	3	0	93	0	0	208
	12	7	1	0	0	1	0	0	1	2	5	0	42	40	8	2	87	0	1	226
	13	8	1	3		15	5	0	0	9	5	0	30	24	12	5	59	0	0	258
	14	3	1			3	2	1	1	2	4	0	49	33	4	4	86	0	1	279
	15	2		0		3	1	0	2	2	3	0	47	40	2	3	90	0	3	188
	16	3	0			1	1	1	2	2	7	1	47	36	3	3	90	1	2	156
	17	10	13	10		17	8	6	0	1	0	1	22	12	33	14	34	1	0	152
	18	11				25	15	8	0	4	1	1	22	12	11	24	35	1	0	200
	19	33				22	9	5	0	2	2	2	17	10	33	14	28	2	0	302
SEDIMENTOS	Máxima	45	13	14	0	29	28	9	2	9	7	2	56	40	49	39	103	2	3	521
	Média	16	4	5	0	13	10	3	0	3	4	0	30	20	22	14	54	1	1	257
	Mínima	2	0	0	0	1	0	0	1	1	2	0	10	2	2	1	14	0	1	132

8.1.1 Aspectos Comparativos

Conforme mencionado anteriormente o teor de andalusita e mica são os principais componentes que diferenciam a porção inferior e superior da Formação Içá, enquanto que os sedimentos do rio Solimões se diferenciam por seus altos teores de piroxênio e anfibólio. Na porção inferior andalusita alcança até 59%, enquanto na porção inferior e nos sedimentos não ultrapassam os 4,5% e 10%, respectivamente. Na porção superior o teor de mica entre 1% a 71%, si distingue da porção inferior e sedimentos que tem 8% e 2%, respectivamente. Esta última unidade apresenta teor médio de anfibólio e piroxênio entre 16% a 30% respectivamente, e si diferenciam da Formação Içá onde os mesmos não ultrapassam o teor médio de 10% e 16% (Tab. 7).

Comparativamente o teor médio dos minerais observados na tabela 8 mostra variações onde sillimanita e andalusita são os minerais mais abundantes na porção inferior da Formação Içá, enquanto na porção superior predominam zircão, cianita e sillimanita. Por outro lado estauroлита, epidoto, piroxênio e anfibólio destacam-se nos sedimentos do rio Solimões. A variação destes minerais da base ao topo dos perfis e entre estes, bem como ao longo do rio Solimões, podem ser observadas abaixo (Fig. 20, 21 e 22).

Tabela 8. Variação dos teores de minerais pesados encontrados nas unidades estudadas

Mineral	FORMAÇÃO IÇÁ				SED. DO RIO SOLIMÕES	
	PORÇÃO INFERIOR		PORÇÃO SUPERIOR		0,250-0,125mm	0,125-0,062mm
	0,250-0,125mm	0,125-0,062mm	0,250-0,125mm	0,125-0,062mm		
zircão	9% a 25%	9% a 23%	4% a 31%	5% a 36%	9%	16%
turmalina	2% a 10%	2% a 9%	1% a 5%	1% a 9%	2%	4%
rutilo	2% a 7%	1% a 7%	2% a 5%	2% a 11%	2%	5%
anatásio	<= 1%	1% a 2%	<= 1%	<= 1%	0%	0%
estauroлита	1% a 13%	2% a 7%	1% a 11%	1% a 11%	14%	13%
cianita	3% a 16%	2% a 12%	5% a 32%	3% a 24%	15%	10%
sillimanita	8% a 21%	1% a 23%	12% a 25%	4% a 27%	7%	3%
andalusita	23% a 56%	28% a 43%	1% a 3%	1% a 2%	3%	0%
granada	1% a 7%	1% a 7%	1% a 2%	1% a 2%	4%	3%
monazita	1% a 3%	1% a 2%	1% a 3%	1% a 3%	0%	0%
epidoto	<= 1%	<= 1%	1% a 2%	<= 1%	8%	4%
mica	1% a 6%	1% a 4%	13% a 35%	14% a 60%	1%	0%
piroxênio	1% a 8%	2% a 11%	1% a 9%	1% a 16%	26%	30%
anfifólio	3% a 6%	1% a 8%	1% a 9%	1% a 10%	16%	20%

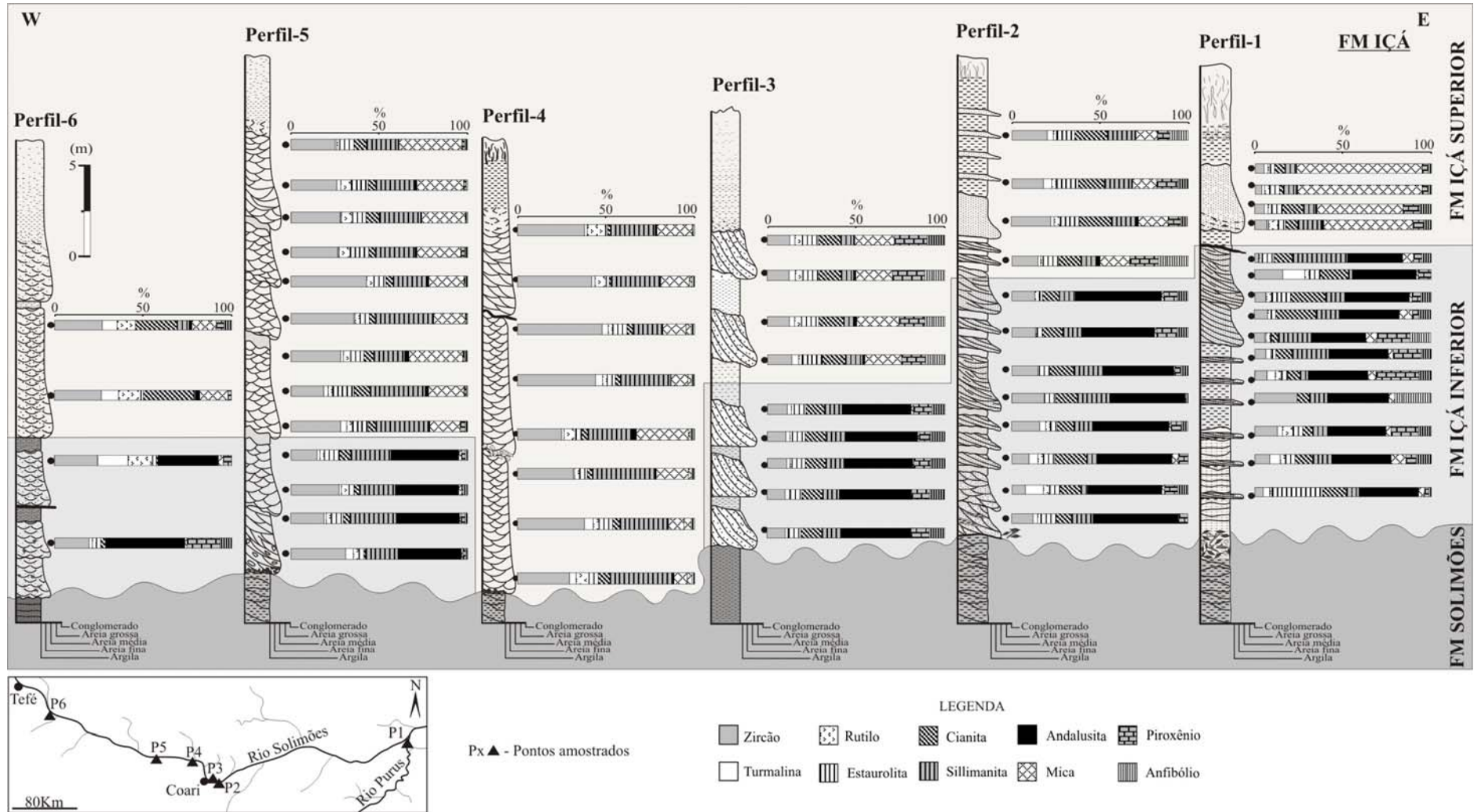


Figura 20. Distribuição dos minerais pesados da porção inferior e superior da Formação Içá no intervalo 0,062mm a 0,125mm. Observar a predominância de andalusita na parte inferior das seções verticais, bem como mica para o topo. A legenda dos perfis pode ser observada na figura 16

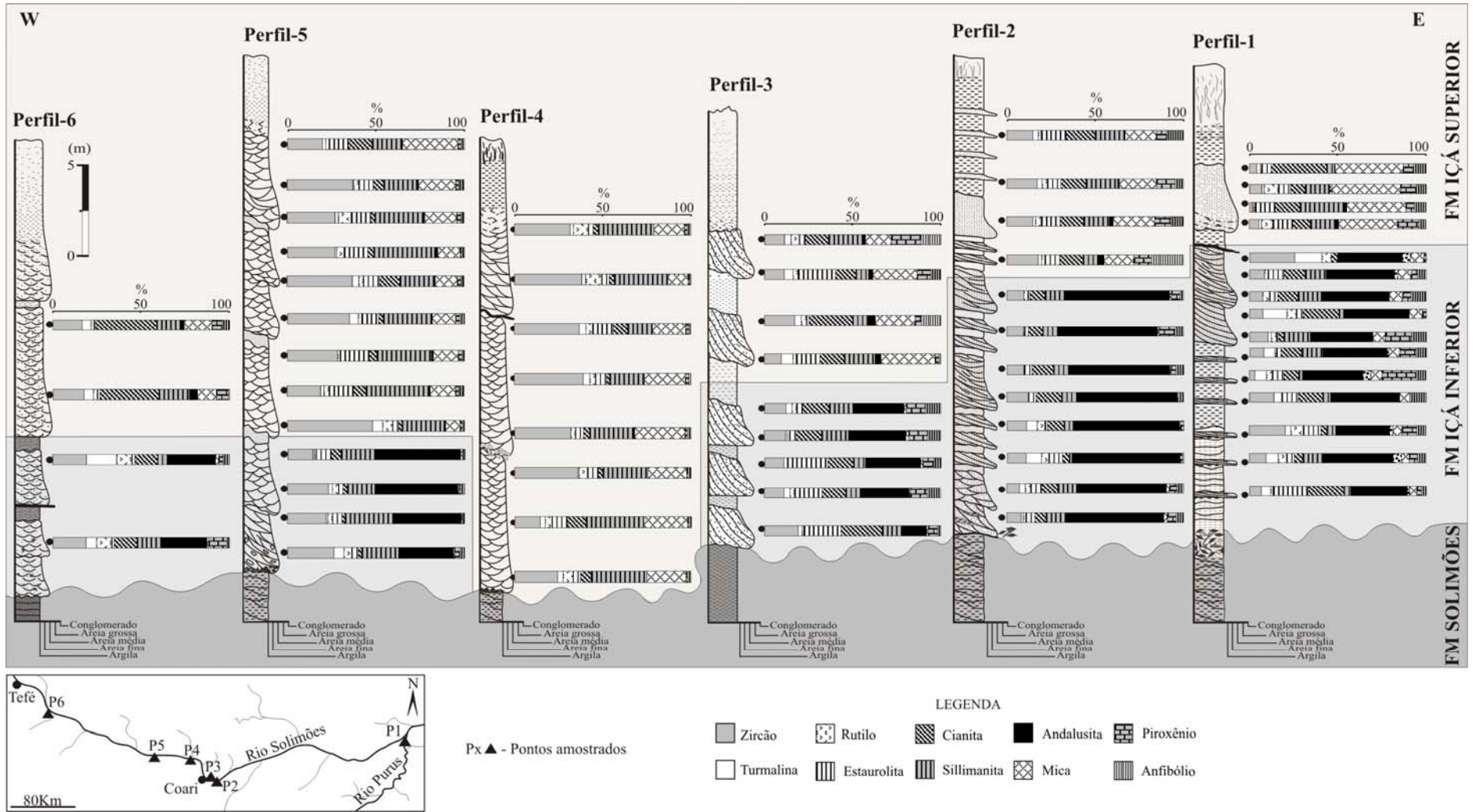
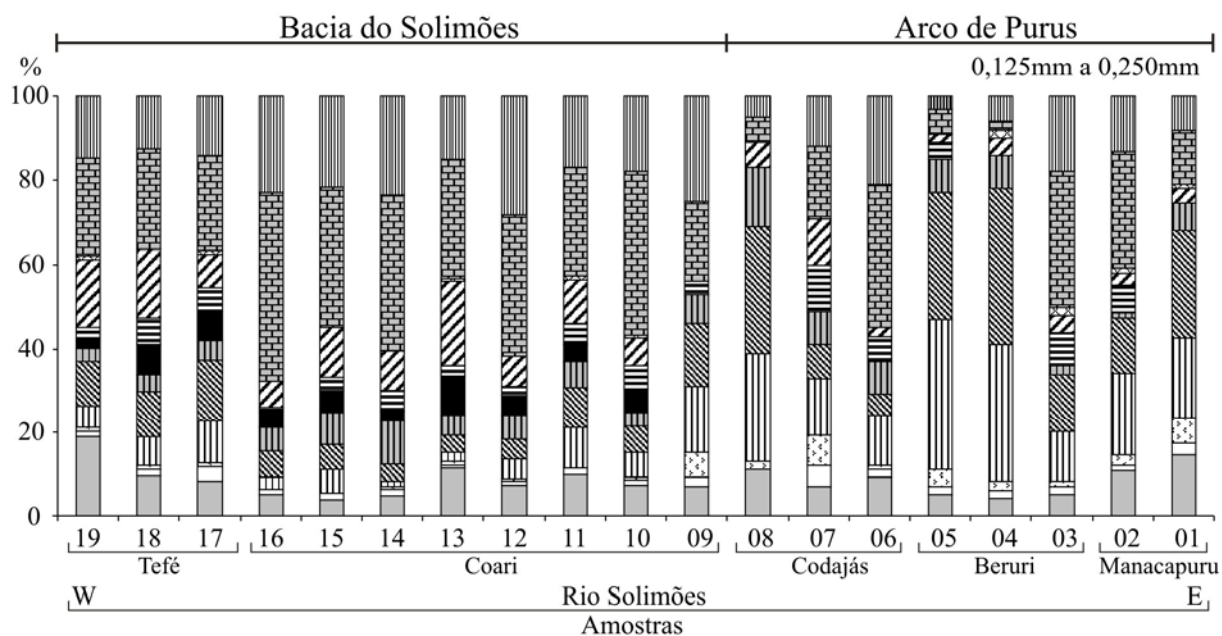
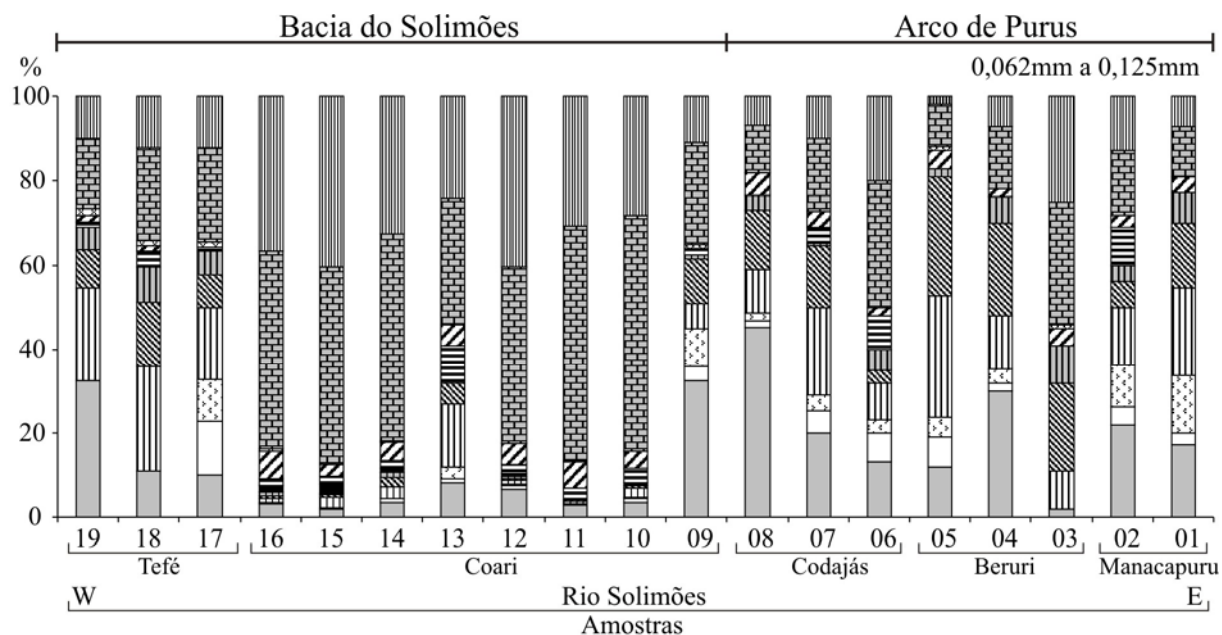


Figura 21. Distribuição dos minerais pesados da porção inferior e superior da Formação Içá no intervalo 0,125mm a 0,250mm. Observar a predominância de andalusita na parte inferior das seções verticais, bem como mica para o topo. A legenda dos perfis pode ser observada na figura 16



LEGENDA

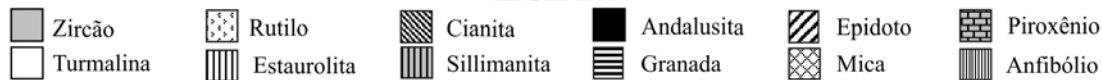


Figura 22. Distribuição dos minerais pesados dos sedimentos recentes nos intervalos 0,062mm a 0,125mm e 0,125mm a 0,250mm. Observar a predominância piroxênio e anfibólio no sentido W-E ao longo do rio Solimões, entre as cidades de Tefê e Manacapuru

8.1.2 Índice zircão, turmalina e rutilo (ZTR) e relação entre minerais ultra-estáveis (ZTR), estáveis (CSAnd) e instáveis (EpPAf)

Na porção inferior da Formação Içá o índice ZTR (zircão+turmalina+rutilo) varia entre 13% a 35% e 10% a 44%, respectivamente, enquanto nos sedimentos recentes a variação é bem menor (entre 12% a 22%) (tab. 6). A causa destas variações pode ser observada na figura 23A onde a maioria das amostras tem maior conteúdo de zircão. Contudo outras exibem maior contribuição de rutilo e turmalina, especialmente nos perfis 1, 2 e 3 (porção inferior) e nos perfis 1 e 3 (porção superior) da Formação Içá e na maioria das amostras dos sedimentos recentes.

Na relação entre ZTR / CSAnd / EpPAf, observa-se que na porção inferior da Formação Içá as amostras tendem para o campo dos minerais estáveis devido ao alto teor de andalusita, a porção superior tendem para o campo dos ultra-estáveis e estáveis em função do alto conteúdo de zircão e cianita+sillimanita, enquanto as amostras dos sedimentos recentes se concentram no campo dos minerais instáveis devido a maior proporção de piroxênio e anfibólio frente aos minerais ultra-estáveis e estáveis (Fig. 23B).

8.1.3 Razão And/ZTR+And e Mi/ZTR+Mi

Na porção inferior da Formação Içá a razão And/ZTR+And (andalusita/zircão+turmalina+rutilo +andalusita) tem valor mais elevado (1 a 64) que na porção superior (<1 a 4), enquanto a razão Mi/ZTR+Mi (mica/zircão+turmalina+rutilo+mica) na porção inferior baixa (<1 a 8) em relação à porção superior que tem valores altos (7 a 80).

Estes dados corroboram os apresentados na figura 20 e 21 e mostram que é possível diferenciar a porção inferior do perfil 1 (amostra 1 a 11), perfil 2 (amostra 16 a 23), perfil 3 (amostra 28 a 32) e perfil 5 (amostra 45 a 49) da porção superior (Fig. 24).

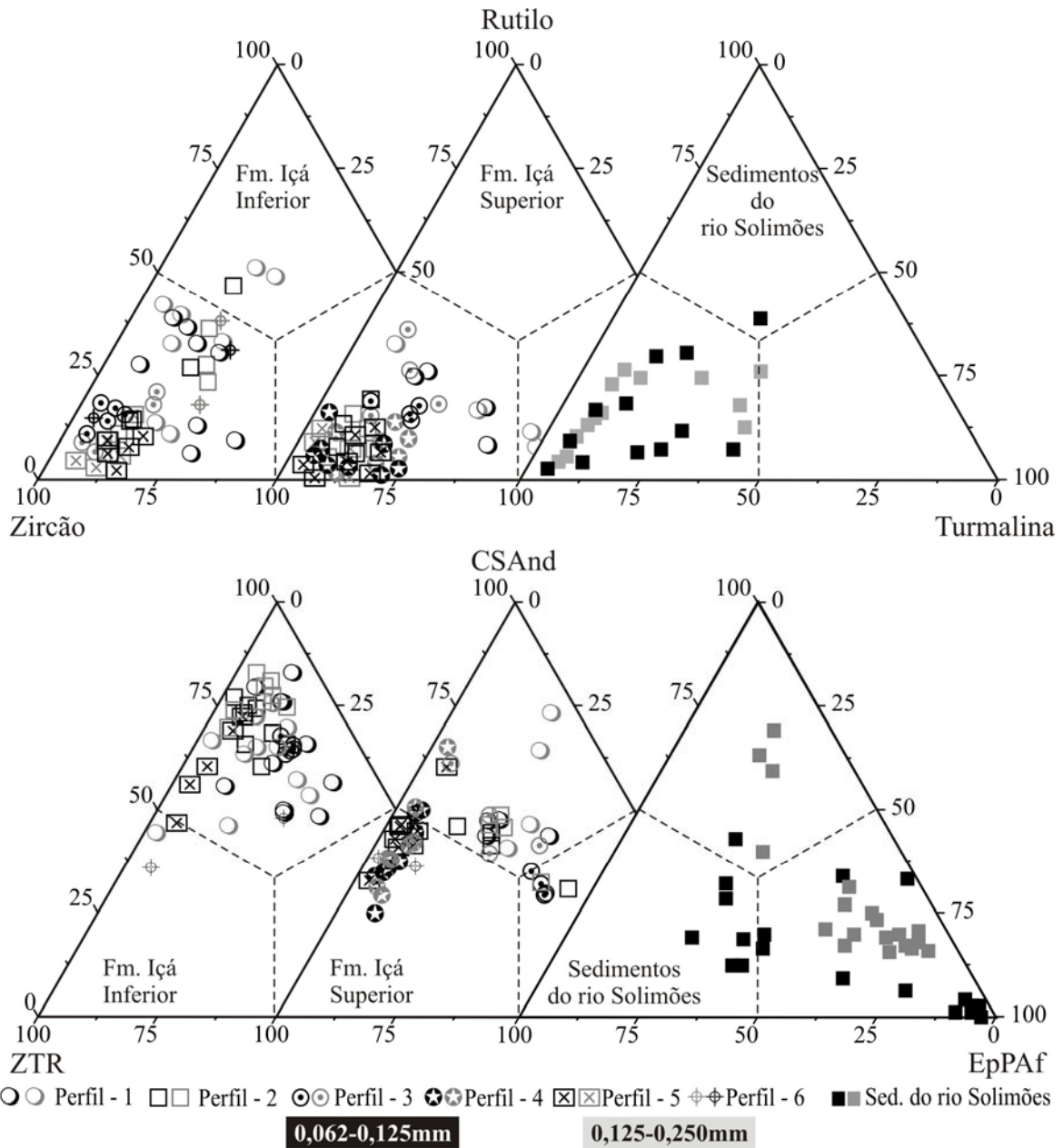


Figura 23: A) Gráfico ternário mostrando o comportamento do índice zircão+turmalina+rutilo (ZTR) das unidades estudadas no qual se observa o enriquecimento de zircão. B) Relação entre minerais ultra-estáveis (ZTR)/ estáveis (CSAnd)/ instáveis (EpPAf) de cada unidade com comportamento diferenciados entre si.

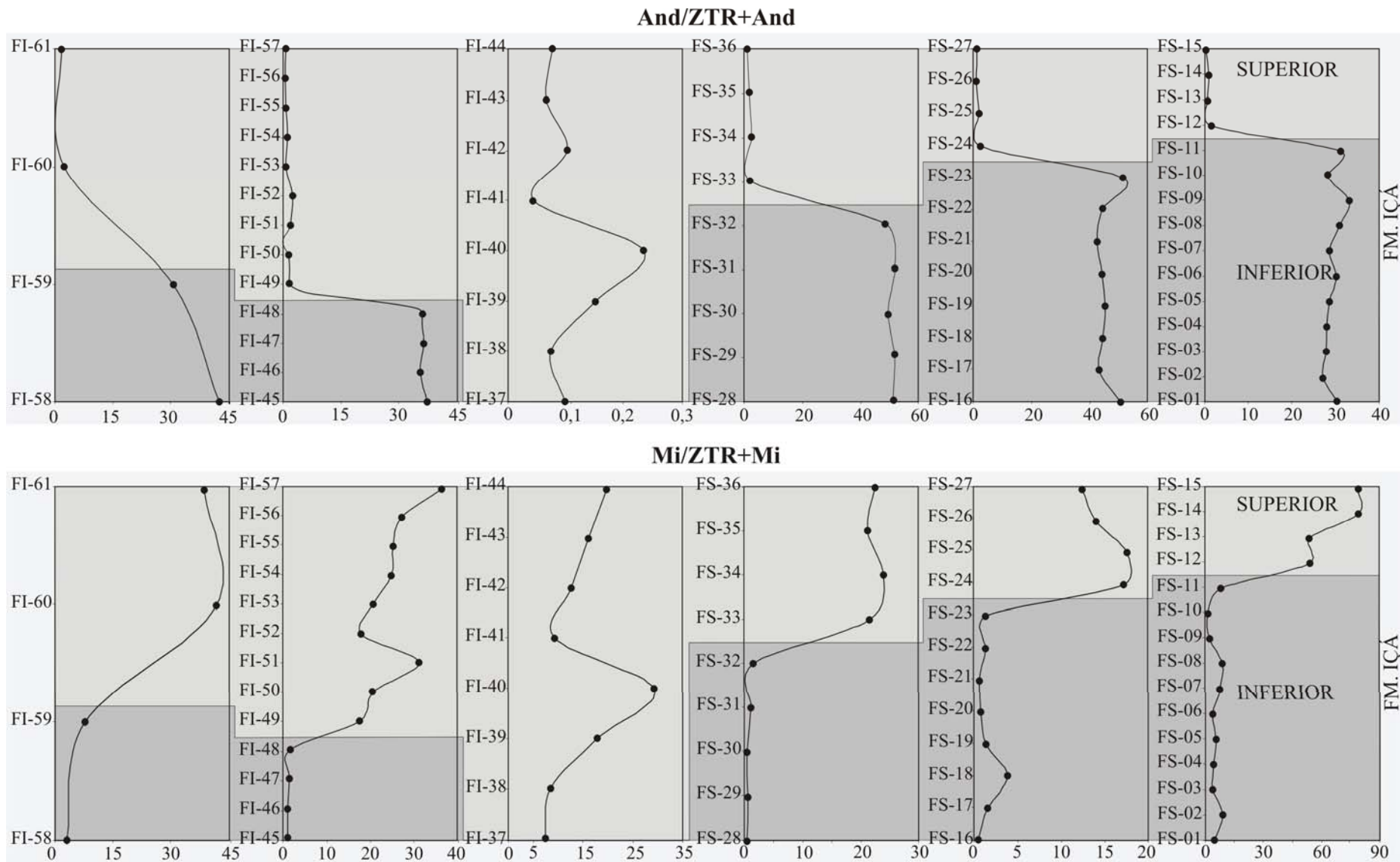


Figura 24. As razões And/ZTR+And e Mi/ZTR+Mi mostra diferenciação entre a porção inferior e superior da Formação Iça

8.2 ASPECTOS DESCRITIVOS

Neste item segue uma abordagem descritiva e individualizada dos minerais pesados transparentes encontrados na Formação Içá (porção superior e inferior) e sedimentos recentes do rio Solimões, com base em algumas de suas propriedades diagnósticas (físicas e ópticas), considerando suas proporções já apresentadas. Além disso, tendo em vista a obtenção de informações sobre a proveniência das unidades estudadas, fez-se necessário o uso de técnicas adicionais que vão além da petrografia convencional, como a Difração de Raios X (DRX), Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV).

8.2.1 Zircão – $ZrSiO_4$

Nas Formações Içá inferior e superior os grãos apresentam hábito prismático curto ou alongado, com bipirâmides tetragonais bem desenvolvidas. São incolores, esbranquiçados a alaranjados. O brilho é adamantino, o pleocroísmo é fraco, com birrefringência elevada, alguns grãos apresentam zonação, são pouco fraturados, sem planos de clivagem, porém apresentam inclusões fluida opaca e incolor retangular a irregular. Na luz transmitida apresentam contorno escuro, relevo alto e extinção reta (Fig. 25, 26 e 27). Nos sedimentos recentes do rio Solimões diferenciam-se pela ausência de zonação, os grãos são mais límpidos devido à ausência de inclusões. Ocorrem também grãos prismáticos a arredondados em tons rosados (Fig. 27A). As análises de DRX corroboram com os dados petrográficos, o zircão é bem cristalizado, sendo que suas principais reflexões são observadas na figura 28 e tabela 9, enquanto no MEV foi possível observar feições de dissolução nas faces 100 e 010 do prisma e sobrecrecimento com morfologias distintas e complexas (Fig. 29). O estudo morfológico deste mineral identificou 13 e 11 tipos na porção inferior e superior da Formação Içá, respectivamente, e 14 nos sedimentos recentes do rio Solimões, os quais estão descritos em maiores detalhes no item 9.

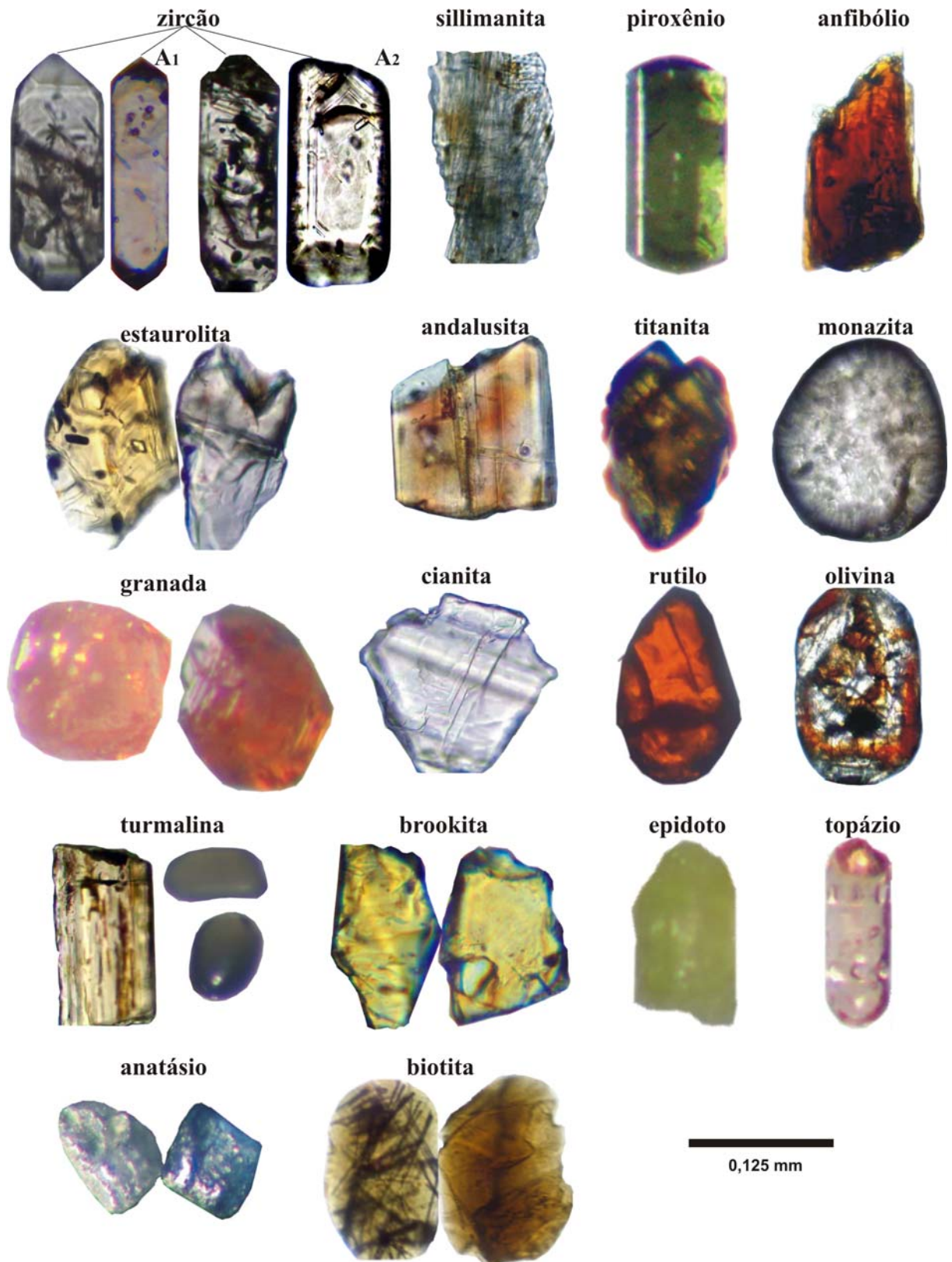


Figura 25. Assembléia de minerais pesados da Formação Içá, porção inferior. Zircão: A1 (ígneo) incolor a rosa claro com prismas e pirâmides perfeitas, A2 (metamórfico) incolor com prismas e pirâmides subarredondados, zonados e com inclusões fluidas

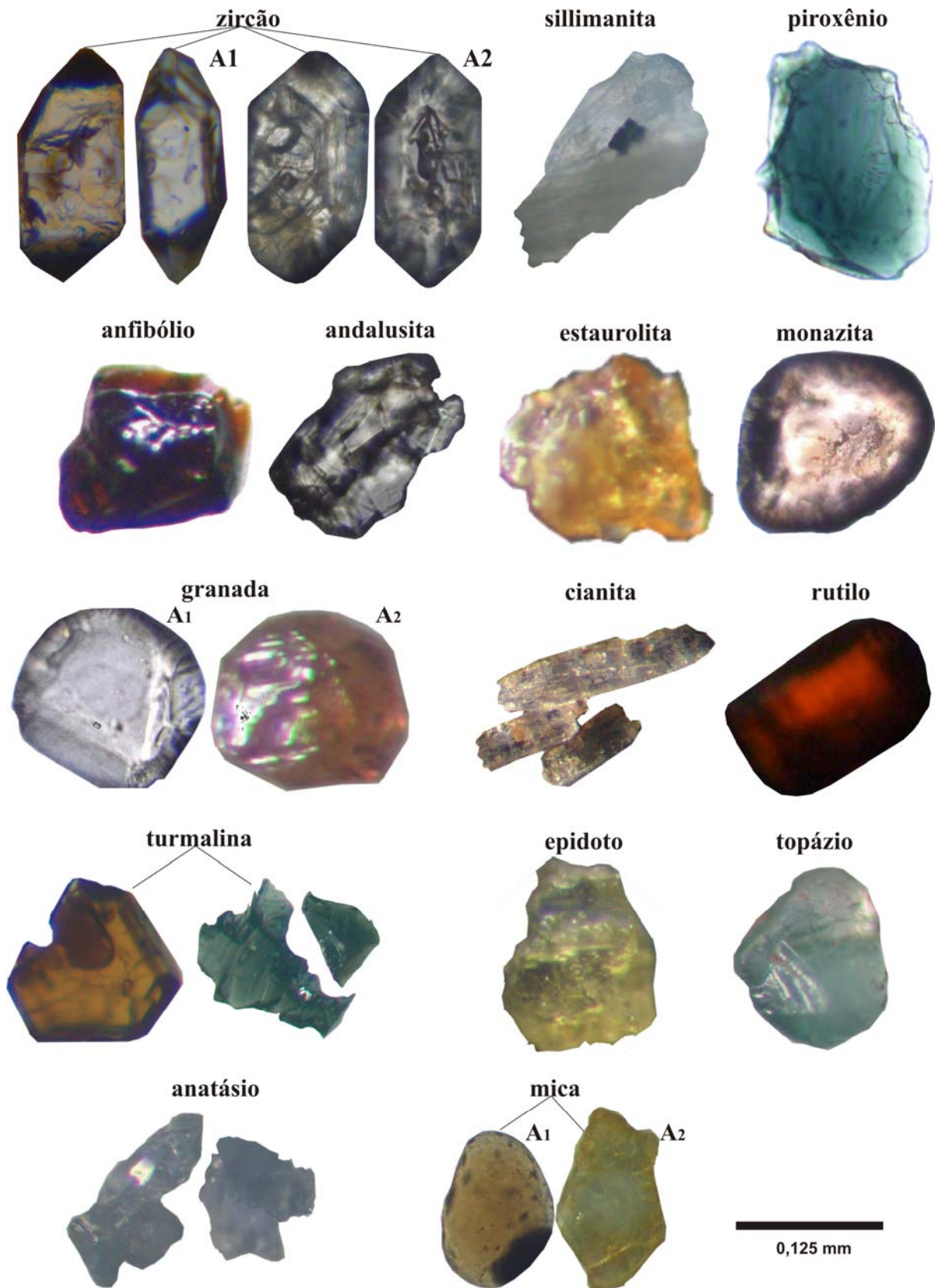


Figura 26. Assembléia de minerais pesados da Formação Içá, porção superior. Zircão: A1 (ígneo) laranja claro e incolor com prismas e pirâmides perfeitas, A2 (metamórfico) incolor com prismas e pirâmides subarredondadas, zonados e com inclusões fluidas; granada A1 (incolor) com forma dodecaédrica e A2 (alaranjada) com forma hexoctaédrica; mica: A1 (biotita) marrom acastanhado, anhedral, hábito placóide com inclusões e A2-variedade identificada pela difração de raios X

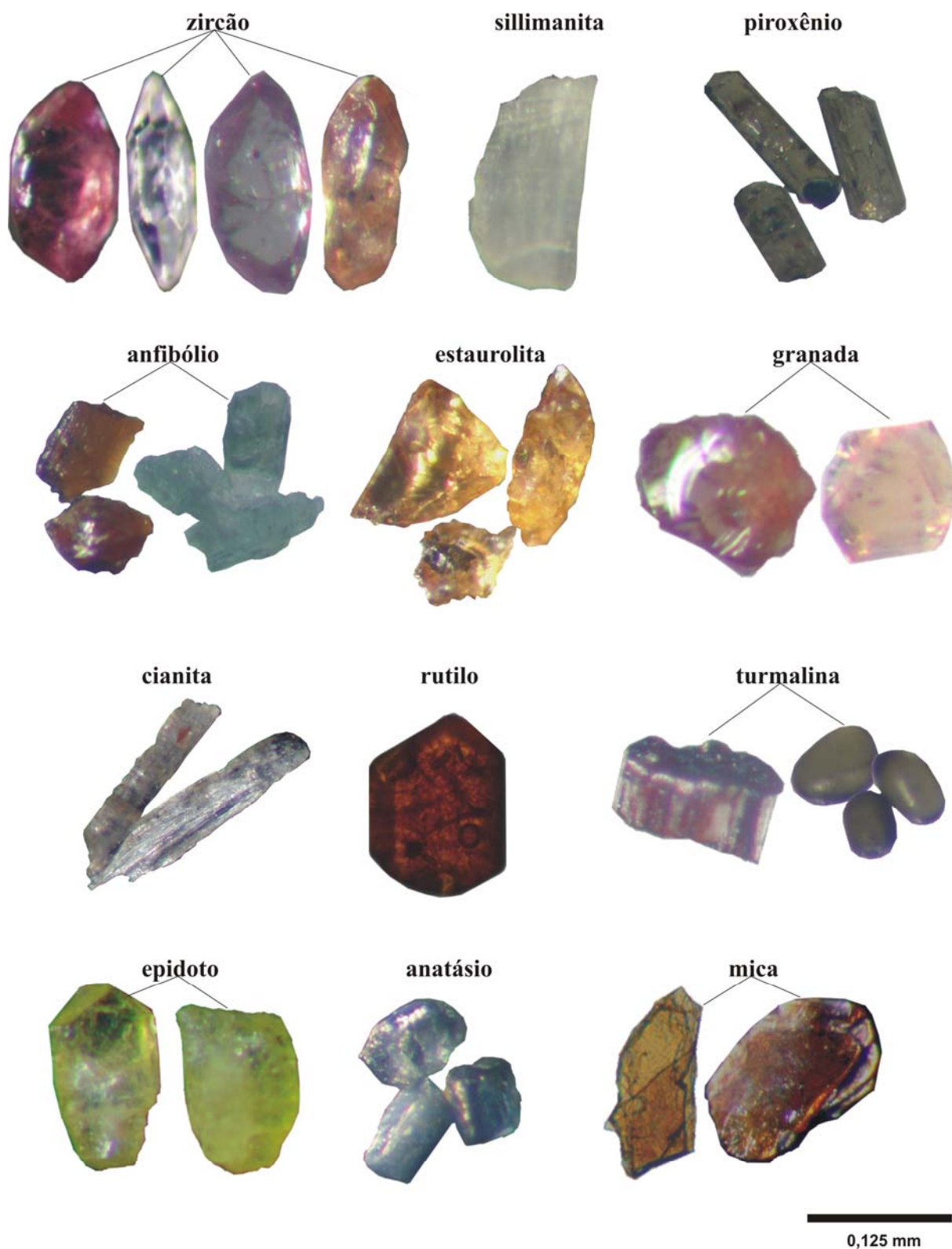


Figura 27. Assembléia de minerais pesados encontrados nos sedimentos recente do rio Solimões entre Tefé e Manacapuru. A variedade de mica vermelha amarronzada foi identificada pela difração de raios X

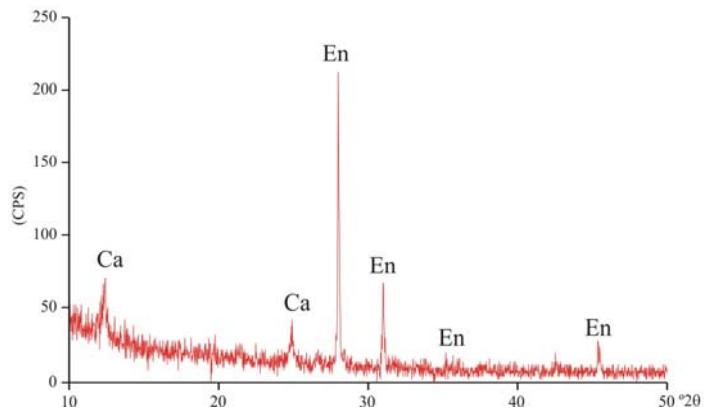
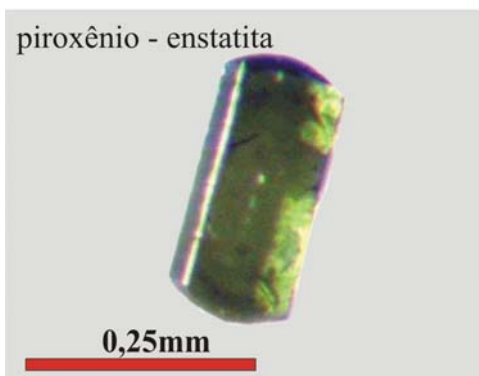
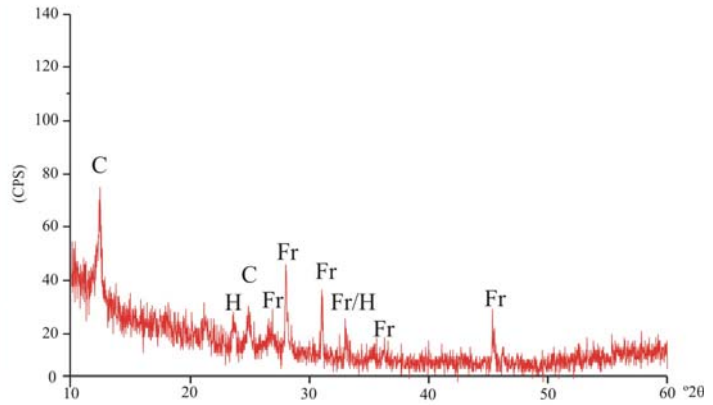
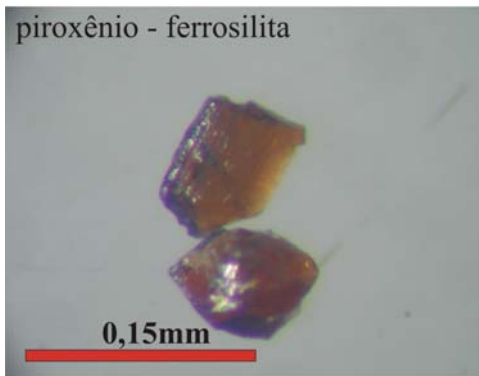
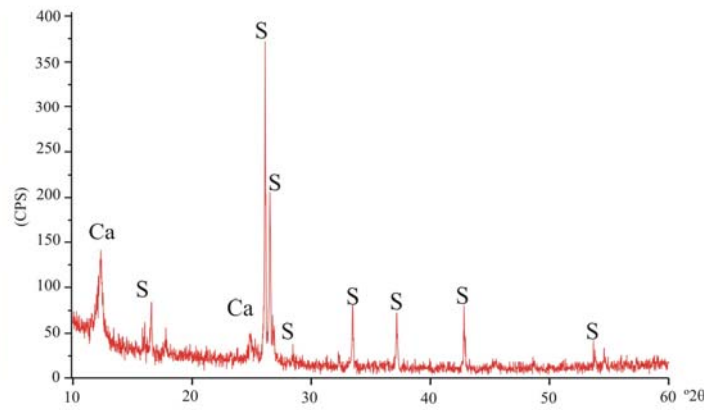
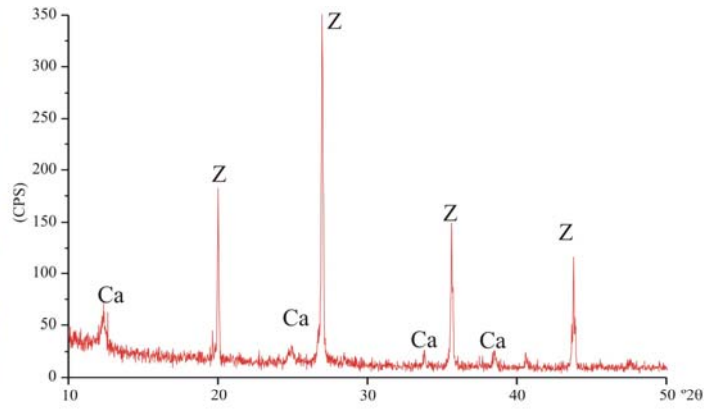
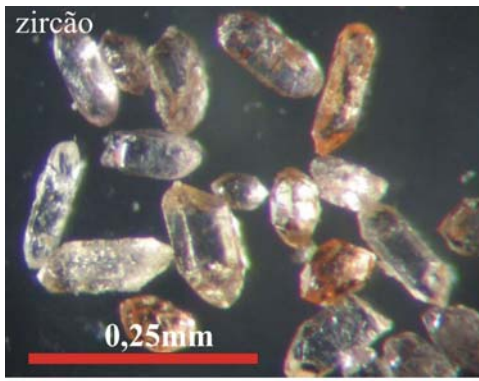


Figura 28. Minerais pesados transparentes encontrados nas unidades estudadas e suas respectivas assinaturas difratométricas. Zircão (Z), sillimanita (S), piroxênio (Fr – ferrosilita e En – enstatita). O Ca corresponde à reflexão da caulinita

Tabela 9: Classificação dos minerais analisados com base na análise de difração de raios-x. I – intensidade (CPS – contagem por segundo), 2θ ângulo de reflexão; dÅ-distância interplanar; (*) não apresenta subclasse.

Classe	Subclasse	Classificação (James D. Dana)		Sistema Cristalino	Material analisado			Nº	Ficha JCPDS			
		Grupo	Mineral		I	2θ	dÅ		I	2θ	dÅ	
Silicatos	Nesosilicatos	Zircão	Zircão	Tetragonal	100	27.02	3.29	03-0457	100	27.01	3.30	
					5	35.67	2.51		85	35.62	2.52	
					12	43.77	2.06		70	43.72	2.07	
		Turmalina	Uvita	Hexagonal	52	25.72	3.36	29-0342	60	25.52	3.49	
					48	30.25	2.95		100	30.14	2.96	
					39	34.84	2.57		90	34.81	2.57	
					100	25.71	3.46		100	25.52	3.49	
		Dravita	Trigonal	81	30.25	2.95	25-1307	75	30.11	2.96		
				84	34.74	2.58		50	34.82	2.57		
				100	26.65	3.343		100	26.192	3.320		
Silicatos	Nesosilicatos	Cianita	Cianita	Triclínico	8	35.80	2.506	03-0442	40	35.023	2.500	
					100	26.12	3.409		100	26.092	3.415	
		Sillimanita	Sillimanita	Ortorrômbico	48	26.52	3.359	38-0471	35	26.479	3.366	
					27	33.47	2.675		16	33.434	2.680	
		Estaurolita	Estaurolita	Monoclínico	100	32.35	2.765	41-1484	77	32.29	2.770	
					100	45.90	1.976		100	46.08	1.968	
					100	15.97	5.544		100	15.972	5.549	
		Andalusita	Andalusita	Ortorrômbico	73	32.25	2.773	39-0376	74	32.271	2.774	
					36	25.26	3.522		30	25.295	3.521	
					53	30.80	2.901		100	30.893	2.892	
		Epidoto	Mukhinita	Monoclínico	51	33.34	2.685	22-1066	80	33.380	2.682	
					39	41.68	2.165		40	41.662	2.166	
		Granada	Almandina	Cúbico	94	34.63	2.588	33-0658	100	34.687	2.586	
					35	30.90	2.891		35	30.908	2.893	
					50	48.52	1.875		20	48.526	1.876	
					100	34.56	2.593		100	34.495	2.600	
					70	30.83	2.898		02-0992	50	30.832	2.900
					40	59.61	1.550		80	59.649	1.550	
Espessartita	Cúbico	Cúbico	82	34.49	2.598	35-0536	100	34.591	2.593			
			47	30.77	2.904		75	30.832	2.900			
			12	59.83	1.544		60	59.676	1.549			
			79	28.03	3.181		100	28.060	3.180			
Silicatos	Inossilicatos	Piroxênio	Ferrosilita	Ortorrômbico	45	31.04	2.879	31-0634	50	31.019	2.883	
					27	33.05	2.708		25	32.917	2.721	
					100	28.30	3.182		100	28.059	3.180	
					30	31.05	2.876		22-0714	55	31.074	2.878
		Enstatita	Ortorrômbico	4	35.32	2.539	31-1312	25	35.336	2.540		
				100	10.59	8.345		999	10.601	8.44		
				27	28.73	3.104		425	28.858	3.15		
				19	32.05	2.790		76	32.179	2.72		
				100	10.63	8.319		100	10.506	8.420		
				36	28.59	3.120		23-0603	90	28.517	3.130	
Silicatos	Filossilicatos	Mica	Anandita	Monoclínico	15	31.90	2.803	23-0603	25	31.904	3.805	
					100	26.89	3.313		100	26.854	3.320	
					38	17.88	4.957		85	17.739	5.000	
					36	45.53	2.010		35	45.561	1.991	
		Biotita	Monoclínico	100	26.95	3.306	24-1488	100	27.02	3.30		
				69	45.66	1.976		69	45.829	1.98		
				48	8.98	9.840		48	8.843	10.00		
				100	12.36	7.15		100	12.34	7.17		
Caulinita	Caulinita	Monoclínico	70	24.97	3.56	24-1488	80	24.87	3.57			
			-	-	-		60	20.34	4.36			
			100	27.54	3.23		999*	27.49	3.24			
Óxidos	*	Rutilo	Rutilo	Tetragonal	19	36.15	2.46	87-0710	442	36.15	2.48	
Elementos Nativos	*	Carbono	Grafita	Hexagonal	13	41.32	2.18	25-0284	171	41.32	2.18	
					81	26.60	3.34	25-0284	100	26.62	3.34	

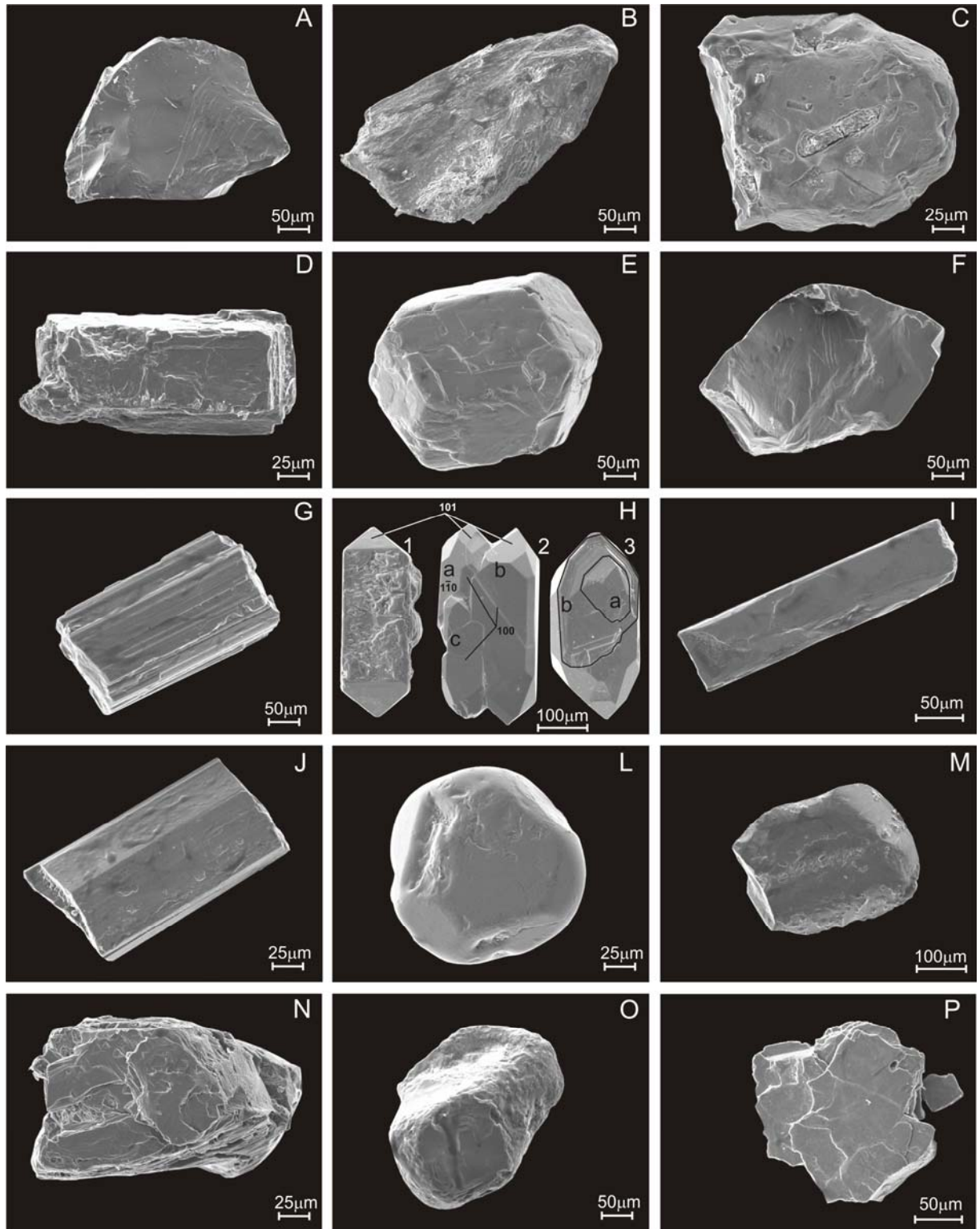


Figura 29. Imagens de microscopia eletrônica de varredura de grãos de minerais pesados da porção inferior e superior da Formação Içá e sedimentos recentes do rio Solimões. a) estaurólita com fratura conchoidal, b) sillimanita fibrosa, c) rutilo com moldes deixado pela dissolução da apatita, d) cianita com duas direções de clivagem, e) granada dodecaédrica, f) andaluzita com fratura conchoidal, g) turmalina prismática, h) zircão com superfície de corrosão (1), com sobrecrescimento (2) e com zonação (3a – pirâmide e 3b - seqüência de zonação), i) anatásio com hábito tabular, j) piroxênio, l) ilmenita subarredondado, m) corindon, n) mica prismática: anandita com hábito placóide, o) gahnita e p) ilmenorutilo-estruverita.

8.2.2 Sillimanita – Al_2SiO_5

Os grãos mais frequentes são os agregados de cristais fibrosos, denominados, na literatura, de fibrolita (Fig. 25, 26 e 27). Têm entre 2 mm e 0,5mm, são incolores a esbranquiçados, fosco, apresentam leve pleocroísmo amarelo claro, birrefringência moderada a forte com cor de interferência de alaranjado a avermelhado intenso, o que indica cor de terceira ordem. As acículas que compõe os agregados são diminutas e mascaram a clivagem, o relevo é alto e a extinção é paralela a C. Inclusões opacas são comuns, possivelmente hematita ou magnetita, uma vez que, os grãos são atraídos pelo ímã de mão, o que não ocorre em grãos com ausência de inclusões. As análises de DRX indicam mineral bem cristalizado (Fig. 28 e Tab. 9), o que é corroborado pelas imagens de MEV, onde foi possível observar crescimento de agregados de cristais fibrosos em pelo menos duas direções (Fig. 29).

8.2.3 Piroxênio – $(\text{Fe}^{+2}, \text{Mg})_2\text{Si}_2\text{O}_6$

A maioria dos grãos são euhedrais, prismáticos e biterminados nos sedimentos recentes, mas associados também são observados grãos subhedrais e anhedrais (Fig. 25, 26 e 27). Varia em tons esverdeados a azulados, o brilho é vítreo, pleocroísmo forte entre o verde claro ao amarelo acastanhado e a birrefringência é segunda ordem. A clivagem é visível na direção do eixo C cristalográfico, o relevo varia de médio a forte, alguns grãos apresentam extinção paralela e oblíqua ao eixo principal C (clino e ortopiroxênios). Zonação e geminação não são observadas, contudo alguns grãos hospedam inclusões de minerais opacos. As análises de DRX identificaram como variedade a ferrossilita (FeSiO_3) com reflexões em 28.03 , 31.04 e $33.05^\circ 2\theta$ e enstatita (MgSiO_3) com reflexões em 28.30 , 31.05 e $35.32^\circ 2\theta$ (Fig. 30 e Tab. 9). As imagens de microscopia eletrônica de varredura mostram grãos prismáticos perfeitos com pelo menos duas direções de clivagem (Fig. 29)

8.2.4 Anfibólio – $\text{Na}_2(\text{Mg,Fe}^{+2})_3(\text{Al,Fe}^{+3})_2\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$

Em geral predominam grãos subhedrais a anhedrais em todas as unidades, porém os anhedrais são mais frequentes nos sedimentos recentes. São marrom a marrom escuros com brilho foscos e esverdeados com brilho vítreo nos mais delgados. Alguns grãos exibem pelo menos uma direção de clivagem, o relevo é forte, porém zonação e inclusões não foram observadas (Fig. 25, 26 e 27). As variedades identificadas por DRX são crossita $\text{Na}_2[(\text{Mg,Fe}^{2+})_3(\text{Al,Fe}^{3+})_2]\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$ com reflexões em 10.59 , 28.73 e $32.05^\circ 2\theta$ e, tirodita $(\text{Mn}_2^{3+}(\text{Mg,Fe}^{2+})_5\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2)$ com reflexões em 10.63 , 28.59 e $31.90^\circ 2\theta$, conforme mostra a figura 30. As demais reflexões podem ser vistas na tabela 9.

8.2.5 Estaurolita - $\text{Al}_4\text{FeSi}_2\text{O}_{10}(\text{OH})_2$

É marrom amarelada a amarelo caramelo, cuja maioria dos grãos exibe forma irregular, com raros grãos prismáticos, apresenta terminações serrilhadas (Fig. 25, 26 e 27). É fosca a resinosa, translúcida, o pleocroísmo varia do incolor ao rosa, a birrefringência é alta, com cores de interferência de segunda a terceira ordem e relevo médio. A partição é perfeita em pelo menos uma direção e a extinção acompanha a partição. Não foram encontrados grãos zonados, porém alguns exibem inclusões opacas, possivelmente hematita ou ilmenita. As análises de DRX confirmam a presença deste mineral a partir de suas reflexões características, conforme é mostrado na figura 30. Notar que as principais reflexões estão entre $30^\circ 2\theta$ a $33^\circ 2\theta$ e $35^\circ 2\theta$ a $36^\circ 2\theta$, enquanto as demais podem ser vistas na tabela 9. Nas imagens de MEV deste mineral foram observadas bordas irregulares e fratura conchoidal, formando *steps* (Fig. 29).

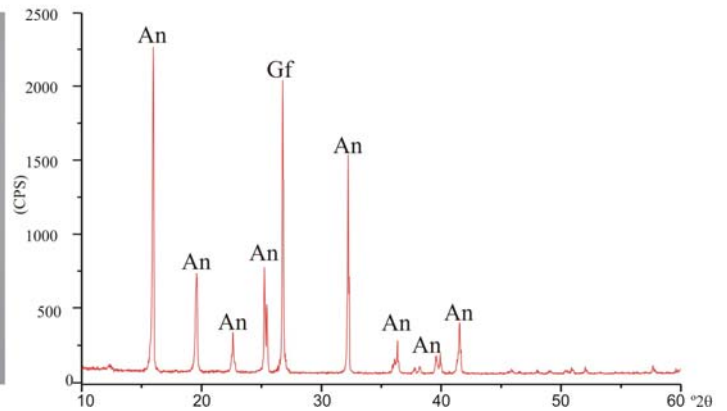
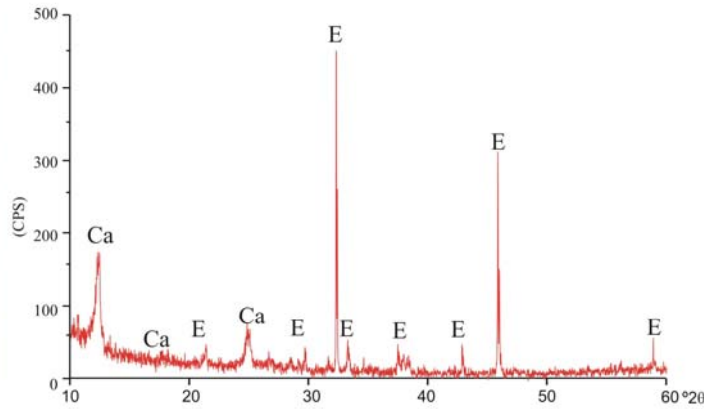
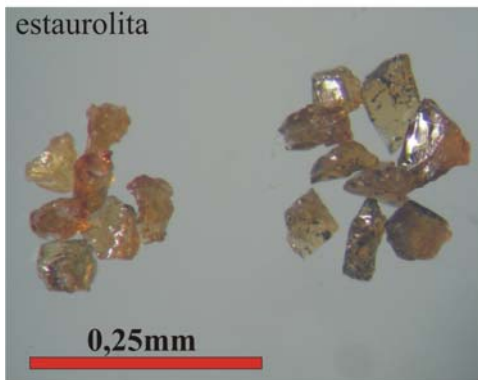
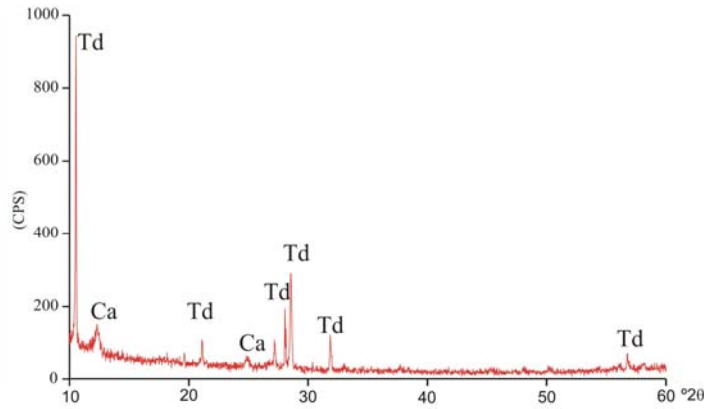
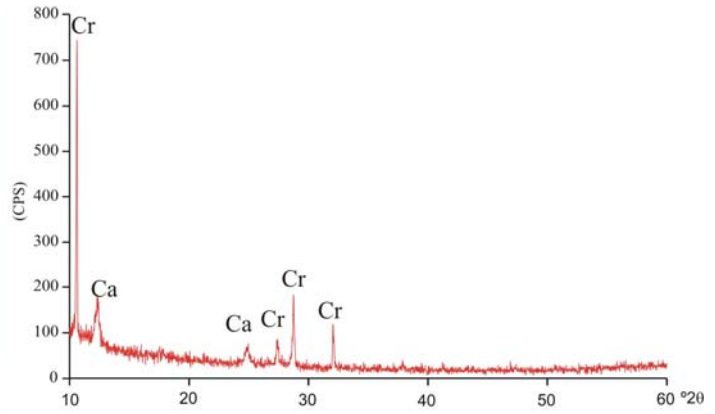
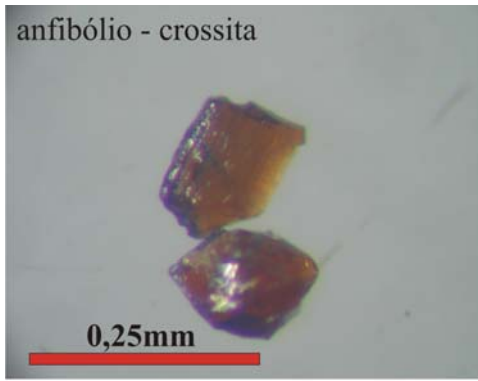


Figura 30. Minerais pesados transparentes encontrados nas unidades estudadas e suas respectivas assinaturas difratométricas. Anfibólio (Cr – crossita e Td – tirodita), estauroilite (E), andalusite (An), grafita (Gf) e Ca corresponde à reflexão da caulinita

8.2.6 Andalusita – Al_2SiO_5

É euhedral, tabular, com seção prismática praticamente quadrada, a subhedrais com grãos angulosos e borda irregular. Apresentam tons rosa alaranjado claro, cinza claro e incolor, é transparente a translúcida, o brilho varia do fosco ao vítreo e o pleocroísmo entre rosa clara e incolor (Fig. 25, 26 e 27). A cor de interferência é a cinza clara de primeira ordem, tem clivagem na seção prismática vertical, o relevo é moderado, a extinção é simétrica ou paralela ao eixo C, não apresenta zonação, contudo inclusões opacas são visíveis em alguns grãos. A resposta às análises de DRX indica que o mineral é bem cristalizado (Fig. 30 e 31) e suas reflexões estão apresentadas na e tabela 9. Por outro lado às imagens de MEV mostram grãos com bordas irregulares e fratura conchoidal (Fig. 29).

8.2.7 Granada - $\text{A}_3\text{B}_2(\text{SiO}_4)_3$ ("A": Ca,Mg,Fe²,Mn² e "B": Al, Fe³, Mn³,V³,Cr)

Grãos euhedrais estão restritos à porção inferior (grãos hexaoctaédricos) e superior (grãos dodecaédricos e hexaoctaédricos) da Formação Içá (Fig. 25 e 26), enquanto os angulosos ocorrem nos sedimentos recentes do rio Solimões e os arredondados são raros (Fig. 27). Na porção superior da Formação Içá são incolores e alaranjados, enquanto na porção inferior e sedimentos recentes são apenas alaranjados. O brilho é vítreo, apresentam fraco pleocroísmo, alguns apresentam birrefringência baixa, enquanto as clivagens são bem distintas nos grãos hexaoctaédricos. São isotrópicos, com relevo forte e não foram observadas inclusões. As variedades identificadas por DRX foram a knorringita $\text{Mg}_3\text{Cr}_2^{3+}(\text{SiO}_4)_3$ com reflexões em 34.49, 30,77 e 59.83°2θ, almandina $\text{Fe}_3^{2+}\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$ com reflexões em 34.63, 30.90 e 48.52°2θ e espessartita $\text{Mn}_3^{2+}\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$ com reflexões em 30.83, 34.56 e 59.61°2θ, contudo a resposta ao raio X das duas primeiras foi de baixa intensidade (Fig. 31) e (Tab. 9). Na granada dodecaédrica observada em MEV foi possível observar pelo menos duas posições de clivagem (Fig. 29).

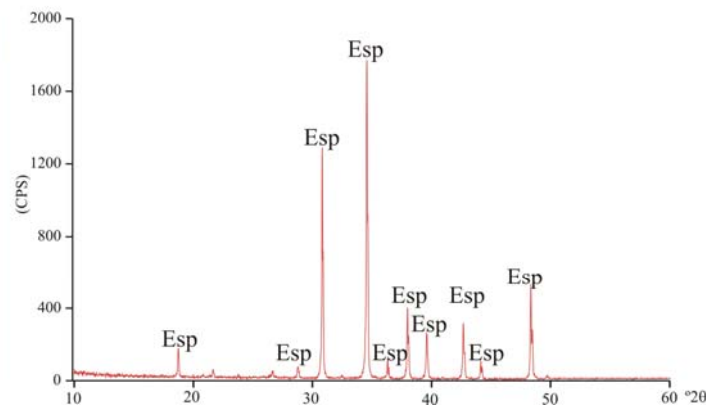
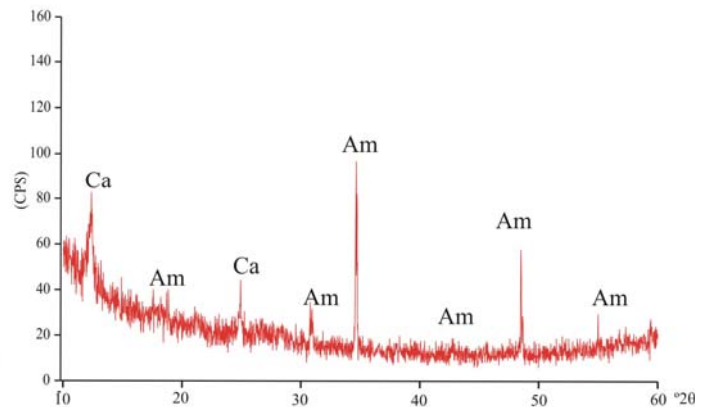
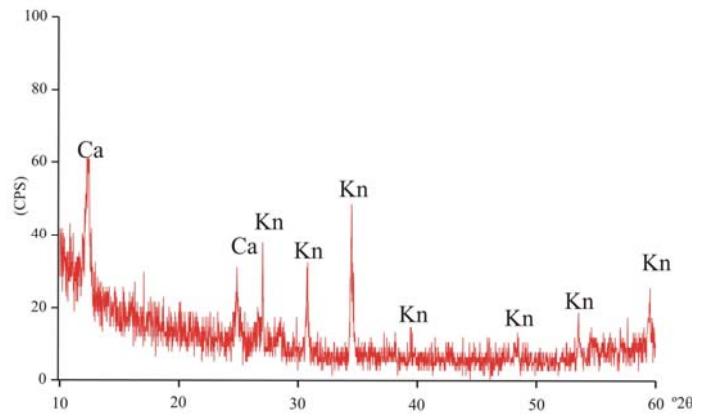
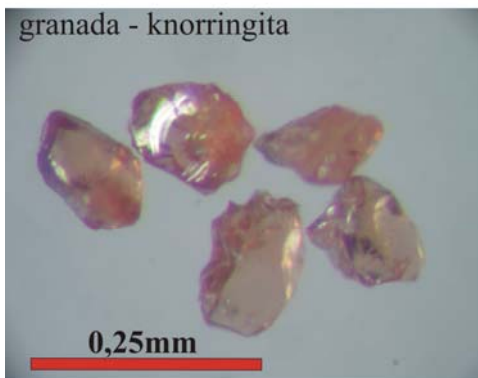
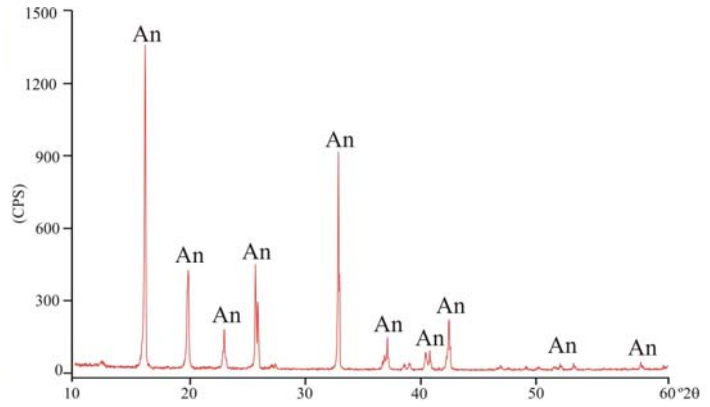
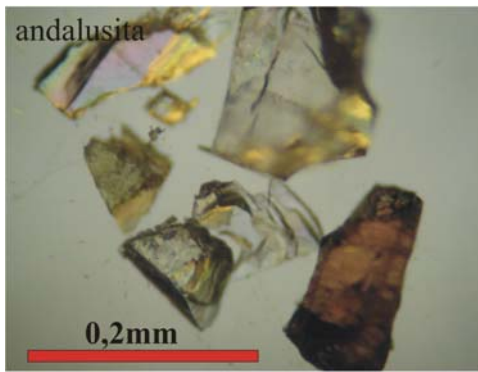


Figura 31. Minerais pesados transparentes encontrados nas unidades estudadas e suas respectivas assinaturas difratométricas. Andalusita (An), granada (Kn – knorringita, Am – almandina e Esp – espessartita) e Ca corresponde à reflexão da caulinita

8.2.8 Titanita – CaTiO(SiO₄)

Apresenta hábito prismático geminado em forma de cunha, navicular ou arredondado com esfericidade baixa. É marrom escuro, esverdeado a marrom acinzentada. Apresenta pelo menos duas direções de clivagem, brilho resinoso, relevo forte, extinção reta, zonação e inclusão são ausentes (Fig. 25).

8.2.9 Cianita – Al₂SiO₅

Grãos incolores exibem hábito prismático tabular curto e alongado com bordas irregulares, brilho vítreo, pleocroísmo fraco, birrefringência baixa a moderada, com faturas. A clivagem é perfeita em pelo menos duas direções (100 e 101), o relevo varia de fraco a médio, a cor de interferência é forte e a extinção é oblíqua (Fig. 25, 26 e 27). Em alguns grãos há inclusões de opacos, possivelmente grafita, o que confere a cianita coloração mais escura, especialmente nos sedimentos recentes. Cianita assim como outro mineral é bem cristalizado (Fig. 32 e Tab. 9), enquanto no MEV foi possível observar três planos de clivagem.

8.2.10 Rutilo – TiO₂

Grãos anhedrais são encontrados nas três unidades estudadas (Fig. 25, 26 e 27), entretanto na Formação Solimões há grãos subhedrais com planos de clivagem e estrias. Variam entre o vermelho claro e escuro e às vezes são opacos. A menor intensidade da cor afeta o pleocroísmo e torna o relevo mais forte. Tem brilho fosco, birrefringência fraca, apresenta clivagem indistinta, extinção reta e raras inclusões. O difratograma pode ser visto na figura 32, bem como suas reflexões na tabela 9.

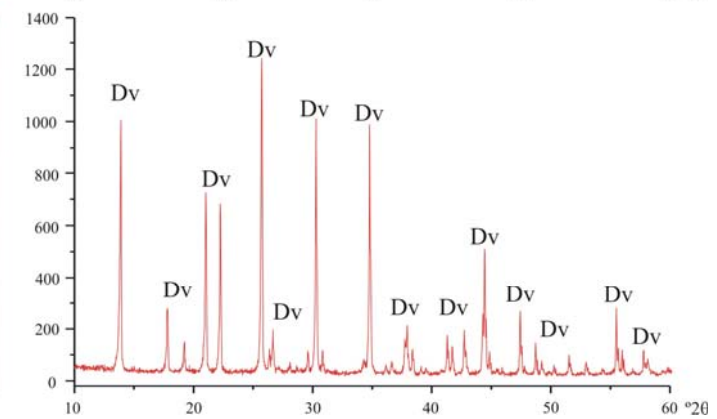
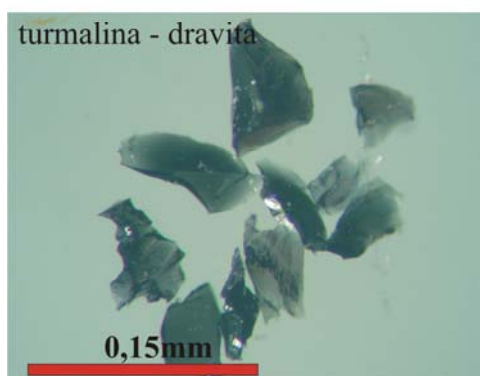
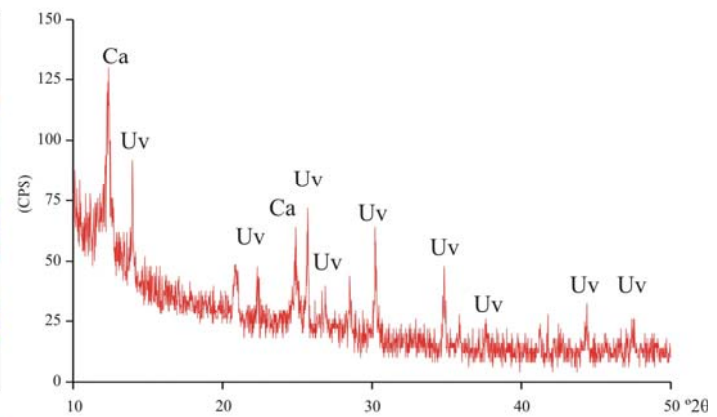
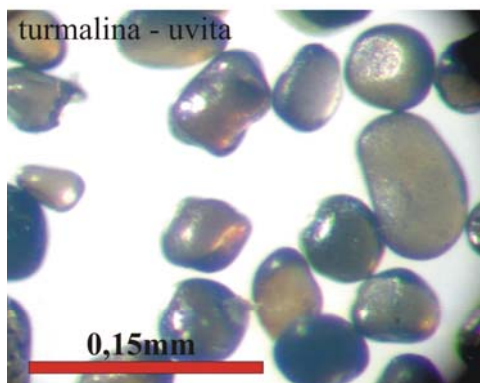
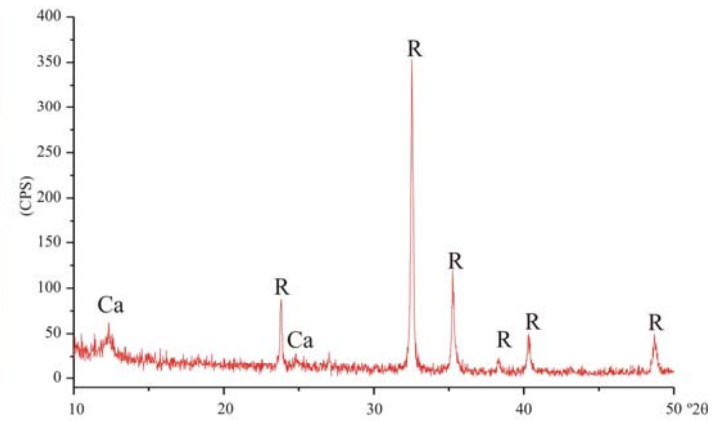
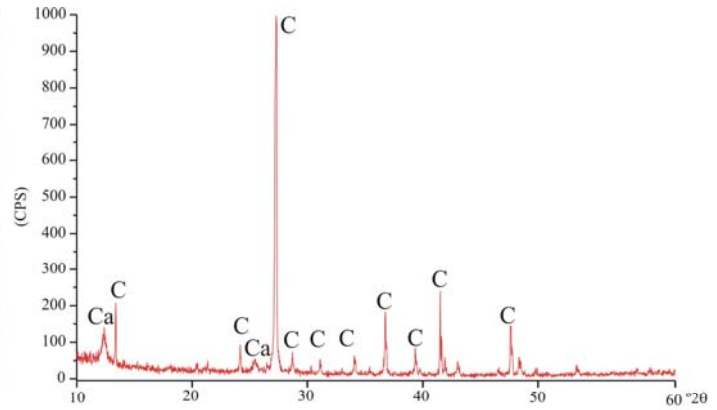
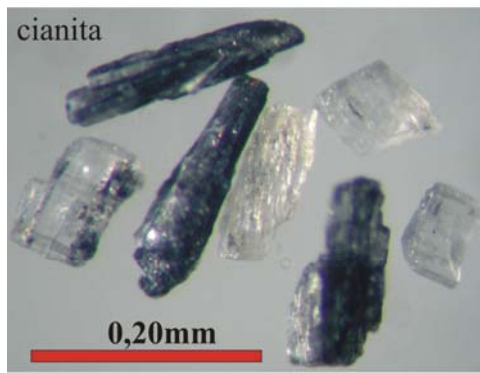


Figura 32. Minerais pesados transparentes encontrados nas unidades estudadas e suas respectivas assinaturas difratométricas. Cianita (C), rutilo (R), turmalina (Uv – uvita e Dv – dravita) e Ca corresponde à reflexão da caulinita

8.2.11 Olivina – $(\text{Mg,Fe})_2\text{SiO}_4$

É subarredondada, tem baixa esfericidade, é incolor ao cinza claro, o brilho é vítreo, pleocroísmo moderado, relevo alto, extinção reta, birrefringência média a forte, e cor de interferência mais forte no centro do mineral. Não são observadas clivagens, porém exibe conjunto de fraturas irregulares e curvadas, característicos deste mineral. Apresenta inclusões de opacos e filmes ferruginosos possivelmente devido à alteração do grão. Pelas características ópticas o grão foi classificado como fayalita (Fig. 25).

8.2.12 Turmalina – $\text{Na}(\text{Mg,Fe})_3\text{Al}_6(\text{BO}_3)(\text{Si}_6\text{O}_{18})(\text{OH})_4$

É prismático, anguloso, subarredondada a arredondado, exibem tons esverdeados, marrom-esverdeados e caramelo-alaranjado, principalmente na porção inferior e superior da Formação Içá (Fig. 25 e 26), enquanto nos sedimentos recentes são arredondados e esverdeados (Fig. 27). Grãos geminados são raros e estrias são observadas paralelas à direção C cristalográfica, com divisibilidade e seção basal bem distinta. Seções basais ocorrem nas unidades mais antigas, bem como inclusões de minerais opacos, enquanto nos sedimentos recentes os grãos são arredondados. O brilho é vítreo, apresentam pleocroísmo forte, birrefringência moderada a forte e fratura conchoidal na seção prismática de alguns grãos. A clivagem é ausente, o relevo varia de médio a alto e a extinção é paralela ao eixo C. Uvita $\text{CaMg}_3(\text{Al,Mg})_6(\text{BO}_3)_3\text{Si}_6\text{O}_{18}(\text{OH})_4$ com reflexões em 25.72 , 30.25 e $34.84^\circ 2\theta$ e dravita $\text{Na}_{0.8}\text{Mg}_3\text{Al}_6\text{B}_3\text{O}_9\text{Si}_6\text{O}_{18}(\text{OH})_4$, com principais reflexões em 25.71 , 30.25 e $34.74^\circ 2\theta$ foram às variedades identificadas por DRX (Fig. 32 e Tab. 9).

8.2.13 Brookita – TiO_2

É amarelada a alaranjado, subhedral a anhedral com bordos irregulares, tem brilho subvítreo, pleocroísmo moderado e birrefringência alta a muito alta e relevo forte (Fig. 25).

8.2.14 Epidoto – $\text{Ca}_2(\text{Al,Fe})_3\text{Si}_3\text{O}_{12}(\text{OH})$

Os grãos são idiomórficos, irregulares, subangulares ou subarredondados, aproximadamente equidimensionais. É esverdeado, translúcido, têm brilho subvítreo, pleocroísmo fraco entre amarelo claro e incolor, e relevo médio a alto (Fig. 25, 26 e 27). A birrefringência é alta, com raras clivagens, a extinção é reta e não tem inclusões. A variedade identificada por DRX foi mukhinita ($\text{Ca}_2(\text{Al,Fe})_3\text{Si}_3\text{O}_{12}(\text{OH})$) com principais ângulos de reflexões em 30.80 e $33.34^\circ 2\theta$ (Fig. 33 e Tab. 9).

8.2.15 Topázio – $\text{Al}_2[(\text{F,OH})_2\text{SiO}_4]$

Na porção inferior da Formação Içá os grãos são prismáticos a subarredondados, rosados e incolores, enquanto na porção superior da referida unidade são anhedrais, esverdeado claro a incolor. Tem brilho vítreo, pleocroísmo baixo a muito baixo, relevo baixo a médio, extinção oblíqua, sem zonação e inclusão (Fig. 25 e 26). A análise por DRX não identificou variedades mineralógicas (Fig. 33 e Tab. 9).

8.2.16 Monazita – $(\text{Ce,La,Y,Th})\text{PO}_4$

Em geral é incolor, transparente a translúcido, o brilho varia de resinoso ao graxoso, são arredondados com esfericidade e arredondamento alto. O contorno deste mineral é escuro o que indica relevo muito forte e a extinção é levemente oblíqua. Tem pleocroísmo fraco, birrefringência alta, sem zonação, mas com inclusões de opacos (Fig. 25 e 26). Seu relevo forte pode ser confundido com zircão arredondado.

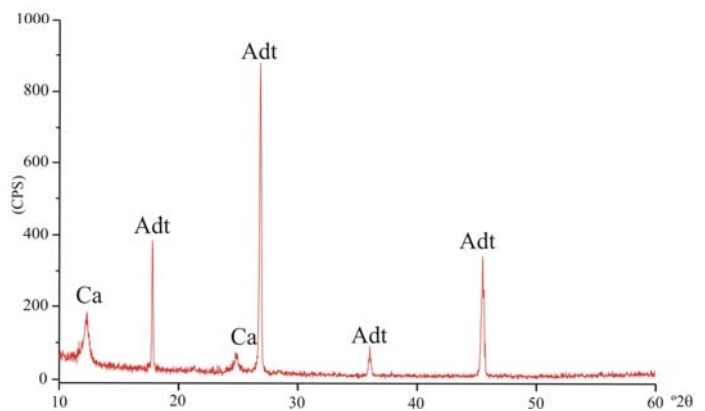
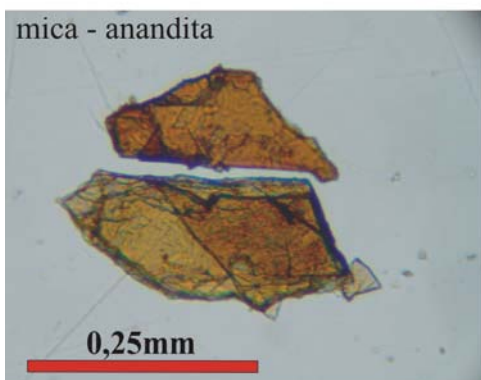
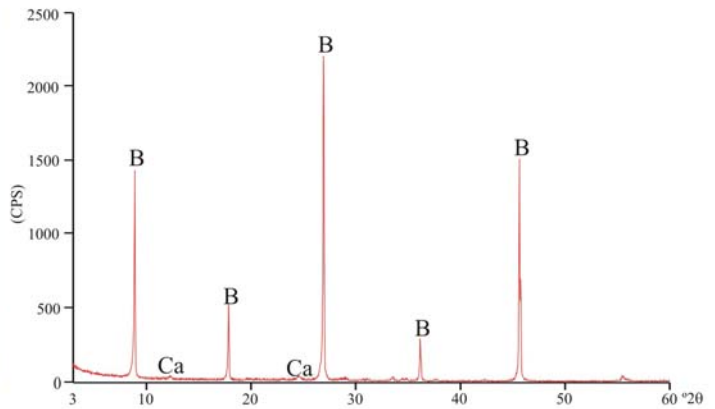
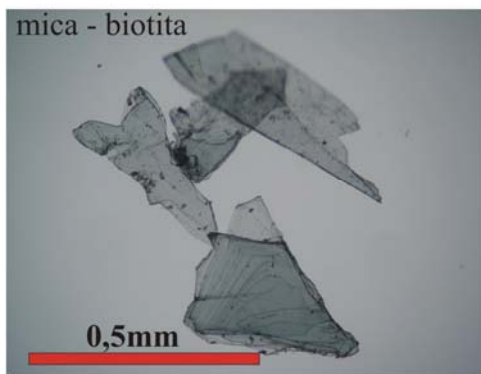
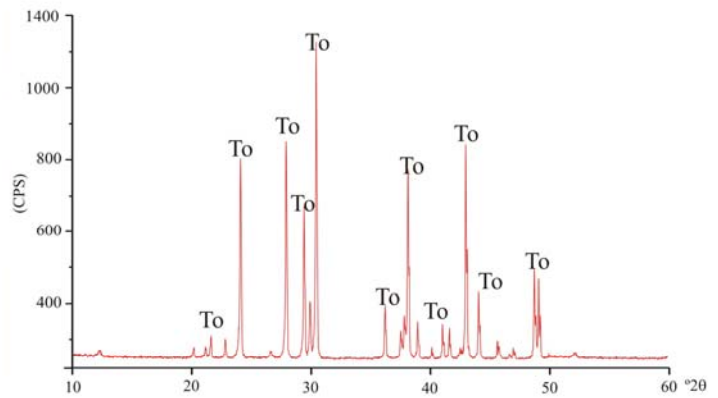
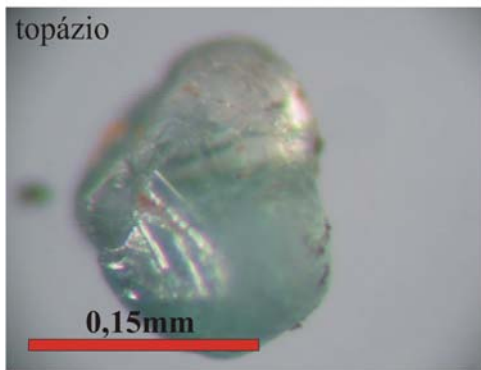
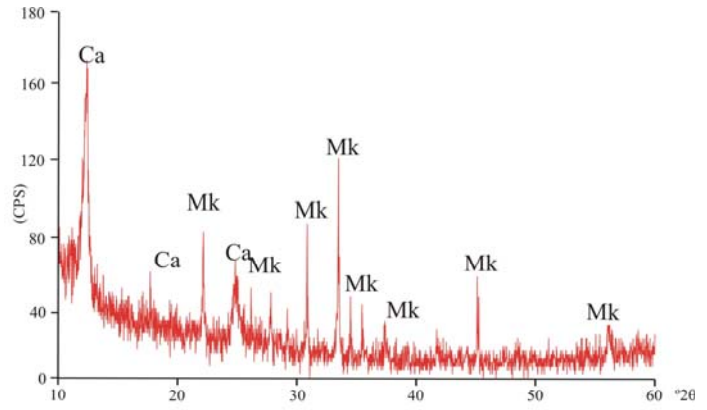


Figura 33. Minerais pesados transparentes encontrados nas unidades estudadas e suas respectivas assinaturas difratométricas. Mukhinita (Mk), topázio (To), mica (B – biotita e Adt – anandita) e Ca corresponde à reflexão da caulinita

8.2.17 Anatásio – TiO₂

Mineral detrítico em geral formado a partir do intemperismo de minerais com titânio. Exibe grãos angulosos, subhedrais, azul a azul claro, com brilho vítreo, pleocroísmo fraco, birrefringência moderada, relevo fraco a médio e não exibem clivagem (Fig. 25, 26 e 27).

8.2.18 Mica – AB₂₋₃(Al, Si)Si₃O₁₀(F, OH)₂ “a”: K, Ca, Na, B e “b”: Al, Li, Fe, Mg

São observados dois tipos de micas onde ambas apresenta hábito placóide ou lamelar, com contornos irregulares até arredondados, ótima clivagem perpendicular ao eixo C cristalográfico, coloração marrom esverdeada, avermelhado a dourado caramelo esverdeado. Na biotita ocorrem inclusões aciculares opacas, possivelmente rutilo ou hematita (Fig. 25, 26 e 27). A outra variedade de mica é a anadita e foi identificada por DRX. Ambas as variedades apresentam brilho fosco ao subvítreo, pleocroísmo moderado, birrefringência forte e cores de interferência de segunda ordem e o relevo varia de moderado a forte em função da quantidade de placas e a extinção é reta.

A anadita (Ba,K)(Fe²⁺,Mg)₃(Si,Al,Fe)₄O₁₀ (S,OH)₂ com reflexões em 17.88, 26.89 e 45.53°2θ e biotita (K,H)₂(Mg,Fe²⁺)₂(Al, Fe⁺³)₂(SiO₄)₃ com reflexões em 8.98, 26.95 e 45.66°2θ. Ocorrem em todas as unidades e a primeira se diferencia da segunda pelo sinal óptico positivo (Fig. 33 e Tab.9).

8.2.19 Coríndon – Al₂O₃, Gahnita - ZnAl₂O₄, Ilmenita – FeTiO₂, Ilmenorutilo-struverita – (Fe_{0.51-0.58}Ti_{1.44-1.49}Nb_{0.19-0.25}Ta_{0.73-0.78}V_{0-0.05})₃O₆

Estes minerais foram identificados apenas pela microscopia eletrônica de varredura, onde o primeiro e segundo são subarredondados, têm esfericidade baixa, porém a gahnita tem superfície rugoso-corroída. Ilmenita arredondada e ilmenorutilo-estruverita com hábito prismático lamelar, variam do vermelho ao vermelho escuro (Fig. 29).

9. MORFOLOGIA DO ZIRCÃO

9.1 ASPECTOS EXTERNOS E INTERNOS DO ZIRCÃO

O zircão pode apresentar 64 formas possíveis, bem como estruturas internas complexas. No caso das unidades estudadas estas informações foram obtidas por meio de imagens de elétrons secundários (forma externa) e retro-espalhadas (estrutura interna).

9.1.1 Morfologia Externa

A morfologia do zircão é controlada pela temperatura, composição do magma, bem como pelo ordenamento dos grupos espaciais durante a cristalização. As faces de prismas, pirâmides e tamanhos dos grãos, constituem formas que comparadas à classificação de Pupin (1980) (Fig. 2) permitiram identificar 13 tipos de zircão na porção inferior e 11 tipos na da porção superior da Formação Içá, bem com 14 tipos nos sedimentos recentes (Fig. 34, 35, 36 e 37).

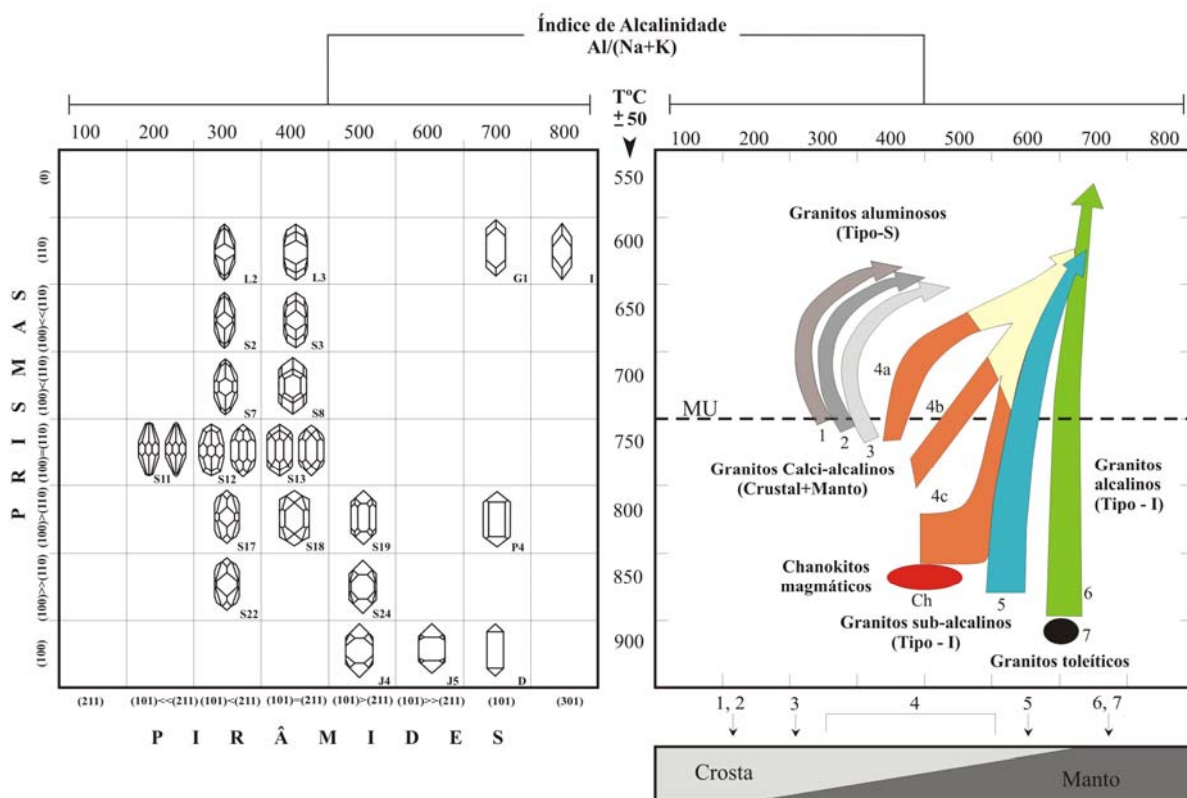


Figura 34. Populações de zircão identificadas na Formação Içá e sedimentos recentes do rio Solimões ao longo do rio homônimo no trecho entre Tefê e Manacapuru-AM

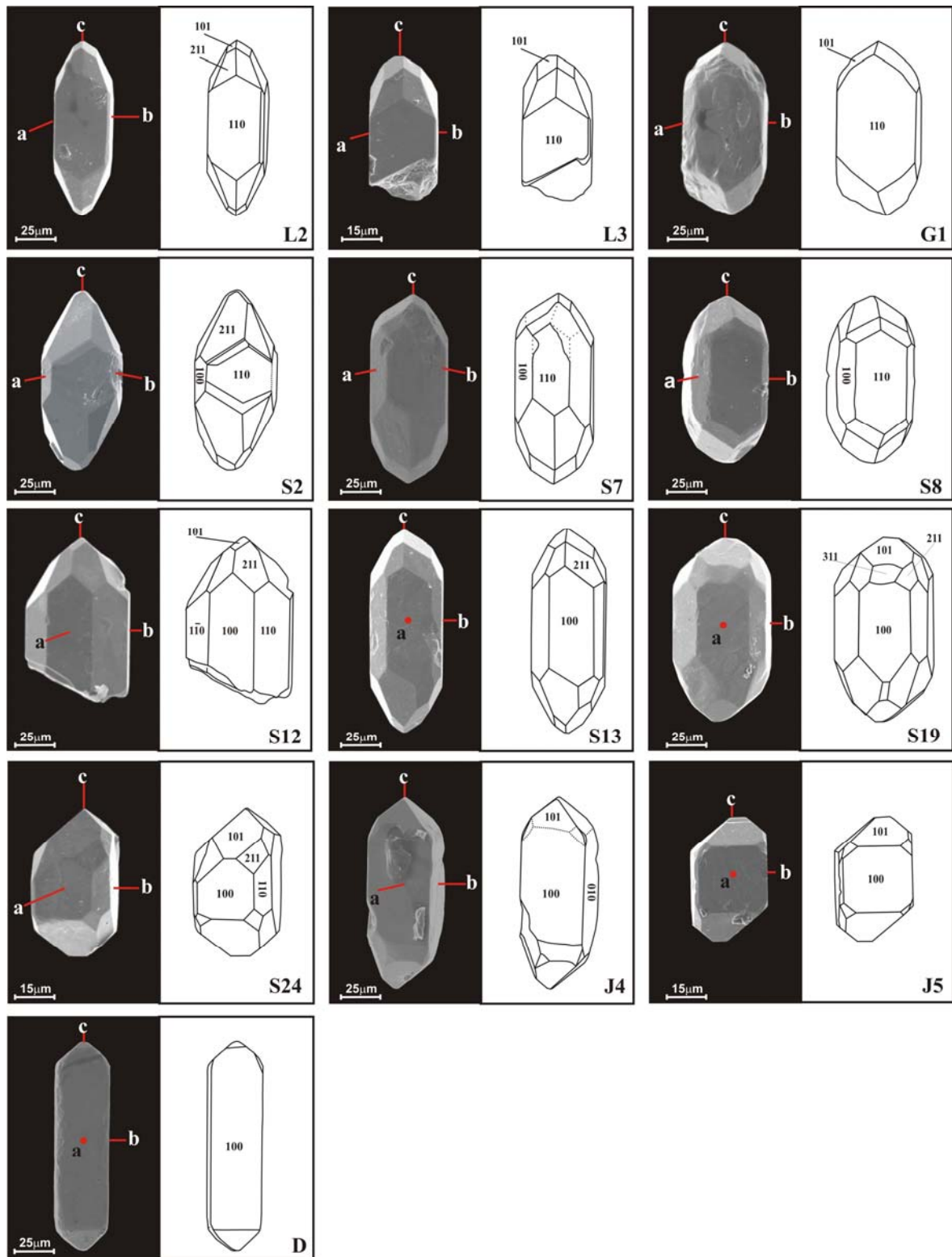


Figura 35. Imagens de microscopia eletrônica de varredura em modo elétrons secundários dos grãos de zircão encontrados na porção inferior da Formação Içá. A forma abstrata das imagens possibilita melhor entendimento das populações e de suas variações morfológicas. As letras correspondem aos tipos morfológicos do zircão de acordo com a classificação de Pupin (1980)

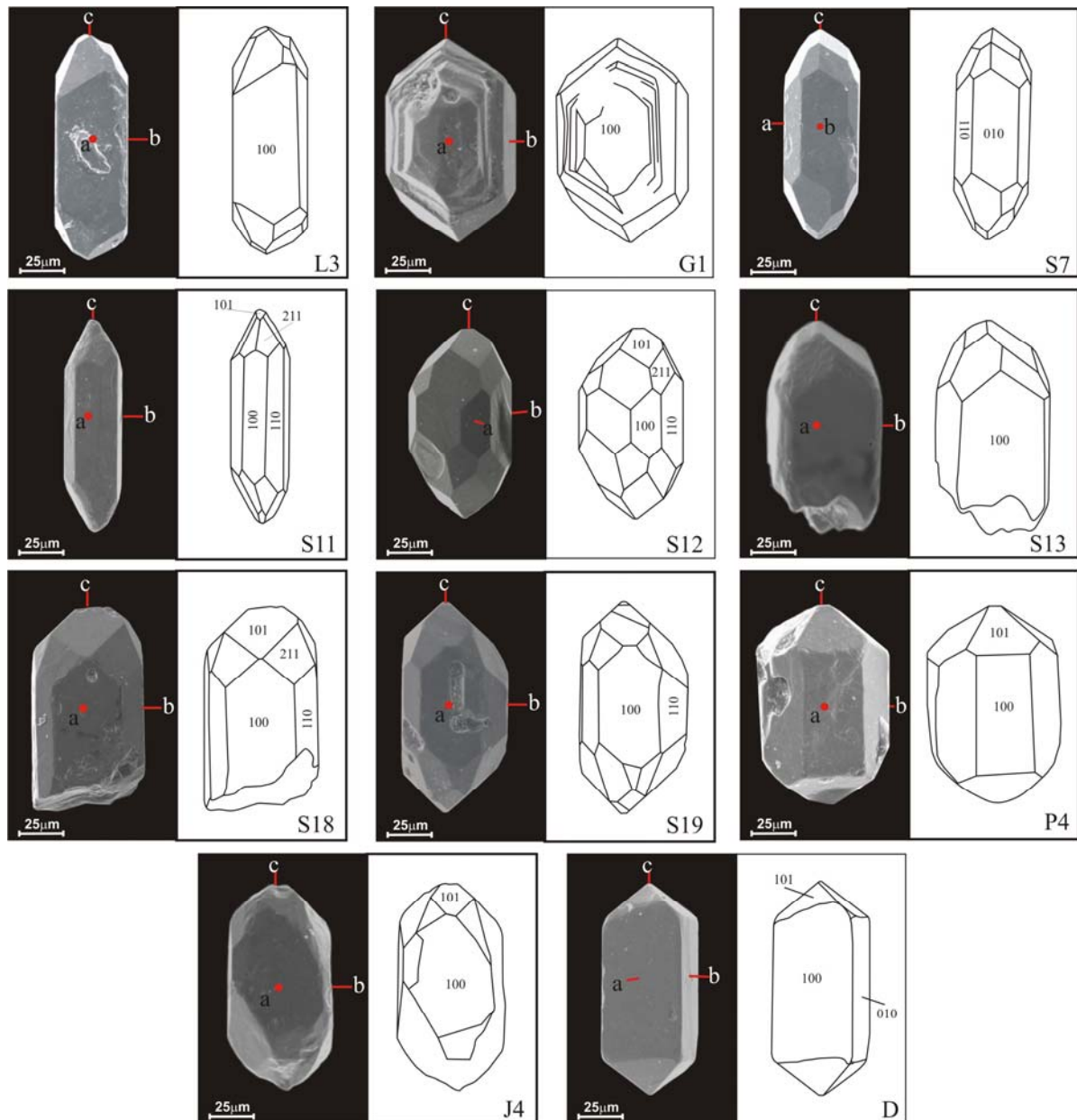


Figura 36. Imagens de microscopia eletrônica de varredura em modo elétrons secundários dos grãos de zircão encontrados na porção superior da Formação Içá. A forma abstraída das imagens possibilita melhor entendimento das populações e de suas variações morfológicas. As letras correspondem aos tipos morfológicos do zircão de acordo com a classificação de Pupin (1980)

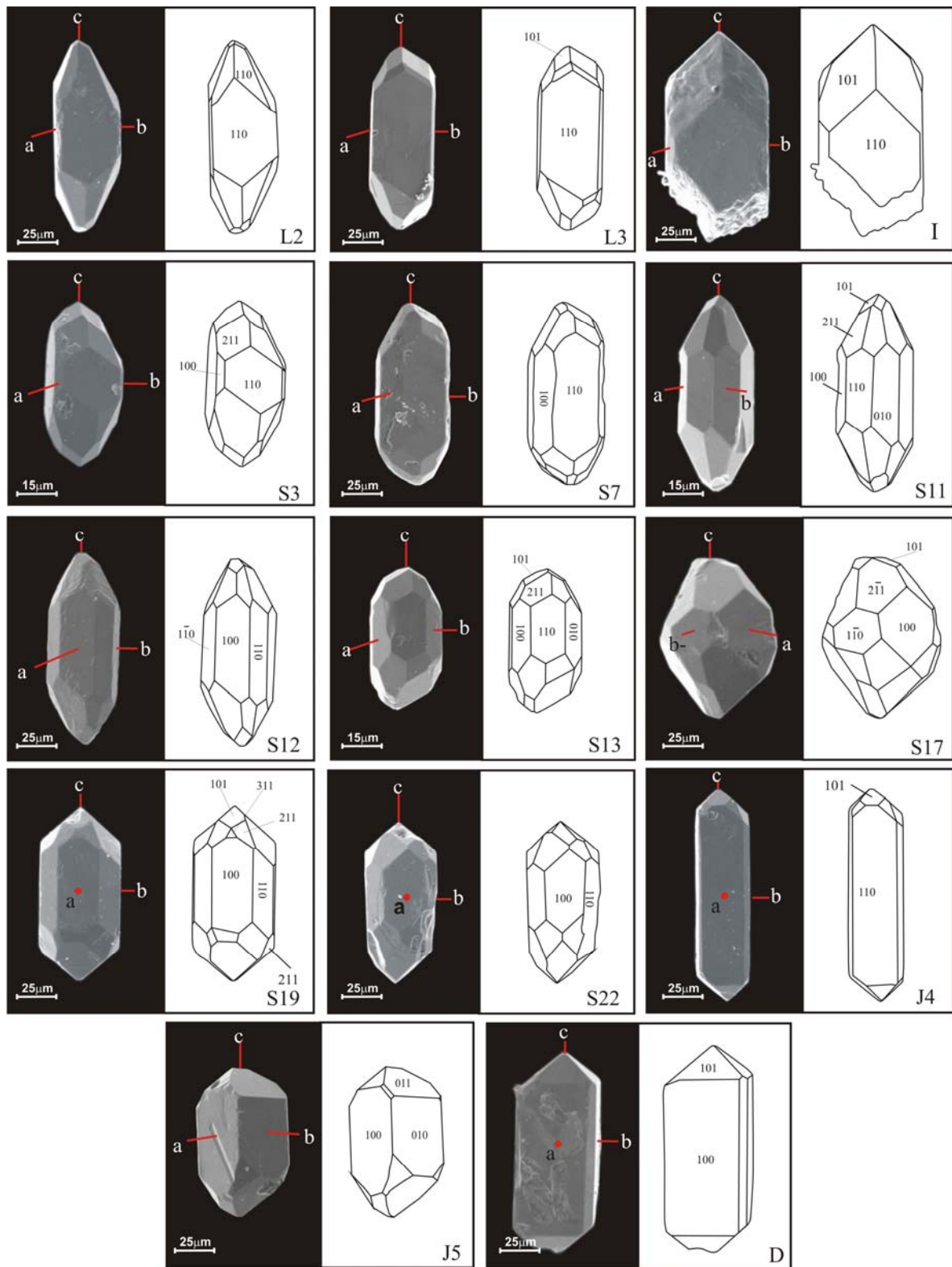


Figura 37. Imagens de microscopia eletrônica de varredura em modo elétrons secundários dos grãos de zircão encontrados nos sedimentos recentes do rio Solimões. A forma abstraída das imagens possibilita observar melhor a face das populações, bem como suas variações. As letras correspondem aos tipos morfológicos do zircão de acordo com a classificação de Pupin (1980)

Dos tipos de zircão encontrados neste trabalho, S2, S8, e S24 são restritos a porção inferior da Formação Içá (Fig. 35), enquanto a porção superior diferencia-se por ser a única a apresentar o tipo P4 e S18 (Fig. 36). Por outro lado os tipos I, S3, S17 e S22 ocorrem exclusivamente nos sedimentos recentes, o que a diferencia da porção inferior da Formação Içá (Fig. 37). Associado aos tipos zircão a cor que varia entre laranja, róseo e incolor foi um critério usado para melhorar a separação das populações. Cada uma dessas cores apresentou mais de um tipo de zircão, contudo alguns tipos apresentaram apenas uma cor, como é o caso do I, S2, S3, S8, S17, S18, S22, S24 e P4 (Tab. 10).

Tabela 10: Distribuição das populações de zircão encontradas nas unidades estudadas, com base na classificação de Pupin (1980). A cor foi usada como um critério auxiliar para melhorar a individualização das populações.

Unidades Geológicas	Cor	Populações zircão																			
		L2	L3	I	G1	S2	S3	S7	S8	S11	S12	S13	S17	S18	S19	S22	S24	P4	J4	J5	D
Formação Içá Superior	L-laranja		X							X		X		X							X
	R-rosado							X			X			X							
	I - incolor				X						X			X					X		X
Formação Içá Inferior	L-laranja	X				X		X			X	X									X
	R-rosado	X	X						X			X			X						
	I - incolor		X		X				X		X								X	X	X
Sedimentos do rio Solimões	L-laranja	X	X				X	X		X	X	X									
	R-rosado	X						X		X	X				X						
	I - incolor			X					X		X					X				X	X

Das populações encontradas na porção inferior da Formação Içá, cinco são bipirâmidaes ditetragonais alaranjada, quatro rosadas e duas incolores, enquanto às piramidaes tetragonais tem uma alaranjada e três incolores. Estas populações tem prisma $\{100\} > \{110\}$, a exceção o tipo S12 que são iguais, enquanto S8 e S19 tem a face $\{110\}$ e $\{201\}$ mais desenvolvidas, respectivamente. Além da cor S7, S12, S24, J4 e J5 exibem inclusões opacas e incolores, enquanto L3 e J4 são zonados e intercrecidos.

Na porção superior da unidade supracitada S7, S11, S12, S13 e L3 tem faces bipirâmidaes ditetragonais $\{211\} > \{110\}$, S18 e S19 $\{201\} = \{101\}$, enquanto D, G1 e P4 tem pirâmides tetragonais, com face $\{101\} = \{011\}$. Das populações acima o tipo S12 exhibe prisma $\{100\} < \{110\}$, S11 tem face $\{100\} = \{110\}$, enquanto os demais têm face $\{100\} > \{110\}$ e boa parte do tipo D exhibe inclusões opacas e incolores e zonação.

Nos sedimentos recentes do rio Solimões S23 têm bipirâmides ditetragonais $\{211\} > \{101\}$, enquanto na S19 estas faces são iguais. Para os demais tipos (bipirâmidaes tetragonais, 6-alaranjos, 4-rosados e 1-incolor; piramidais tetragonais, 1-rosado e 5-incolor) as características são as mesmas descritas para os encontrados nas duas porções da Formação Içá. O prisma do zircão S11 e S12 têm face $\{100\} = \{110\}$, L2 e L3 não exibe face $\{110\}$, enquanto os demais têm face $\{100\} > \{110\}$, contudo no tipo I esta relação é incipiente. Dos tipos encontrados na Formação Içá (Tab. 10) S12, S23, J4 e D apresentam inclusões de minerais opacos e incolores, bem como o tipo D exibe zonação e estrutura de corrosão.

Detalhes morfológicos, tamanhos dos grãos, arranjos prismáticos e piramidais dos tipos de zircão encontrados nas unidades estudadas podem ser vistos nas figuras 35, 36 e 37.

9.1.2 Distribuição do zircão

Zircão do tipo D é o mais abundantes ao longo dos todos os perfis estudados, bem como nos sedimentos recentes do rio Solimões. Na porção inferior da Formação Içá este apresenta altas concentrações (entre 11% a 78% e 14% a 81%) em relação aos sedimentos recentes do rio Solimões (entre 10% a 49%). Os tipos S2 (1% a 11%), S8 (2% a 13%) e S24 (2% a 24%) por ocorrem apenas na porção inferior da Formação Içá a diferenciam das demais; S18 (2% a 35%) e P4 (2% a 5%) são típicos na porção superior da unidade supracitada, enquanto que S3 (4% a 32%), S17 (3% a 17%) e S22 (4% a 30%) ocorrem apenas nos sedimentos recentes do rio Solimões (Fig. 38). A distribuição dos tipos supracitados, bem como dos demais tipos podem ser observados na figura 39, assim como suas proporções nas tabelas 11 e 12.

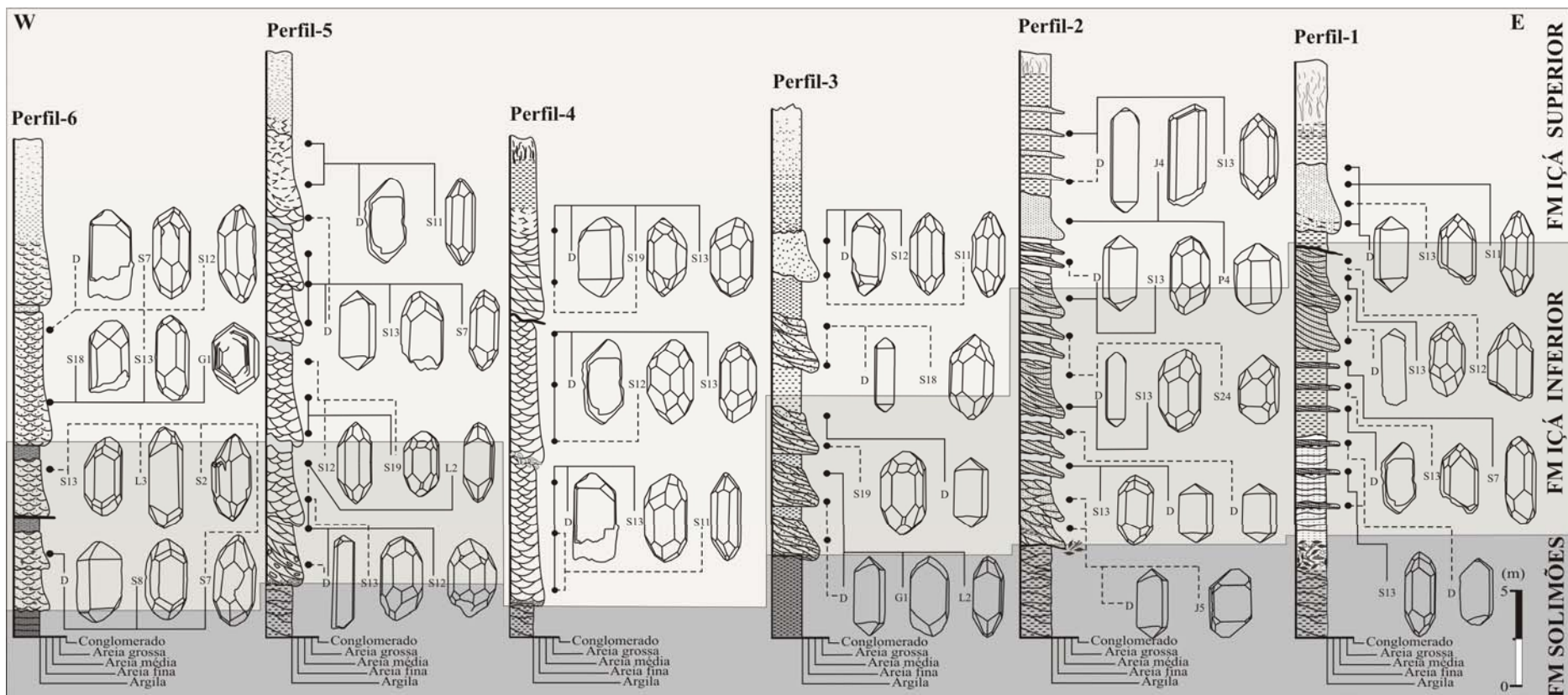


Figura 38. Principais tipos morfológicos de zircão que ocorrem ao longo das seções verticais na porção inferior e superior da Formação Içá.

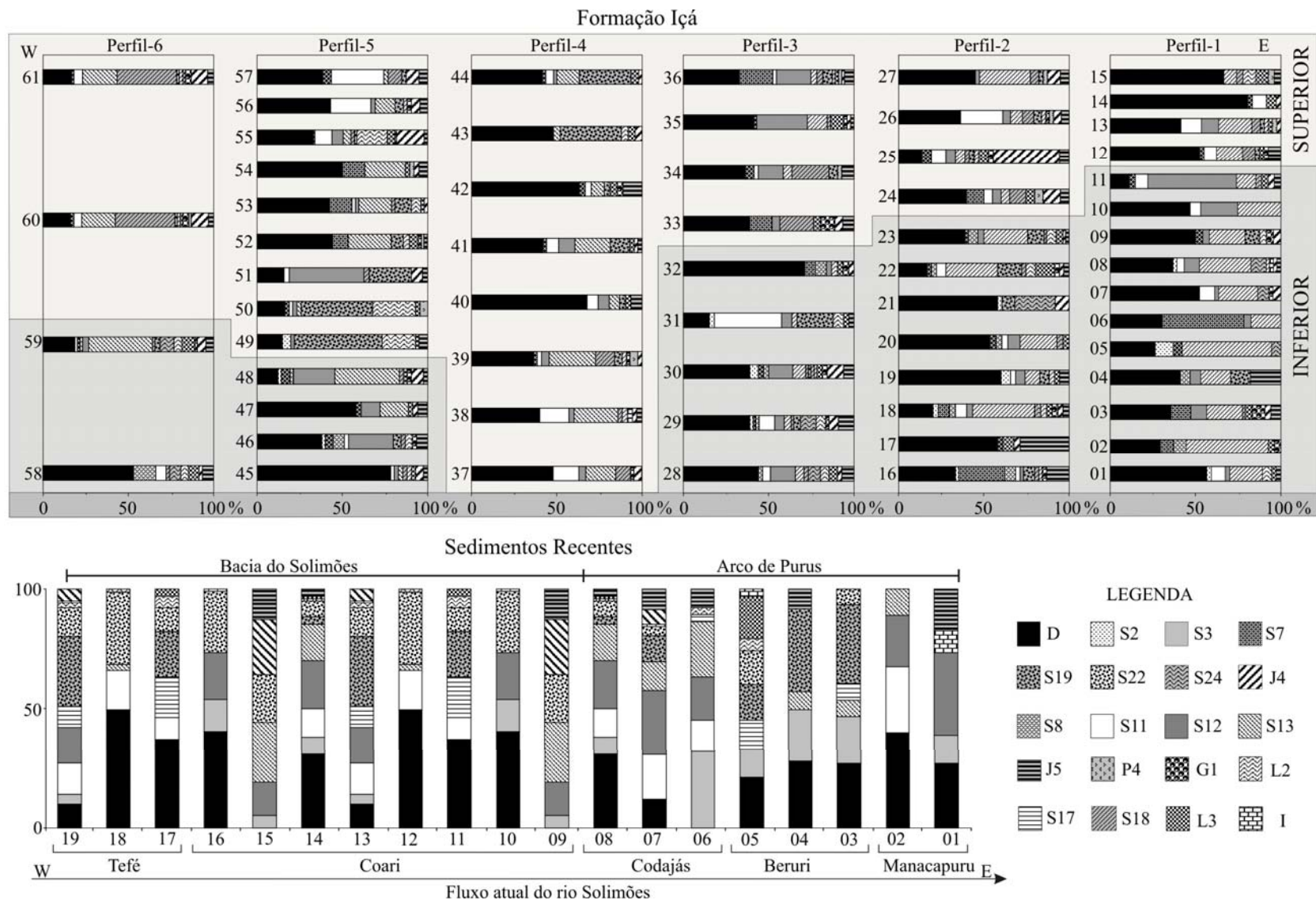


Figura 39. Principais tipos morfológicos de zircão que ocorrem ao longo das seções verticais que abrangem a porção inferior e superior da Formação Içá e sedimentos recentes do rio Solimões

Tabela 11. Proporção dos tipos morfológicos de zircão encontrados na porção inferior e superior da Formação Içá

LIMITE	FM, IÇÁ PERFIL - 1															FM, IÇÁ PERFIL - 2												FM, IÇÁ PERFIL - 3					
	INFERIOR															INFERIOR												INFERIOR					
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	
D	57	30	36	41	26	30	52	37	50	47	11	53	41	81	67	33	58	20	60	54	58	17	39	40	14	36	45	44	39	39	15	71	
S2	3	0	0	0	11	0	0	2	0	0	0	0	0	0	2	0	3	6	0	3	0	0	0	0	0	0	0	2	5	3	0		
S3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
S7	0	7	11	0	5	48	0	0	4	0	4	3	0	3	0	27	3	7	0	4	0	3	2	10	6	0	0	0	2	3	0	6	
S8	0	7	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	0	3	0	4	0	3	6	0	0	0	0	2	2	3	0	6		
S11	8	0	0	0	0	0	9	4	0	6	7	8	12	8	0	2	0	7	3	4	0	6	0	5	8	25	0	5	9	0	39	0	
S12	3	0	9	6	0	4	2	9	4	22	52	0	10	0	2	0	3	6	7	0	0	4	5	6	5	3	15	6	14	6	3		
S13	19	48	21	18	53	17	23	30	21	25	11	15	20	0	7	0	0	37	9	21	0	31	26	5	6	7	30	5	4	8	3	0	
S17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
S18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	5	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	10	3	7	5	2	2	2	0	0	
S19	0	0	0	12	0	0	0	0	8	0	0	3	2	0	0	7	0	0	6	0	8	14	9	0	3	5	3	0	4	2	21	0	
S22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
S24	0	0	2	0	5	0	7	9	0	0	4	0	0	0	2	0	3	0	4	24	3	2	0	0	0	0	7	9	2	0	0		
L2	5	0	0	0	0	0	0	2	4	0	0	2	0	7	2	0	3	3	0	0	6	6	0	3	2	0	5	6	2	6	3		
L3	3	4	4	0	0	0	0	0	0	0	4	3	2	6	7	0	6	3	3	4	0	11	4	5	6	0	0	5	0	3	3	3	
I	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
G1	0	4	8	0	0	0	2	0	4	0	0	3	0	0	2	0	3	0	0	0	3	0	0	3	2	0	0	2	3	0	0	3	
P4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	2	3	0	0	0	0	0	0	
J4	0	0	4	0	0	0	5	2	4	0	4	0	2	3	0	3	3	0	0	8	3	2	10	39	5	8	2	6	9	0	0	3	
J5	3	0	6	18	0	0	0	2	0	0	4	8	0	0	4	13	29	3	6	0	0	3	2	5	6	5	5	7	9	6	3	0	

LIMITE	FM, IÇÁ PERFIL - 3				FM, IÇÁ PERFIL - 4										FM, IÇÁ PERFIL - 5										FM, IÇÁ PERFIL - 6						
	SUPERIOR				INFERIOR										SUPERIOR										INFERIOR						
	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61		
D	39	37	41	33	48	40	36	68	42	63	48	41	78	38	58	12	15	16	16	45	42	50	33	43	38	53	19	16	17		
S2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	2	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0		
S3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
S7	13	5	2	20	0	0	2	0	2	4	0	2	0	4	3	5	0	2	0	9	13	13	1	0	5	0	2	2	2		
S8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13	2	0	0	0		
S11	0	2	0	2	15	17	2	6	7	4	0	4	2	2	0	0	2	3	0	2	0	10	24	31	6	0	5	5			
S12	4	15	29	20	4	3	5	6	9	0	0	2	2	27	11	24	2	2	44	0	2	0	7	2	0	0	3	0	0		
S13	0	5	12	4	17	26	27	6	21	7	4	13	2	0	17	38	0	2	0	25	19	24	4	12	3	0	38	20	20		
S17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
S18	20	22	2	4	9	3	11	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	3	0	2	0	2	0	8	2	2	34	35			
S19	0	5	0	5	0	0	5	3	12	4	36	30	0	4	0	0	51	42	25	7	10	0	1	5	3	0	3	2	2		
S22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
S24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	8	0	0	0	0	0
L2	0	0	0	2	0	3	2	0	0	0	4	0	2	4	0	20	26	0	4	6	0	18	2	0	4	5	2	2	2		
L3	4	0	8	2	0	0	0	3	2	4	4	4	2	0	3	2	2	2	0	5	2	3	4	0	6	8	2	2	2		
I	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
G1	9	0	2	0	2	0	2	0	0	4	0	0	0	2	0	2	0	0	2	0	0	1	2	0	0	2	3	3	3		
P4	0	2	0	2	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	2	0	3	0	0	0	0	0	2	2	0	0	
J4	4	0	2	2	4	3	2	0	2	0	4	2	5	0	3	7	0	0	6	0	2	3	16	5	8	2	5	10	10	10	
J5	7	7	2	5	0	3	0	6	2	11	0	0	2	7	6	2	5	0	3	2	0	5	2	5	5	6	5	3	3	3	

Tabela 12. Proporção dos tipos morfológicos de zircão encontrados nos sedimentos recentes do rio Solimões

SEDIMENTOS RECENTES DO RIO SOLIMÕES																			
Tipos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
D	27	40	27	28	21	0	12	31	0	40	37	49	10	31	0	40	37	49	10
S2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
S3	12	0	20	22	12	32	0	7	5	13	0	0	4	7	5	13	0	0	4
S7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
S8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
S11	0	28	0	0	0	13	19	12	0	0	9	16	13	12	0	0	9	16	13
S12	35	21	0	0	0	18	27	20	14	20	0	0	15	20	14	20	0	0	15
S13	0	11	7	8	0	23	12	15	25	0	0	3	0	15	25	0	0	3	0
S17	0	0	7	0	12	3	0	0	0	0	17	0	9	0	0	0	17	0	9
S18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
S19	0	0	33	34	15	0	11	3	0	0	19	0	29	3	0	0	19	0	29
S22	0	0	7	0	14	0	4	7	20	26	10	30	12	7	20	26	10	30	12
S24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
L2	0	0	0	0	5	3	0	1	0	0	5	1	2	1	0	0	5	1	2
L3	0	0	0	0	18	0	0	1	0	0	3	0	0	1	0	0	3	0	0
I	9	0	0	0	3	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1
G1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
J4	0	0	0	0	0	0	6	0	23	0	0	0	5	0	23	0	0	0	5
J5	18	0	0	9	0	8	9	3	13	0	0	0	0	3	13	0	0	0	0

9.1.3 Estrutura Interna

Imagens de elétrons retro-espalhados em seções polidas dos grãos de zircão das três unidades estudadas exibem algumas estruturas internas relacionadas a eventos de cristalização primária e secundária, como inclusões, zonação, herança de núcleos por meio de recristalização e metamitização. São observadas inclusões de hematita (opacos), apatita (incolor) e minerais de Th e U. A zonação é bem marcada, principalmente em zircões da porção inferior da Formação Içá (tipo D e J5), Içá (D e S13) e sedimentos recentes do rio Solimões (S12 e S13), enquanto núcleos herdados são observados nos tipos S8 e S22. Estas zonações e as cavidades encontradas em boa parte dos grãos das duas unidades estudadas, indicam reciclagem de rochas antigas e processos de metamitização, devido ao decaimento radioativo de U, Th e Hf (Fig. 40).

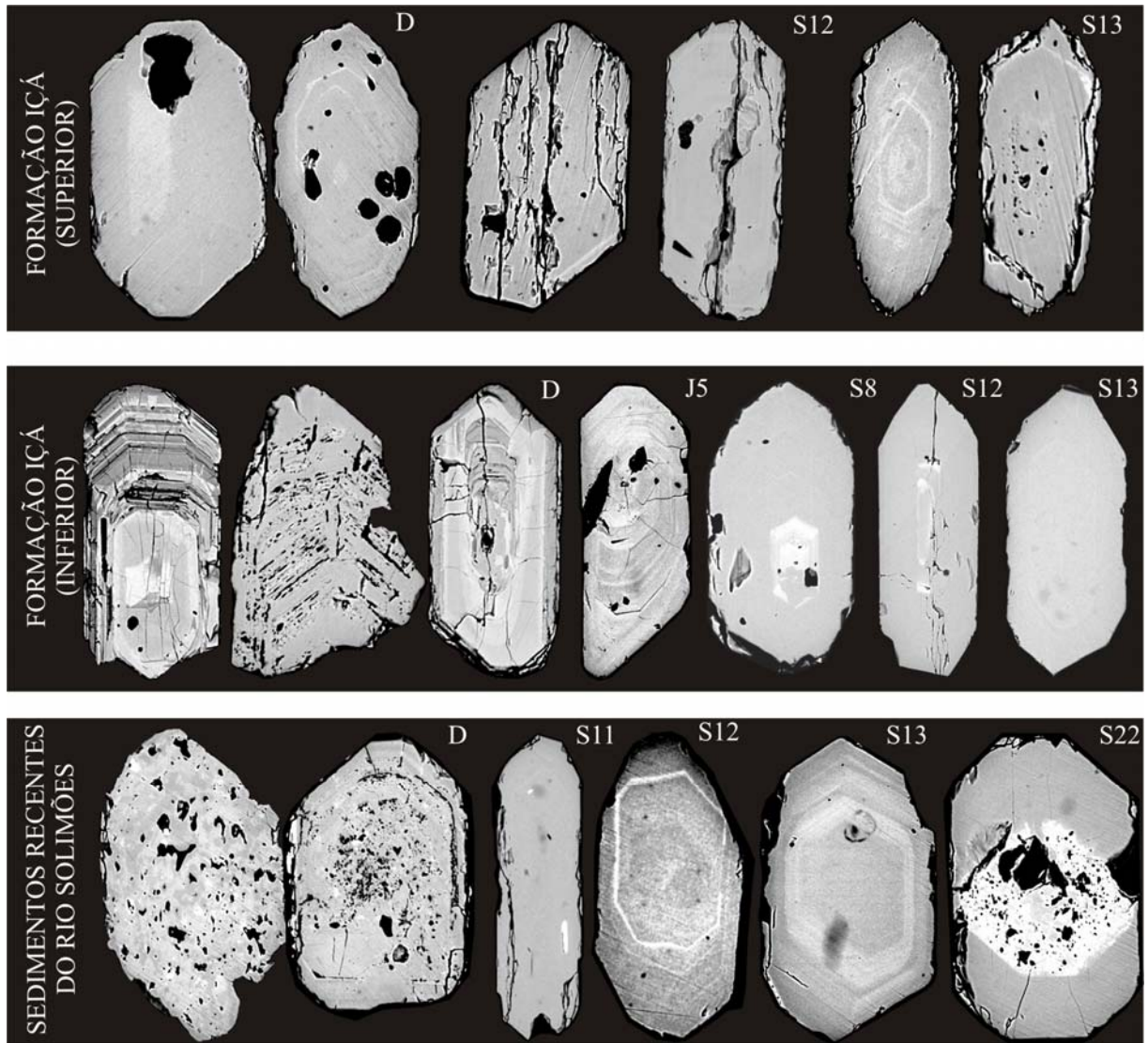


Figura 40. Grãos do tipo D na porção inferior da Formação Içá exibem zonação e metamitização, enquanto S8 e S12 exibem núcleos herdados de minerais com Th e U. Os grãos do tipo D e S13 na porção superior da Formação Içá apresentam zonação incipiente, enquanto nos sedimentos recentes do rio solimões os mesmos grãos são metamitizados e zonados, assim como o S22 apresenta núcleo possivelmente herçado

10. PALEOFLUXO

Para complementar os dados mineralógicos foram determinadas às direções das paleocorrentes obtidas a partir de 467 medidas em camadas de arenito com estratificações e laminações cruzadas tabular. Os dados obtidos neste trabalho mostram que as direções preferenciais, corroboram em parte os dados apresentados por Vega (2006). Em termos gerais as paleocorrentes apresentam forte tendência para NE e SE nas camadas com estratificações cruzadas tabular e cruzadas acanalada, enquanto as laminações inclinadas indicam direção E.

No perfil 1, 2, 3 e 6 observa-se que o arranjo das paleocorrentes tem padrão unimodal com sentido principal para NE-E, enquanto o perfil 4 aponta para NE-SE e o perfil 5 para SW-NW onde forma padrão bimodal 120° , por outro lado as camadas inclinadas heterolítica apresentam mergulho de até 35° SE.

Em geral o ângulo de mergulho das camadas variou de 6° a 27° , onde no perfil-1 a direção (D) variou entre 4° a 175° e o vetor médio (VM) entre 22° a 104° . No perfil-2, o D variou de 1° a 125° e o VM entre 45° a 93° , o que o diferencia do perfil-3 onde o D variou entre 35° a 135° e o VM entre 83° a 104° . Por outro lado no perfil-4 o D variou entre 5° a 176° e o VM entre 45° a 161° , muito diferente do perfil-5 onde os valores de D e VM são complexos. Entretanto, no perfil-6 o D variou entre 12° a 135° e o VM entre 73° a 127° . Os demais valores de VM e D podem vistos na figura abaixo (Fig. 41).

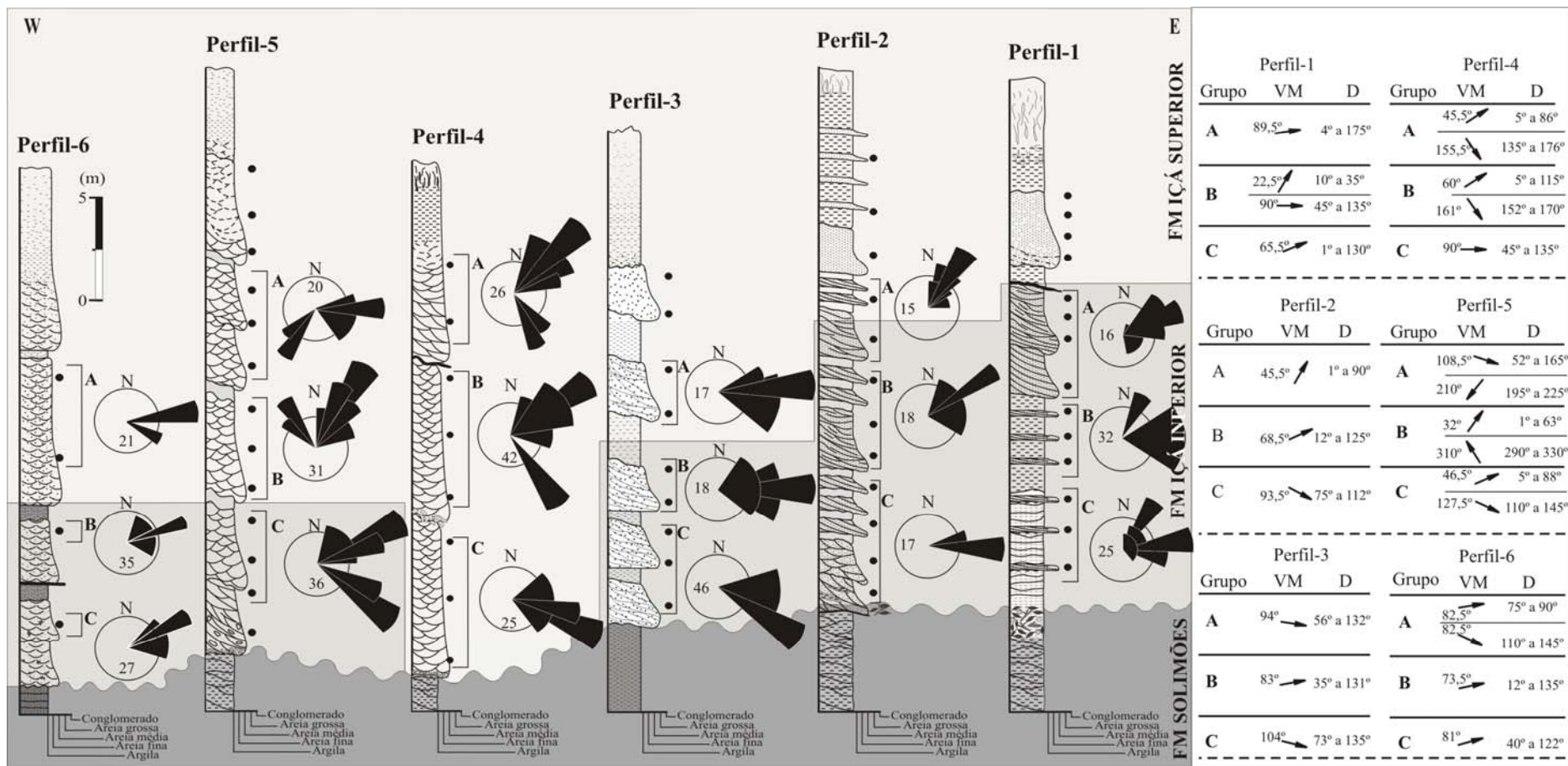


Figura 41. Diagrama de rosetas mostrando as principais direções das paleocorrentes. Observar a uni e bimodalidade preferencial para E, NE e SE. As setas indicam o vetor médio (VM), D representa a variação das direções do paleofluxo, o valor dentro do círculo compreende ao número de medidas e as letras A, B e C são grupos de medidas. As estruturas podem ser observadas na figura 16.

11. DISCUSSÃO

A figura 42 mostra depósitos de pelitos cinza e arenito branco amarelado referente às Formações Solimões e Içá, respectivamente, cujo limite foi proposto por Maia *et al.* (1977). A discordância marcada regionalmente pelos tipos litológicos supracitados ocorre entre os municípios de Tefé, Coari, Codajás e Beruri. Devido a variações faciológicas para o topo da Formação Solimões (Vega 2005), a base da Formação Içá torna-se de difícil reconhecimento, porém os dados de minerais pesados mostram que a Formação Içá se divide em porção inferior e superior. Os altos teores de andalusita encontrados na porção inferior, bem como os de mica na porção superior da unidade supracitada, mostram que diferentes fontes contribuíram para formação destes depósitos. Isto significa que pelo menos a porção inferior dos depósitos da Formação Içá recebeu contribuição significativa de fontes metassedimentares de baixo grau.

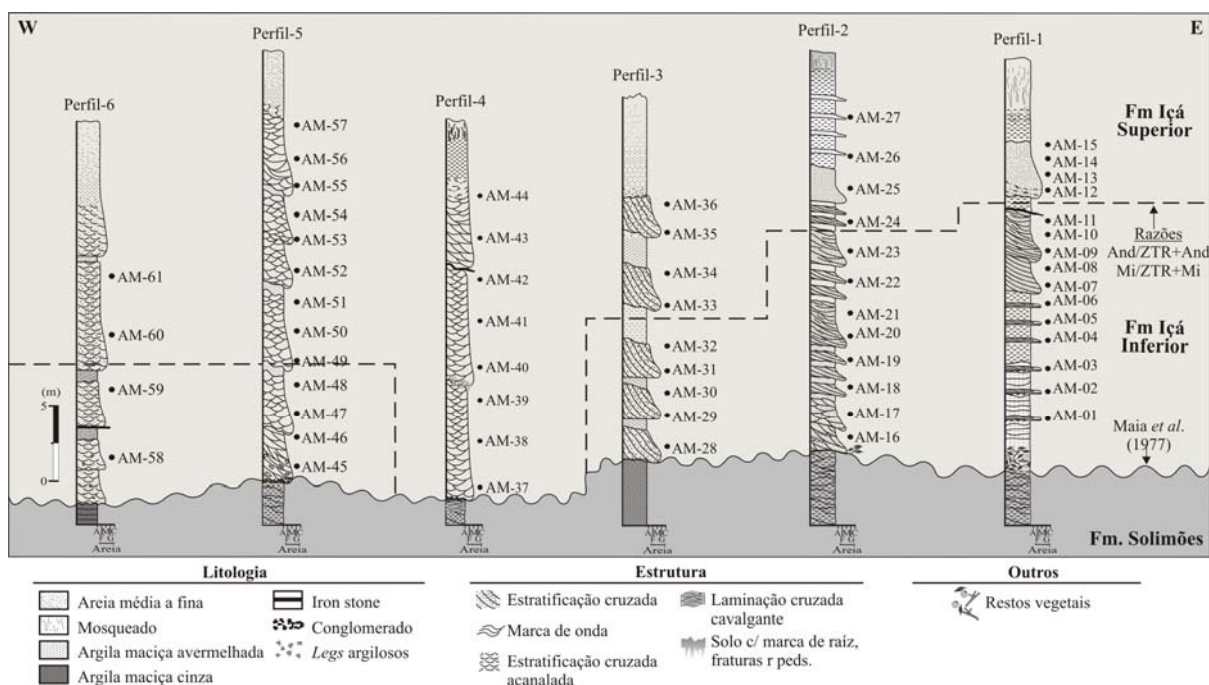


Figura 42. Comparação entre os limites propostos por Maia *et al.* (1977) e Vega (2006), com o limite obtido a partir das razões de andalusita e mica deste trabalho

Os teores de andalusita e mica, representados pelas razões $And/ZTR+And$ e $Mi/ZTR+Mi$, distinguem duas sucessões de pacotes arenosos, onde o limite inferior e superior pode vir a ter idades totalmente distintas. A abundância destes minerais sugere que ao longo da deposição houve mudança de área fonte. Entretanto os sedimentos do rio Solimões enriquecidos em piroxênio, anfibólio, cianita, sillimanita e epidoto (Tab.7), indicam novas modificações de fonte, possivelmente advinda da porção oeste da bacia do Solimões (Fig. 41). Por outro lado, baixos teores de turmalina, rutilo, monazita, granada e anatásio podem estar associados ao desgaste durante o transporte ou forte ação intempérica na área fonte.

Diante do exposto, apesar de alguns trabalhos mencionarem dados de minerais pesados para as Formações Solimões e Içá (Hoorn *et al.* 1995, Rossetti *et al.* 2005), nenhum deles conseguiu mostrar um limite mineralógico entre pacotes de uma mesma unidade conforme esta sendo proposto por este trabalho, o que passa a ser um fato inédito e comprovado para o Neógeno da Amazônia Ocidental.

11.1 PROVENIÊNCIA

As assembléias de minerais pesados das unidades estudadas sugerem a contribuição de fontes metamórficas, ígneas e sedimentares, onde os polimorfos de Al_2SiO_5 como a andalusita, cianita e sillimanita indicam fontes pelíticas aluminosas, xistos e gnaisses metamorfisadas no intervalo de baixa a alta pressão e médio a alto grau, bem como arenitos. A granada também indica rochas metamórficas e o tipo espessartita é comum no metamorfismo regional de rochas ricas em Mn, almandina em xistos, gnaisses e metapelitos, enquanto knorringita é raro componente de nódulos kimberlíticos ultramáficos (Nixon *et al.* 1963, Nixon & Hornung 1968). As turmalinas como uvita e dravita provêm de rochas metamórficas ricas em cálcio e pelo metasomatismo do boro (Dunn *et al.* 1977, Deer *et al.*

1986). Apesar de não ocorrerem em quantidades significativas na Formação Içá, piroxênio, ferrosilita e enstatita, estes podem ser provenientes de formações ferríferas, piroxenitos, basaltos, kimberlitos, dunitos, peridotitos e charnoquitos (Deer 1978, Pollack & Ruble 1964), que possivelmente ocorrem nos escudos das Guianas e Brasil Central. Por outro lado nos sedimentos recentes do rio Solimões, além das variedades de turmalina e piroxênio, ocorre crossita e tirodita que são anfibólios típicos de rochas do fácies xisto verde ao azul e de formações ferríferas ricas em manganês (Borg 1967, Klein 1964).

Análises de ZTR mostraram que os arenitos estudados tendem a ser maduros devido às altas concentrações de zircão, enquanto as dispersões causadas pelo teor de turmalina nas amostras da porção inferior (perfis 1, 2 e 6) e superior (perfis 1 e 3) da Formação Içá é reflexo de maior contribuição de fontes ígneas e metamórficas. De outro modo a relação entre minerais estáveis/instáveis confirma que a porção inferior da Formação Içá é matura, enquanto a superior apresenta tendência à supermaturidade. O alto teor de zircão em parte dos sedimentos recentes do rio Solimões são classificados como maduro, porém a outra parte é imatura devido aos altos teores de piroxênio e anfibólio. Estes dois minerais mais andalusita têm altas concentrações nos sedimentos recentes na região de Coari, enquanto próximo a Codajás a estaurolita predomina. A primeira concentração pode estar associada às fontes andinas (piroxenitos, anfibolitos e rochas do fácies granulito), enquanto a segunda pode estar associada ao Escudo Brasileiro (metassedimentos aluminosos), conforme sugerido por Suguio & Coimbra (1977) para a Bacia do Acre.

A morfologia do zircão mostrou que os tipos D, S12 e S13 são abundantes em todas as unidades e isto sugere contribuição de granitos toleíticos e calci-alcalinos, enquanto os tipos S2, S8 e S24, gerados em leucogranitos aluminosos, monzogranitos e granodioritos, diferenciam a porção inferior e superior da Formação Içá. Os tipos S18 e P4, formados em granodioritos, monzonitos e granitos alcalinos, são exclusivos da porção superior, e os tipos I,

S3, S17 e S22, formados em granodioritos, monzonitos e granodioritos, ocorrem apenas nos sedimentos recentes. Além da morfologia, alguns grãos zonados e com inclusões indicam variações de temperatura e quimismo do magma durante sua formação (Pupin 1980, Belousova *et al.* 2006). Por outro lado, núcleos possivelmente herdados evidenciam reciclagem de rochas mais antigas, bem como as cavidades geradas pela metamitização. Apesar da certeza da origem do zircão ser ígneo, a ocorrência de zircões com superfície suja, bordas arredondadas e inclusões indiferenciáveis à microscopia convencional, sugerem origem metamórfica.

Deste modo a variedade de zircões encontrados deixa clara a participação efetiva de fontes graníticas proximais nas unidades estudadas, que podem estar relacionadas aos granitos das províncias Rondoniana-San Ignácio, Ventuari-Tapajós e Rio Negro-Juruena (Tassinari & Macambira 1999, 2004) (Fig. 43).

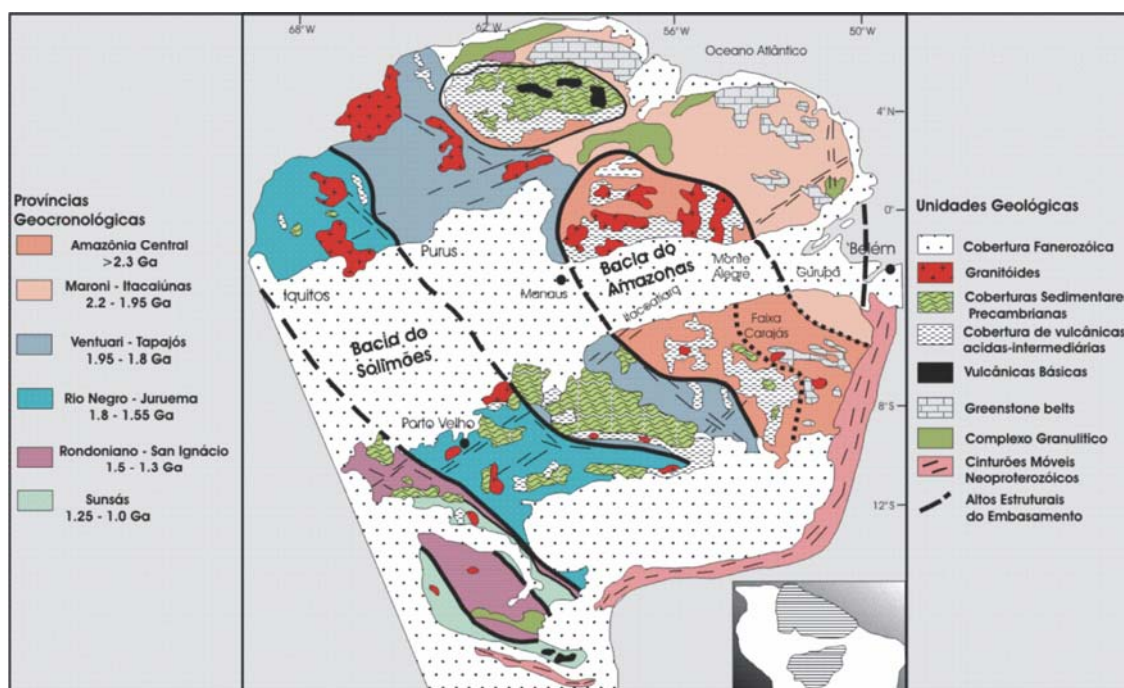


Figura 43. Províncias geocronológicas do Cráton Amazônico e suas principais unidades geológicas (Tassinari & Macambira 1999, 2004)

As informações de possíveis rochas fontes, a partir dos minerais pesados, suas variedades e tipos de zircão, são corroborados pelos fragmentos de gnaiss, filito, quartzito e

arenito encontrados na porção inferior da Formação Içá, bem como arenito, argilito e mica-xisto em sua porção superior. Nos sedimentos recentes do rio Solimões foram encontrados também fragmentos ferruginosos, ou seja, possuem uma variedade bem mais ampla que a indicada por Franzinelli & Potter (1985).

Associado a estas informações as análises de paleocorrentes, em parte, são compatíveis com os dados de Vega (2006) que indica direção para SE. Entretanto, neste trabalho, medidas realizadas em estratificações cruzadas plano-paralelas e acanaladas indicam paleofluxo mais amplo entre NE a SE (4° a 176°), com padrões predominantemente unimodais e restritamente bimodais, o que confirma fluxo siliciclásticos de W para E controlado por ambiente fluvial meandrante com trechos retilíneos, conforme mostra a figura 44.

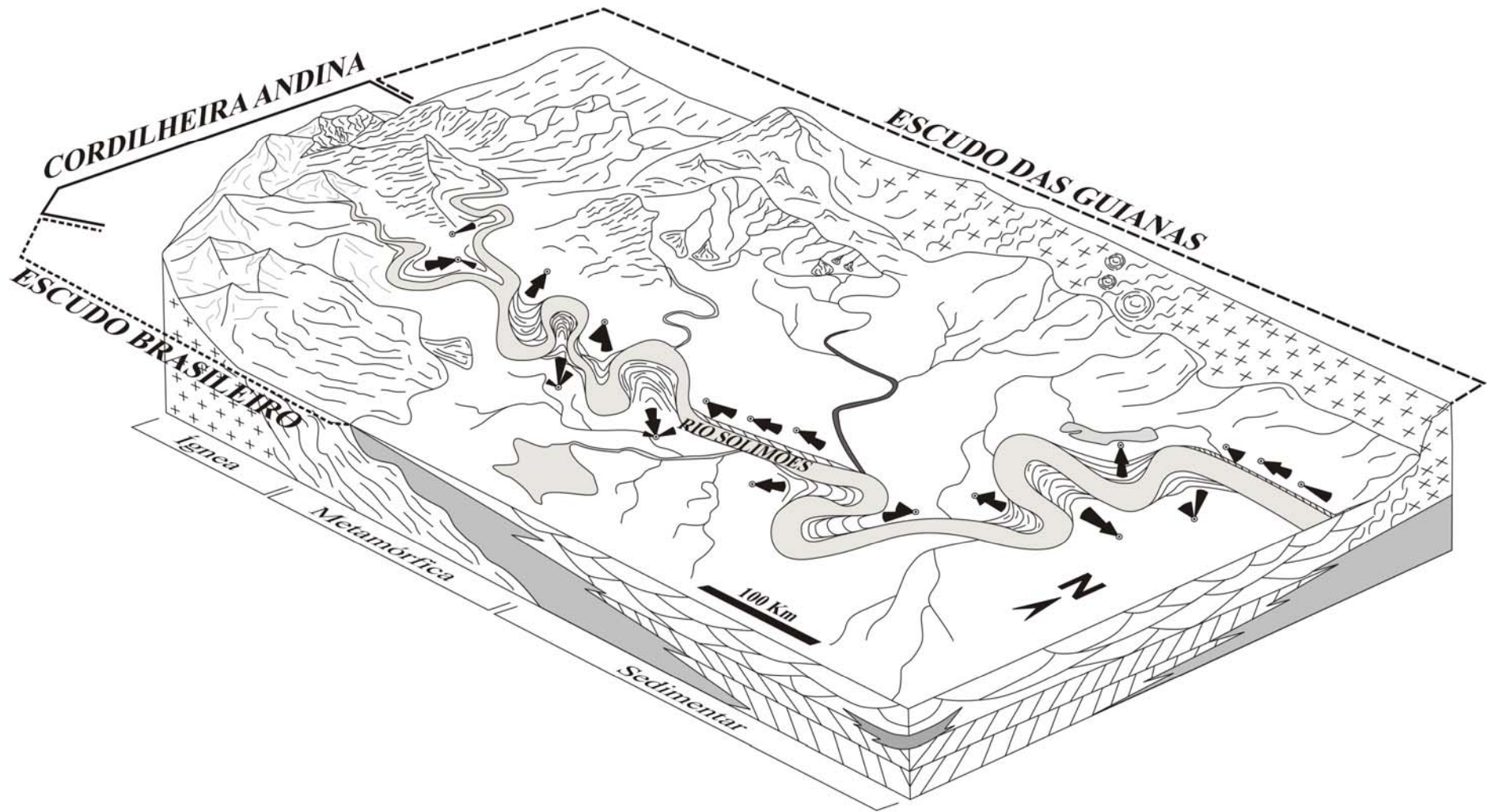


Figura 44. Geograma mostrando área produtora de sedimentos a partir de tipos genéricos de rochas. Os diagramas de roseta indicam as direções unimodais e bimodais do paleofluxo em trechos meandrante e retilíneo

CONCLUSÕES

Os minerais pesados transparentes e suas variedades descritas neste trabalho, bem como a morfologia do zircão, fragmentos de rocha e paleocorrentes, indicam proveniência de fontes genéricas e específicas para a porção inferior e superior da Formação Içá e sedimentos recentes do rio Solimões, onde se conclui que:

a) Os minerais pesados identificados nas unidades estudadas indicam grupo genérico de rochas (ígneas, metamórficas e sedimentares), entretanto as variedades apontam para tipos específicos de rochas como charnoquitos, gnaisses, granitos (calci-alcálicos, aluminosos, peraluminosos, toleíticos), xistos, kimberlitos, piroxenitos, basaltos, dunitos e peridotitos, que possivelmente fazem, ou fizeram parte do complexo litológico do Cráton Amazônico.

b) O limite estabelecido a partir dos teores de andalusita e mica reforçam a importância do estudo de detalhe dos minerais pesados e é um fato novo para o Neógeno da Amazônia Ocidental. Indica que a porção inferior e superior da Formação Içá, durante o Plio-Pleistoceno, receberam intensa contribuição de fontes metamórficas evidenciadas por meio dos polimorfos de Al_2SiO_5 , variedades de granada, bem como contribuição de fontes ígneas e sedimentares. Por outro lado nos sedimentos recentes do rio Solimões a concentração de piroxênio e anfíbólio na região de Coari pode ser decorrente da abundância destes na área fonte, ou pode estar relacionado à acumulação por perda de energia hidrodinâmica devido inflexão do rio Solimões na região. Entretanto estes minerais são instáveis a várias condições ambientais e, por isso, se advoga que estes provêm dos contrafortes andinos e subordinadamente da unidade supracitada, pois os mesmos não resistiriam a longos períodos transporte, exposição e soterramento.

c) O estudo morfológico do zircão foi uma importante ferramenta usada na identificação das possíveis fontes granítica produtoras de sedimentos para as unidades estudadas, uma vez que a forma externa e estrutura interna sugerem quimismo, temperatura e quantidade de voláteis no magma onde estes se formaram. Os tipos identificados neste trabalho apontam para uma diversidade de fontes graníticas, entretanto os mais comuns foram gerados em granitos toleíticos e calci-alcalinos. Devido à ausência de dados químicos e geocronológicos fica difícil a correlação com rochas do Cráton Amazônico e cadeia andina, contudo a morfologia indica pouco transporte o que torna possível essa inferência. Populações arredondadas são atribuídas ao retrabalhamento de unidades pretéritas da Bacia do Solimões e, possivelmente da Bacia do Acre ou provieram de unidades mais longínquas. Por outro lado, grãos com textura de dissolução indicam forte ataque químico, o que é confirmado pela redução das proporções de piroxênio e anfibólio que culminam no aumento da maturidade das rochas conforme mostrado pelo índice ZTR e pela relação entre ZTR/CSAnd/EpPAf.

d) Apesar dos fragmentos de rocha não terem sido alvo desta pesquisa, seu estudo, mesmo de forma superficial mostrou-se uma importante ferramenta alternativa a ser aplicada nos estudos de proveniência, principalmente quando se tratar de vastas regiões como a bacia do Solimões. Acerca deste tema os dados mostraram tipos específicos de rochas que serviram de fonte para as unidades estudadas, bem como refinou ainda mais as informações dadas pelos minerais pesados, suas variedades e tipologia do zircão.

e) As análises de paleocorrentes indicaram fluxo unimodal, por vezes bimodal, predominantemente entre NE-SE na área de estudo, com direção variando para SW-E e NW-NE. Estas direções corroboram os dados de autores pioneiros (fluxo de oeste para leste) e sugerem que a deposição ocorreu predominantemente em ambiente fluvial meandrante com trechos retilíneos.

BIBLIOGRAFIA

- ALBUQUERQUE, O.R. de. 1922. Reconhecimentos geológicos do Valle do Amazonas (Campanhas de 1918-1919). Boletim do Serviço Geológico e Mineralógico, Rio de Janeiro (3):1-84. In: BEZERRA, P.E.L. 2003. Compartimentação Morfotectônica do Interflúvio Solimões-Negro. Tese de doutorado, Centro de Geociências – Universidade Federal do Pará. p. 41-59.
- ALMEIDA, L.F.G. de. 1974 b. A drenagem festonada e seu significado fotogeológico. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA. 28. Porto Alegre. Anais. Porto Alegre, Sociedade Brasileira de Geologia, v.7, p. 175-97.
- ALMEIDA, L.F.G. de. 1974a. A drenagem festonada, a planície Sanozama e o Rio Amazonas. Belém, Projeto RADAM. 14 p. (Relatório Interno RADAM, 19-G).
- ARAI, M.; NOGUEIRA, A.C.R.; SILVEIRA, R.R.; HORBE, A.M.C. Considerações cronoestratigráficas e paleoambientais da Formação Solimões com base em palinomorfos, região de Coari, Estado do Amazonas. In: Simpósio de Geologia da Amazônia, 8, 2003, Manaus. Resumos Expandidos (CDRom).
- BARROS, A.M.; ALVES, E.D. de O.; ARAÚJO, J.F.V.; LIMA, M.I.C. de; FERNANDES, C.A.C. 1977. Geologia. In: BRASIL. Projeto RADAMBRASIL. Folha SB/SC.18 – Javari/Contamana. Rio de Janeiro, DNPM, p.17-101. (Levantamento de Recursos Naturais, 13). In: BEZERRA, P.E.L. 2003. Compartimentação Morfotectônica do Interflúvio Solimões-Negro. Tese de doutorado, Centro de Geociências – Universidade Federal do Pará. p. 41-59.
- BARROS, C.E.; NARDI, L.V.S.; DILLENBURG, S.R. 2005. Geoquímica de Minerais em Estudos de Proveniência: Uma Revisão. Porto Alegre-RS. UFRGS. Revista Pesquisa em Geociências, 32 (1): 3-15.
- BELOUSOVA, E.A.; GRIFFIN, W.L.; O'REILLY, S.; FISHER, N.I. 2002. Igneous zircon: trace elements composition as an indicator of source rocks type. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 143: (5) 602-622. Abstract.
- BELOUSOVA, E.A.; GRIFFIN, W.L.; O'REILLY, S.; FISHER, N.I. 2006. Zircon Crystal Morphology, Trace Elements Signatures and Hf Isotope Composition as a Tool for Petrogenetic Modelling: Exemples From Eastern Australian Granitoids. *Journal of Petrology*, 47: (2) 329-353.
- BEZERRA, P.E.L. 2003. Compartimentação Morfotectônica do Interflúvio Solimões-Negro. Tese de doutorado, Centro de Geociências – Universidade Federal do Pará. p. 41-59.
- BEZERRA, P.E.L.; LIMA, M.I.C. DE; COELHO, F.A. de J.F. 1999. Estruturação Neotectônica da Folha SA.20-Manaus. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 6., Manaus. Bol. de Res. Expandidos. Manaus, Sociedade Brasileira de Geologia – Núcleo Norte, p. 288-291.

- BORG, I.Y. 1967. Optical properties and cell parameters in the glaucophane-riebeckite series. *Contributions Mineralogy and Petrology*, 15, 67-92.
- BORGES, F.R. 1987. Projeto Serra do Aracá; Relatório de progresso. Manaus, CPRM. 31p, mapas. In: BEZERRA, P.E.L. 2003. Compartimentação Morfotectônica do Interflúvio Solimões-Negro. Tese de doutorado, Centro de Geociências – Universidade Federal do Pará. p. 41-59.
- BOSWELL, P.G.H. *Minerology to sedimentary rocks*, 393 p. London: Thos. Murby and Co. 1933. In: PETTIJOHN, F.J.; POTTER, P.E.; SIEVER, R. *Sand and Sandstone*. Springer-Verlag. New York, Heidelberg, Berlin. 1973. Chapter 4. Sedimentary Structures and Bedding. Pp102-143.
- BOUMAN, Q.C. 1959. Geology of the rio Uatumã, rio Abacate and surrounding areas. Belém, PETROBRAS - RENOR. (Relatório Técnico Interno, 288A). In: BEZERRA, P.E.L. 2003. Compartimentação Morfotectônica do Interflúvio Solimões-Negro. Tese de doutorado, Centro de Geociências – Universidade Federal do Pará. p. 41-59.
- BRAZ, E.R.C.; BEZERRA, P.E.L.; GATTO, C.M.P.P. 1999. Síntese da Geologia da Folha SB.20-Purus. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 6., Manaus. Boletim de Resumos Expandidos. Manaus, Sociedade Brasileira de Geologia Núcleo Norte, p.172-175.
- BROWN, C.B. 1879. On the Tertiary deposits on the Solimoes and Javari rivers, in Brasil. *The Quaterly Journal of Geological Society of London*. London, 35(1):76-81. In: BEZERRA, P.E.L. 2003. Compartimentação Morfotectônica do Interflúvio Solimões-Negro. Tese de doutorado, Centro de Geociências – Universidade Federal do Pará. p. 41-59.
- CAIRONI, V.; GARZANTI, E. AND SCIUNNACH, D. 1996. Typology of detrital zircon as a key to unraveling provenance in rift siliciclastic sequences (Permo-Carboniferous of Spiti, N India). *Geodinâmica Acta (Paris)*, v.9(2), p.101-113.
- CAWOOD, P.A., 1983. Modal composition and detrital clinopyroxene geochemistry of lithic sandstones from the New England fold belt (east Australia): a Paleozoic forearc terrain. *Bulletin of the Geological Society of America* 94, 1199– 1214.
- CAPUTO, M.V. & SILVA, O.B. 1991. Sedimentação e tectônica da Bacia do Solimões. In: G.P. Raja Gabaglia, E.J. Milani, (eds), *Origem e Evolução das Bacias Sedimentares*. Rio de Janeiro: PETROBRAS, p.169-193.
- CAPUTO, M.V. 1984. Stratigraphy, Tectonics, Palaeoclimatology and Paleogeography of Northern Basin of Brazil. Tese de doutorado – University of Califórnia. p. 163-170.
- CAPUTO, M.V.; RODRIGUES, R.; VASCONCELOS, D.N. 1971. Litoestratigrafia da Bacia Amazônica. Manaus: Petrobrás/Renor. (Relatório, 4054, antigo 641A).
- CARTER, A. AND BRISTOW, C.S. 2000. Detrital zircon geochronology: enhancing the quality of sedimentary source information through improved methodology and combined U-Pb fission-track techniques. *Basin Research*, 12:47-57.

- CHERNIAK, D.J.; HANCHAR, J.M.; WATSON, E.B. 1997. Rare trace diffusion in zircon. *Chemical Geology*, 134:289-301.
- COELHO, F.A. de J. F. 2000. Geological recognition of a Cenozoic sequence in the west of the Amazon State. In: INTERNATIONAL GEOLOGICAL CONGRESS, 31., Rio de Janeiro. Abstract Volume. Rio de Janeiro, IUGS/SBG/SBGf, 1 CD-ROM. In: BEZERRA, P.E.L. 2003. Compartimentação Morfotectônica do Interflúvio Solimões-Negro. Tese de doutorado, Centro de Geociências – Universidade Federal do Pará. p. 41-59.
- CORDANI, U.G.; BRITO NEVES, B.B. de; FUCK, R.A.; PORTO, R.; THOMAZ FILHO, A.; CUNHA, F.M.B. 1984. Estudo preliminar de integração do Pré-Cambriano com os eventos tectônicos das bacias sedimentares brasileiras. Rio de Janeiro, PETROBRÁS/CEMPES/SINTEP (Série Ciência-Técnica-Petróleo. Seção: Exploração e Petróleo, Publ. 15).
- CUNHA, F.M.B. da 1963. Estado do Acre; reconhecimento geológico dos rios Purus, Santa Rosa, Chandless, Iaco e Acre. Belém, PETROBRAS-SRAZ, 24p. (Relatório Técnico Interno, 532 A). In: BEZERRA, P.E.L. 2003. Compartimentação Morfotectônica do Interflúvio Solimões-Negro. Tese de doutorado, Centro de Geociências – Universidade Federal do Pará. p. 41-59.
- CUNHA, P. R. C.; GONZAGA, F. G.; L. F. C. & FEIJÓ, F. J. 1994. Bacia do Amazonas. Bol. Geociências, Petrobrás, Rio de Janeiro (RJ), 8(1): 47 – 55.
- CUNHA, F.M.B da. 1991. Morfologia e Neotectonismo do rio Amazonas. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 30, Belém. Anais. Belém, Sociedade Brasileira de Geologia-Núcleo Norte., p. 193-210.
- DAEMON, R. F. & CONTREIRAS, C. J. A. 1971. Zoneamento palinológico da Bacia do Amazonas. In. Congresso Brasileiro de Geologia, 25. São Paulo, SBG. V3, p. 79-88.
- DEER, W.A., HOWIE, R.A. & ZUSSMAN, J. 1978. Rocks-forming minerals, (2nd edition), v. 2A, single-chain silicates, 20-161.
- DEER, W.A., HOWIE, R.A. & ZUSSMAN, J. 1986. Rocks-forming minerals, (2nd edition), v. 1B, disilicates and ring silicates, 559-602.
- DEER, W.A.; HOWIE, R.A. & ZUSSMAN, J. 1982. Rock-forming minerals, 2nd edition, v. 1A, orthosilicates, 468-698, espessartine 590-602.
- DUNN, P.J.; APPLEMAN, D.; NELEN J.A. AND NORBERG, J. 1977. Uvite, a new (old) common member of the tourmaline group and its implications for collectors. Mineral. Record, 8, 100-108.
- ECOPETROL. 1999. Atlas de Cuencas Sediementarias Republica de Colombia. (Cd).
- EIRAS, J.F.; BECKER, C.R.; SOUZA, E.M.; GONZAGA, F.G.; SILVA, J.G.F.; DANIEL, L.M.F. 1994. Bacia do Solimões. Boletim de Geociências da Petrobrás, v. 8, p.17-45.

- FIGUEIREDO, B.R. Minérios e ambientes. Campinas – São Paulo: Editora da Unicamp, 2000. p.401.
- FORCE, E.R.1980. The provenance of rutile. *Journal of Sedimentology and Petrology*. 50, 485-488. Abstract.
- FRANZINELLI, E. & POTTER, P. E. 1985. Areias recentes dos rios da bacia amazônica: Composições petrográfica, textural e química. *Revista Brasileira de Geociências*. nº 15. v 3. p 213 – 220.
- FRANZINELLI, E. & POTTER, P.E. 1983. Petrology, chemistry, and texture of modern river sands, Amazon river system. *Journal of the Geology*., 91:23-29.
- GAUDETTE, H. E.; LAFON, J. M.; MACAMBIRA, M. J. B.; MOURA, C. A. V.;
- GINGRAS, M. K.; RASANEN, M.; RANZI, A. 2002. The significance of bioturbated inclined heterolithic stratification in the Southern part of the Miocene Solimões Formation, rio Acre, Amazônia, Brazil. *An International Journal of SEPM (Society for Sedimentary Geology)*. v.17. nº 6. p. 591 – 601.
- HARTT, C. F. 1870. *Geology and physical geography of Brasil*. Boston. Fields Osgood, 620p.
In: BEZERRA, P.E.L. 2003. *Compartimentação Morfotectônica do Interflúvio Solimões-Negro*. Tese de doutorado, Centro de Geociências – Universidade Federal do Pará. p. 41-59.
- HENRY, D.J., DUTROW B.L., AND SELVERSTONE, J. 2002. Compositional asymmetry in replacement tourmaline – An example from the Tauern Window, Eastern Alps. *Geological Material Research*. v. 4, nº 2,
- HENRY, D.J., GUIDOTTI, C.V., 1985. Tourmaline as a petrogenetic indicator mineral: an example from the staurolite-grade metapelites of NW Maine. *American Mineralogist* 70, 1–15.
- HOORN, C. 1993. Marine incursions and the influence of Andean tectonics on the Miocene depositional history of northwestern Amazonia: Results of a palynostratigraphic study. *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology*, 105: 267-309. Abstract.
- HOORN, C. 1994. An environmental reconstruction of the paleo-Amazon River system (Middle-late Miocene, NW Amazonia). *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology*, 112: 187-238.
- HOORN, C., GUERRERO, J.; SARMIENTO, G. 1995. Andean tectonics as a cause for changing drainage patterns in Miocene Northern South America. *Geology*, v. 23, p.237-240.
- HORBE, A. M. C.; PAIVA, M.R.P.; MOTTA, M.B.; HORBE, M. A. 2007. Mineralogia e geoquímica dos perfis sobre sedimentos neógenos e quaternários da bacia do Solimões na região de Coari-AM. *Acta Amazônica*, v.37(1), p.81-90.

- HOSKIN, P.W.O. & Black, L.P. 2000. Metamorphic zircon formation by solid-state recrystallization of protolith igneous zircon. *Journal Metamorphic Geology*, v.18, p.423–439.
- IRION, G. 1976. Quaternary sediments of the upper Amazon lowlands of Brazil. *Biogeographica* 7:163–167
- KLEIN, C. 1964. Cumingtonite-grunerite series: a chemical, optical and X-ray study. *American Mineralogy*, 49, 963-982.
- KUMMEL, B. 1948. Geological reconnaissance of the Contamana region, Peru. *Geological Society of American Bulletin, Colorado*, 59(12):1217-1266. In: BEZERRA, P.E.L. 2003. *Compartimentação Morfotectônica do Interflúvio Solimões-Negro*. Tese de doutorado, Centro de Geociências – Universidade Federal do Pará. p. 41-59.
- LANDIN, P.M.B.; BÓRIO, N.J.; WU, F.T.; CASTRO, P.R.M. 1983. Minerais pesados provenientes do leito do rio Amazonas. *Acta Amazônica*, v.13 (1), p. 51-72.
- LATRUBESSE, E.; RANCY, A.; RAMONELL, C.; SOUZA FILHO, J. P. DE. 1994. A Formação Solimões: Uma formação do Mio-Plioceno da Amazônia sul ocidental. *Simpósio de Geologia da Amazônia, 4. Boletim de Resumos Expandidos. Sociedade Brasileira de Geologia – Núcleo Norte*, 204 – 205.
- MAIA, R.G.N.; GODOY, H.K.; YAMAGUTI, H.S.; MOURA, P.A.; COSTA, F.S.F.; HOLANDA, M.A.; COSTA, J.A. 1977. Projeto Carvão no Alto Solimões. Relatório Final, CPRM-DNPM, 137 p.
- MANGE-RAJETZKY, M.A. & OBERHANSLI, R., 1982. Detrital lawsonite and blue sodic amphibole in the Molasse of Savoy, France and their significance in assessing Alpine evaluation. *Schweizerische Mineralogische und Petrographische Mitteilungen* 62, 415–436.
- MANGE-RAJETZKY, M.A. 1981. Detrital blue amphibole in Recent sediments, southern coast, Turkey. *Journal of the Geological Society, London*, 138, 83-92.
- MEADE, R.H.; NORDIN, C.F., JR.; CURTIS, W.F.; COSTA RODRIGUES, F.M.; DO VALE, C.M. and EDMOND, J.M. 1979. Sediments loads in the Amazon River. *Nature*, v. 278. p. 161-163.
- MELO, A.F.F.; VILLAS BOAS, P.F. 1993. Caracterização e distribuição da Formação Içá na porção noroeste do Estado do Amazonas. *Simpósio de Geologia da Amazônia, 4. Boletim de Resumos Expandidos. Sociedade Brasileira de Geologia – Núcleo Norte*, 210 – 211.
- MILNER, H.B. Supplement to introduction to sedimentary petrography, 157 p. London Murby 1926. In: PETTIJOHN, F.J.; POTTER, P.E.; SIEVER, R. *Sand and Sandstone*. Springer-Verlag. New York, Heidelberg, Berlin. 1973. Chapter 4. Sedimentary Structures and Bedding. Pp102-143.

- MIRANDA, J. 1938. Reconhecimento geológico no Alto Ouro Preto e rio Branco. Boletim do Serviço de Fomento da Produção Mineral, Rio de Janeiro, (26):121-25. In: BEZERRA, P.E.L. 2003. Compartimentação Morfotectônica do Interflúvio Solimões-Negro. Tese de doutorado, Centro de Geociências – Universidade Federal do Pará. p. 41-59.
- MORAES REGO, L.F. de. 1930. Notas sobre a geologia do Território do Acre e da bacia do Javary. Manaus, C. Cavalcante, 45p. In: BEZERRA, P.E.L. 2003. Compartimentação Morfotectônica do Interflúvio Solimões-Negro. Tese de doutorado, Centro de Geociências – Universidade Federal do Pará. p. 41-59.
- MORTON, A. C. 1991. Geochemical studies of detrital heavy minerals and their application to provenance research. In: MORTON, A.C.; TODD, S.P; HAUGHTON, P.D.W. (Eds), Developments in Sedimentary Provenance Studies. Geological Society of London, special Publication, vol.57, p.31-46.
- MORTON, A.C. 1987. Influence of provenance and diagenesis on detrital garnet suites in the Forties sandstones, Paleocene, central North Sea. Journal of Sedimentology and Petrology, 57. 1027-1032. Abstract.
- MORTON, A.C. and HALLSWORTH, C.R. 1999. Process controlling the composition of heavy minerals assemblages in sandstones. Sedimentary Geology. 124, 3-29.
- MORTON, A.C., HALLSWORTH, C.R., 1994. Identifying provenance specific features of detrital heavy mineral assemblages in sandstones. Sediment. Geol. 90, 241–256.
- MORTON, A.C.; WHITHAM, A.G.; FANNING, C.M. 2005. Provenance of Later Cretaceous to Paleocene submarine fan sandstones in the Norwegian Sea and zircon age data. Sedimentary Geology, 182. p. 3-28.
- MORTON, A.C.1985. A new approach to provenance studies-electron microprobe analysis of detrital garnets from Middle Jurassic sandstones of the northern North Sea. Sedimentology. 32, 553-566.
- MOTTA, M.B.; SOARES, J.L.; PASSOS, R.O. 2007. Minerais pesados e fácies dos depósitos cenozóicos na comunidade Belo Monte, Canutama – AM. X Simpósio de Geologia da Amazônia. Porto Velho, Sociedade Brasileira de Geologia – Núcleo Norte, p. 298-301.
- NIXON, P.H. and G. HORNUNG. 1968. A new chromium garnet end member, knorringite, from kimberlite. Amer. Mineral., 53, 1833{1840.
- NIXON, P.H., O. VON KNORRING, and J.M. ROOKE. 1963. Kimberlites and associated inclusions of Basutoland: a mineralogical and geochemical study. American Mineralogy., 48, 1090{1132.
- NOGUEIRA, A. C. R.; ARAI, M.; HORBE, A. M. C.; HORBE, M. A.; SILVEIRA, R. R.; SILVA, J. S. & MOTTA, M. B. 2003. Influência marinha nos depósitos da Formação Solimões na região de Coari/AM: Registro da transgressão miocênica na Amazônia ocidental. In: Simpósio de Geologia da Amazônia. 8. Resumos.

- OLIVEIRA, A. I. de & CARVALHO, P.F. de. 1924. Estudos geológicos na fronteira com o Peru. Boletim do Serviço Geológico e Mineralógico, Rio de Janeiro, (8):53-76. In: BEZERRA, P.E.L. 2003. Compartimentação Morfotectônica do Interflúvio Solimões-Negro. Tese de doutorado, Centro de Geociências – Universidade Federal do Pará. p. 41-59.
- OLIVEIRA, A. I. de & LEONARDOS, O.H. 1943. Geologia do Brasil. 2ed. rev. atual. Rio de Janeiro, Serviço de Informação Agrícola, 813p. (Série Didática, 2). In: BEZERRA, P.E.L. 2003. Compartimentação Morfotectônica do Interflúvio Solimões-Negro. Tese de doutorado, Centro de Geociências – Universidade Federal do Pará. p. 41-59.
- OPPENHEIM, V. 1937. Geological exploration between upper Juruá river, Brazil, and middle Uvayali river, Peru. Bulletin of American Association of Petroleum Geologists, Chicago, 21 (1): 97-110. In: BEZERRA, P.E.L. 2003. Compartimentação Morfotectônica do Interflúvio Solimões-Negro. Tese de doutorado, Centro de Geociências – Universidade Federal do Pará. p. 41-59.
- ORTON, J. 1876. The Andes and the Amazon; or, across the continent of South America. 3ed. New York, Harper. 645p. In: BEZERRA, P.E.L. 2003. Compartimentação Morfotectônica do Interflúvio Solimões-Negro. Tese de doutorado, Centro de Geociências – Universidade Federal do Pará. p. 41-59.
- PARFENOFF, A.; POMEROL, C. and TOURENQ, J. 1970. Les minéraux en grains – Méthode d'étude et détermination, éditeurs MASSON ET C^{ie}, Paris, 6^e Ed. p. 500.
- PETTIJOHN, F.J.; POTTER, P.E.; SIEVER, R. Sand and Sandstone. Springer-Verlag. New York, Heidelberg, Berlin. 1973. Chapter 4. Sedimentary Structures and Bedding. Pp102-143.
- POLDERVAART, A. 1955. Zircon in rocks. 1. Sedimentary rocks. American Journal Science, v.253, p.433-461. In: SPEER, J.A. 1982. Zircon. Orthosilicates. Review Mineralogy. v.5, p.67-112.
- POLDERVAART, A. 1956. Zircon in rocks. 2. Igneous rocks. American Journal Science, v.254, p.521-554. In: SPEER, J.A. 1982. Zircon. Orthosilicates. Review Mineralogy. v.5, p.67-112.
- POLLACK, S.S. AND RUBLE, W.D. 1964. X-ray identification of ordered and disordered orthoenstatite. *American Mineralogy*, 49, 983-992.
- POTTER, P.E. & FRANZINELLI, E. 1985. Fraction analyses of modern river sand of rios Negro and Solimões, Brazil, Implications for the origin quartz-rich sandstones. RBG. 15 (1): 31-35.
- PUPIN, J. P. 1980. Zircon and granite petrology. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 73: 207 – 220.
- PUPIN, J.P. 2000. Granite genesis related to geodynamics from Hf-Y in zircon. *Transactions of the Royal Society of Edinburgh*, 91:245-256.

- PUPIN, J.P. and TURCO, G., 1972. Une typologie originale du zircon accessoire. Bull. Soc. Fr. Mineral. Cristall., 95: 348-359.
- ROELOFSEN, J.N. AND VEBLEN, D.R.1999. Relationships among zirconosilicates: examination by cathodoluminescence and transmission electron microscopy. *Minerology and Petrology*, 67:71-84.
- ROSSETTI, D. F.; TOLEDO, P. M. DE; GÓES, A. M. 2005. New geological framework for Western Amazônia (BRAZIL) and implications for biogeography and evolution. *Quaternary Research*. 63. p 78 – 89.
- SANTOS, J.O.S. 1984. A parte setentrional do Cráton Amazônico (Escudo das Guianas) e a bacia amazônica. In: BEZERRA, P.E.L. 2003. Compartimentação Morfotectônica do Interflúvio Solimões-Negro. Tese de doutorado, Centro de Geociências – Universidade Federal do Pará. p. 41-59.
- SABEEN, H.M., RAMANUJAM, N., AND MORTON, A.C. 2002. The provenance of garnet: constraints provided by studies of coastal sediments from southern India: *Sed. Petrology*, v, 152, p. 279-287.
- SENGUPTA, P. & RAITH, M. M. 2002. Garnet composition as a petrogenetic indicator: An example from a Marble-Calc-Silicate Granulite interface at Kondapalle, easte ghats belt, India: *American Journal of Science*, v. 302, p. 686-725
- SILVA, L.L. da. 1999. Um grave problema estratigráfico na região do Alto Solimões. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 6., Manaus. Boletim de Resumos Expandidos. Manaus, Sociedade Brasileira de Geologia – Núcleo Norte, 596p. p. 431-434.
- SILVA, L.L. da. 2001. Um grave problema estratigráfico na região do Alto Solimões. In: REIS, N. & MONTEIRO, M.A.S. (Coords.). Contribuições à Geologia da Amazônia. Manaus, Sociedade Brasileira de Geologia, 463p. p. 449-461.
- SILVEIRA, R.R. Cronoestratigrafia e Interpretação Paleoambiental dos Depósitos Mioceno da Formação Solimões, região de Coari. Dissertação de Mestrado. Departamento de Geociências. Universidade Federal do Amazonas, 2005.
- SPEER, J.A. 1982. Zircon. In: RIBBE, P.H. Orthosilicates. v. 5, ed. 2º, c. 3, p. 67-106.
- STEINMANN, G. 1929. Geologic von Peru. Heidelberg, Karl Winter, 448p. In: BEZERRA, P.E.L. 2003. Compartimentação Morfotectônica do Interflúvio Solimões-Negro. Tese de doutorado, Centro de Geociências – Universidade Federal do Pará. p. 41-59.
- STRNAD, L. AND MIHALJEVIČ, M. 2005. Sedimentary provenance of Mid-Devonian clastic sediments in the Teplá-Barrandian Unit (Bohemian Massif): U-Pb and Pb-Pb geochronology of detrital zircons by laser ablation ICP-MS. *Minerology and Petrology*, 84: 47-68.)
- STURM, R. 2004. Analisis of magmatic crystal growth by backscattered electron imaging. *Microscopy and Analysis*, 18(4):25-27.

- SUGUIO, K. 2003. Geologia sedimentar. ed. EDGARD BLUCHER LTDA, São Paulo, 1ª Edição. p. 400.
- VEGA, A.M.L. 2005. Reconstituição paleoambiental dos depósitos miocenos na região Centro oriental da Bacia do Solimões. 92p. Dissertação de Mestrado. Departamento de Geociências, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, Amazonas.
- VIATOR, D.B. 2003. Detrital tourmaline as an indicator of provenance: a chemical and sedimentological study of modern sand from the Black Hills, South Dakota. Louisiana, 85 p. Dissertação de Mestrado, Louisiana State University.
- WELTJE, G.J.; VON EYNATTEN, H. 2004. Quantitative provenance analysis of sediments: review and outlook. *Sedimentary Geology*, 171. p. 1-11.
- WHATE, S. 1996. Composition and zoning of garnet and plagioclase in Hasst Schist, northwest Otago, New Zeland: implications for progressive regional metamorphism. *New Zeland Journal of Geology and Geofysics*. n. 39, p. 515-531.
- YOKOYAMA, K., AMANO, K., TAIRA, A., SAITO, Y. 1990. Mineralogy of silts from the Bengal Fan. *Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project* 116, 59– 73.
- ZACK, T.; KRONZ, A.; FOLEY, S.F.; RIVERS, T. 2001. The role of rutile as a major carrier for the extended HFSE group (Nb, Ta, W, Sb and Mo) in high pressure rocks. *Eleventh Annual V.M. Goldschmidt Conference. Resume Extended*.
- ZACK, T.; KRONZ, A.; FOLEY, S.F.; RIVERS, T. 2002. Trace element abundance in rutile from eclogites and associated garnet mica schists. *Chemical Geology*, 184. p. 97-122.
- ZACK, T.; VON EYNATTEN, H.; KRONZ, A. 2004. Rutile geochemistry and its potencial use in quantitative provenance studies. *Sedimentary Geology*, 171. p. 37-58.