

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS**

**ESTUDO DE CONODONTES EM CARBONATOS
MARINHOS DO GRUPO TAPAJÓS, PENSILVANIANO
INFERIOR A MÉDIO DA BACIA DO AMAZONAS COM
APLICAÇÃO DE ISÓTOPOS DE Sr E Nd NESTE
INTERVALO**

ANA KARINA SCOMAZZON

**ORIENTADORA: Valesca Brasil Lemos
CO-ORIENTADOR: Carl B. Rexroad**

**BANCA EXAMINADORA: Dra. Ana Maria Pimentel Mizusaki
Dra. Tânia Lindner Dutra
Dra. Vera Maria Medina Fonseca**

**Tese de Doutorado apresentada como
requisito parcial para obtenção do Título
de Doutor em Geociências.**

Porto Alegre - 2004

Scomazzon, Ana Karina

Estudo de Conodontes em carbonatos marinhos do Grupo Tapajós, Pensilvaniano Inferior a Médio da Bacia do Amazonas com aplicação de isótopos de Sr e Nd neste intervalo. / Ana Karina Scomazzon - Porto Alegre : UFRGS, 2004.

[294 f.]. il.

Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Geociências. Programa de Pós-Graduação em Geociências, Porto Alegre, RS - BR, 2004.

1. Paleontologia. 2. Conodontes. 3. Pensilvaniano. 4. Bioestratigrafia. 5. Bacia do Amazonas. I. Título.

Catálogo na Publicação
Biblioteca do Instituto de Geociências - UFRGS
Renata Cristina Grün CRB10/1113

Sumário

DEDICATÓRIA.....	II
AGRADECIMENTOS.....	III
LISTA DE FIGURAS.....	VIII
LISTA DE TABELAS.....	XIII
ABREVIACÕES.....	XIV
RESUMO.....	XV
ABSTRACT.....	XVIII
1 – OBJETIVOS E GEOLOGIA DA ÁREA.....	2
1.1. INTRODUÇÃO.....	2
1.2. IMPORTÂNCIA DOS CONODONTES.....	5
1.3. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA ESTUDADA.....	5
1.4. OBJETIVOS.....	6
1.5. EVOLUÇÃO GEOLÓGICA DA BACIA DO AMAZONAS.....	8
1.5.1. Estratigrafia e Sedimentação.....	10
1.5.2. Os depósitos cíclicos do Pensilvaniano e sua ocorrência na Bacia do Amazonas.....	13
1.6. O Grupo Tapajós.....	15
1.6.1. Formação Monte Alegre.....	16
1.6.2. Formação Itaituba.....	17
1.6.3. Formação Nova Olinda.....	17
2 – CONODONTES E OUTROS FÓSSEIS DO PENSILVANIANO DA BACIA DO AMAZONAS.....	27
2.1. SÍNTESE DOS TRABALHOS REALIZADOS NA BACIA DO AMAZONAS COM BASE EM CONODONTES.....	27
2.2 CONODONTES EM OUTRAS BACIAS PALEOZÓICAS BRASILEIRAS.....	30
2.3 A FAUNA ASSOCIADA.....	31

3 – METODOLOGIAS DE TRABALHO.....	34
3.1. INTRODUÇÃO.....	34
3.2. PREPARAÇÃO DE AMOSTRAS PARA CONODONTES.....	35
3.2.1. Técnica convencional.....	35
3.2.2. Nova metodologia.....	36
3.3. PREPARAÇÃO DE AMOSTRAS PARA O ESTUDO DE ISÓTOPOS.....	39
4. SISTEMÁTICA PALEONTOLÓGICA.....	46
5 – ZONEAMENTO BIOESTRATIGRÁFICO PARA O PENNSILVANIANO COM BASE EM CONODONTES.....	74
5.1. INTRODUÇÃO.....	74
5.2. BIOZONAS DE CONODONTES DA AMÉRICA DO NORTE – MIDCONTINENT AMERICANO.....	75
5.2.1. O Morrowano na América do Norte.....	77
5.2.2. O Atokano na América do Norte.....	78
5.2.3. O Desmoinesiano-Missouriano-Virgiliano na América do Norte.....	79
5.3. ZONAS DE CONODONTES NO PENNSILVANIANO DA BACIA DO AMAZONAS.....	81
6 – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	91
7 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	95
8 – ANEXOS	
1. Scomazzon et al., A (submetido) Conodont biostratigraphy and paleoecology.....	118
2. Scomazzon & Lemos (submetido) <i>Diplognathodus</i> occurrence.....	148
3. Scomazzon et al., B (submetido) Sr and Nd isotopic signature.....	166
4. Lemos & Scomazzon (2001) Carboniferous biostratigraphy.....	207
5. Nascimento et al. (submetido) Conodont biostratigraphy of two calcareous quarries..	217

6. Moutinho et al. (submetido) Taphonomy and paleoecology of invertebrates.....250

APÊNDICES

1. Análises de Microsonda.....290
2. Análises de difração de raios-x.....292
3. Descrição das lâminas petrográficas – Pedreiras 1 e 2.....293

Lista de Figuras

Fig. 1.1 – Mapa de localização da Bacia do Amazonas. Modificado de Scomazzon (1999).....	19
Fig. 1.2 – Localidades e perfil litológico dos afloramentos estudados.....	20
Fig. 1.3 – Perfil dos poços coletados mostrando a seqüência litológica do Pensilvaniano na Bacia do Amazonas. Modificado de Matsuda (2003).....	21
Fig. 1.4 – Carta cronoestratigráfica da Bacia do Amazonas. Modificado de Milani & Zalán (1998).....	22
Fig.1.5 – Cronoestratigrafia de parte do Grupo Tapajós, com base em conodontes.....	23
Fig. 1.6 – Cronoestratigrafia de parte do Grupo Tapajós, com base em foraminíferos...24	
Fig. 1.7 – Cronoestratigrafia de parte do Grupo Tapajós, com base em palinomorfos....25	
Fig. 3.1 – Materiais utilizados na preparação das amostras.....	43
Fig. 3.2 – a) Separador magnético Frantz. b) Separação por líquidos pesados.....	44
Fig. 5.1 – Reconstituição paleogeográfica para o Pensilvaniano. Reconstrução paleogeográfica da América do Norte no Pensilvaniano e localização atual da Bacia do Amazonas. Modificado de Scotese et al. (1979), Boardmann II et al. (1990), Scomazzon et al. A (submetido).....	87

Fig. 5.2 – Biozonas de conodontes definidas para o Morrowano da América do Norte e correlacionadas com a Bacia do Amazonas. Modificado de Sweet (1988).....88

Fig. 5.3 – Biozonas de *Neognathodus* para o Pensilvaniano Inferior a Médio. Modificado de Lambert et al. (2001). Biozonas de *Idiognathodus* e *Streptognathodus* para o Pensilvaniano Superior. Modificado de Barrick & Heckel (2000).....89

Scomazzon et al. A (submetido)

Fig. 1 – Location map of the Amazonas Basin and studied area. Modified from Scomazzon (1999).....137

Fig. 2 – Stratigraphic distribution and inferred age of the Tapajós Group conodonts, and established conodont zone and subzone. Carboniferous chronostratigraphic subdivisions adapted from Heckel (2002).....138

Fig. 3 – A) Schematic block diagram showing an idealized paleoecological model. B) The sedimentary environments of the marine section of the Tapajós Group and their relationship to the sea level. Modified from Moutinho et al., submitted.....139

Fig. 4 – Stratigraphic sections of the Tapajós Group showing sampling levels of the wells and the outcrops constituting the conodont biostratigraphic reference section...140

Plate 1 – Ilustração da espécie *Idiognathodus*.....144

Plate 2 – Ilustração dos gêneros *Neognathodus*, *Adetognathus*, *Idioproniodus*, *Idiognathoides*, *Hindeodus* e *Diplognathodus*.....145

Scomazzon & Lemos (submetido)

Fig. 1. – Location map of the Amazonas Basin and studied area. Modified from

Scmazzon (1999).....161

Fig. 2 – International accepted biostratigraphic position of the studied conodonts in the Itaituba Formation. Thin lines indicate extension of the species known range. Thick lines indicate occurrence of the species in the Amazonas Basin in this paper. 1 – range according to von Bitter & Merrill (1990), 2 – range according to Bender (1980).....162

Fig.3 – Ilustração das espécies *Diplognathodus coloradoensis*, *D. orphanus*, *D. ellesmerensis*.....163

Scmazzon et al. B (submetido)

Figure 1 - Location map of the Amazonas Basin and studied area. Figure 3 shows the outcrop area. Modified from Scmazzon (1999).....198

Figure 2 - Stratigraphic Column of the Amazonas Basin with inferred age of the Tapajós Group and conodont zones. Modified from Milani and Zalán (1998).....199

Figure 3 - Sample material for isotope analysis. a. carbonate rock. b. Thin section of the carbonate rock. c. conodont CAI - color alteration index 1.5. d. S.E.M. of conodont (fossil real size 1mm). e. brachiopod. f. Thin section of the brachiopod. G. Itaituba outcrop area. The photo profile approximately 16 m height.....200

Figure 4 - $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ isotopic evolution curve during the Phanerozoic. The data presented herein correspond to the Pennsylvanian shaded area. Modified from Denison et al. (1994) and Veizer et al. (1999).....201

Figure 5 - E_{SW} evolution curve during the late Paleozoic. The estimate of the seawater with time.....201

Figure 6 - ENd evolution curve. **O** Panthalassa Ocean, + Other oceans, **X** Amazonas Basin data.....202

Figure 7 - ENd x TDM. Amazonas Basin data: long dashed lines – carbonates; thick continuous lines – conodonts; short dashed lines - brachiopods.....203

Lemos & Scomazzon (2001)

Figure 1 - Location map of the Amazonas Basin. Modified from Lemos (1990).....210

Fig. 2 – Part of the chronostratigraphic chart of the Amazonas Basin. Modified from Cunha et al. (1994).....211

Fig. 3 – Gama-ray, lithology and conodont distribution in the well CA-1-AM.....212

Fig. 4 – Gama-ray, lithology and conodont distribution in the well UI-2-AM.....213

Fig. 5 – Gama-ray, lithology and conodont distribution in the well PE-1-AM.....214

Nascimento et al. (submetido)

Fig. 1 – **a.** Location map of the Amazonas Basin, northern region of Brazil. **b.** Detail of the studied region showing location of quarry 1 and 2. **c.** Photograph of the quarry 1 profile. **d.** Photograph of the quarry 2 profile. Modified from Scomazzon (1999).....242

Fig. 2 – Ilustração dos gêneros *Neognathodus*, *Idiognathodus*, *Idiognathoides*, *Hindeodus* e *Diplognathodus*.....243

Figure 3 - Quarries profile with conodont zonation. Profile modified from Matsuda (2003).....244

Figure 4 – Quarry 1 and 2 profiles describing the lithologies, conodonts and associated fauna. Modified from Moutinho *et al.* (submitted).....245

Moutinho et al. (submetido)

Fig. 1 – Location map of the Amazonas Basin, northern region of Brazil.....281

Fig. 2 – Stratigraphic Chart of the Late Palaeozoic of the Amazonas Basin.....282

Fig. 3 – Lithologic column for Quarry I and Quarry II.....283

Fig. 4 – Schematic diagram showing suggested paleobathymetric distribution of the ichnogenera observed on Itaituba Formation.....284

Fig. 5 – Schematic diagram showing an idealized facies model, the sedimentary environments and their relationship to the sea level for the Itaituba Formation.....285

Fig. 6 – 9 – Studied invertebrates of Itaituba Formation.....286

Fig. 10 – Hypothetical sequence generating defined time averaged assemblage.....287

Fig. 11 – Schematically block diagram showing major facies suggested for Itaituba Formation.....288

Lista de Tabelas

Scomazzon et al. A (submetido)

Table 1. Conodonts distribution on 18 wells and 3 outcrops studied.....	141
---	-----

Scomazzon et al. B (submetido)

Table 1. Sr isotopic data and sample information.....	204
---	-----

Table 2. Nd isotopic data and sample information.....	205
---	-----

Nascimento et al. (submetido)

Table 1. Conodont distribution in the quarry 1.....	246
---	-----

Table 2. Conodont distribution in the quarry 2.....	247
---	-----

Abreviações

IAC – Índice de Ateração de Cor	non pl. – sem estampa (<i>plate</i>)
p. – página	cf. – confer
Fig. (s) – Figura (s)	aff. – affins
Ma – milhões de anos	I. – <i>Idiognathodus</i>
spp. – espécies	S. – <i>Streptognathodus</i>
sp. – espécie	Id. – <i>Idiognathoides</i>
n. sp. – nova espécie	N. – <i>Neognathodus</i>
OD – designação original	R. – <i>Rhachistognathus</i>
(<i>partim</i>), <i>nom subst. pro</i> – nome proposto para substituir um homônimo junior	A. – <i>Adetognathus</i>
pl. – <i>plate</i> (= estampa)	D. – <i>Diplognathodus</i>
non – não	# - testemunho
cf – conforme	IG – Instituto de Geociências
ml - mililitros	CME – Centro de Microscopia Eletrônica
L - litros	ETR – elementos terras raras
kg - quilogramas	Sr – estrôncio
g - gramas	Nd – neodímio
HCL – ácido clorídrico	Rb – rubídio
HF – ácido fluorídrico	Sm - samário
HNO – ácido nítrico	K – Ar – potássio – argônio
N - normal	m – metro
	km - quilômetro

Resumo

Esta tese foi desenvolvida com material coletado na região sul e oeste da Bacia do Amazonas. No oeste, foram coletadas amostras de rochas carbonáticas em 18 poços perfurados pela PETROBRÁS, perfilados de NW a SE, abrangendo a plataforma norte, calha central e plataforma sul da bacia. Na região sul foram coletadas amostras em um afloramento na beira do Rio Tapajós e em duas pedreiras de calcário, exploradas pela Companhia Agroindustrial de Monte Alegre – CAIMA. Nesta região aflorante estão expostos os depósitos carbonáticos marinhos iniciais e os extensos depósitos carbonáticos de mar raso de infra-maré do Pensilvaniano na Bacia do Amazonas.

O Pensilvaniano, nesta bacia, é representado pelo Grupo Tapajós, que inclui as Formações Monte Alegre, Itaituba, Nova Olinda e Andirá. Os conodontes estudados foram encontrados nestas formações com exceção da Formação Andirá, por ser representada por depósitos continentais do final do Pensilvaniano. O Grupo Tapajós é caracterizado por um ciclo transgressivo – regressivo de 2ª ordem, com depósitos de arenitos eólicos e fluviais na base, sobrepostos por calcários de infra-maré, foco deste trabalho, evaporitos de planície de sabkha e os *red beds* continentais que marcam o encerramento deste ciclo.

Considerando a evolução geológica da Bacia do Amazonas, desde o Ordoviciano ao Recente, é no Pensilvaniano que estão os mais espessos depósitos de ambiente marinho, representados por pacotes carbonáticos que podem ser rastreados por toda bacia. Estes carbonatos compõem os depósitos da Formação Itaituba. Esta formação, no contexto da bacia, é a que possui o mais abundante registro de micro e microfósseis, com uma rica fauna de conodontes, foraminíferos, palinóforos, fragmentos de peixe, braquiópodes, trilobitas, crinóides, corais, briozoários, gastrópodes, bivalvos e outros não tão abundantes como ostracodes, espículas de esponja, escolecodontes e raros cefalópodos. Estes organismos vem sendo estudados desde o século XIX com objetivos taxonômicos, paleoecológicos, bioestratigráficos e mais recentemente na busca de informações tafonômicas.

Os microfósseis tem sido utilizados para estabelecer e refinar a cronoestratigrafia destes depósitos do Grupo Tapajós. As estimativas de idade fornecidas por conodontes, foraminíferos fusulinídeos e palinórfos são, contudo, relativamente controversas. Além dos microfósseis, isótopos de Sr e Nd em rochas e fósseis vem sendo recentemente utilizados para auxiliar na estimativa destas idades.

Neste trabalho, foram analisados conodontes dos estratos superiores da Formação Monte Alegre, da Formação Itaituba e dos estratos inferiores da Formação Nova Olinda. Devido às condições ambientais não favoráveis tanto nos primeiros depósitos carbonáticos, relativos a Formação Monte Alegre, quanto nos últimos depósitos carbonáticos, referentes à Formação Nova Olinda, os conodontes não são abundantes nem diversificados nestes estratos. Por outro lado, na Formação Itaituba obteve-se os melhores resultados para estes microfósseis.

De acordo com os conodontes estudados, foram estabelecidas as seguintes biozonas: *Idiognathoides sinuatus* e *Neognathodus roundyi* na base da Formação Itaituba, sugerindo idade Atokana para estes estratos e *Idiognathodus incurvus* e subzona *Diplognathodus coloradoensis*, abrangendo a Formação Itaituba e base da Formação Nova Olinda, sugerindo idade Atokana – eodesmoinesiana para estes depósitos.

Para a Formação Monte Alegre não foi possível sugerir biozonas de conodontes devido à raridade de espécies encontradas. Contudo, com a ocorrência, nestes estratos basais, de *Neognathodus symmetricus*, espécie diagnóstica do Morrowano, foi possível delinear o limite Morrowano – Atokano, materializado pelo marco M-65A.

Assim, através dos conodontes sugere-se que a Formação Monte Alegre tem idade Morrowana. A Formação Itaituba tem início no neomorrowano e seu limite superior está entre o Atokano e eodesmoinesiano. Os conodontes analisados na Formação Nova Olinda também tem sua ocorrência do Atokano ao eodesmoinesiano.

Os conodontes das bacias brasileiras mostram afinidades com os conodontes das bacias norte-americanas e por este motivo, tem sido utilizada a denominação dos estágios/andares de acordo com a classificação norte-americana. Porém, estas duas faunas ocorrem em contextos paleogeográficos e paleoclimáticos relativamente diversos devido a diferenças de paleolatidade, com depósitos de carvão na América do Norte e

evaporitos nas bacias do norte do Brasil. Contudo, a semelhança desses organismos nestas duas regiões sugere que as províncias norte-americanas e do norte do Brasil estiveram ligadas por um mar antigo, provavelmente conectado pelo Oceano Panthalassa. Por outro lado, dados isotópicos mostram também uma afinidade com o Oceano Tethys, sugerindo que a Bacia do Amazonas tenha sido banhada por águas de ambos oceanos, durante o Pensilvaniano.

Abstract

This study was undertaken with samples from south and western region of Amazonas Basin. Eighteen wells drilled by PETROBRAS were collected in the western region, related to the north, south and central area. Outcrop samples were collected in the south region along the Tapajós River and in two calcareous quarries owned by the Monte Alegre Cement Industry - CAIMA. In this region are exposed the firsts marine carbonatic deposits of the Pennsylvanian of Amazonas Basin.

The Pennsylvanian, in the Amazonas Basin, is represented by the Monte Alegre, Itaituba, Nova Olinda and Andirá Formations. Conodonts have been found in these formations with exception of Andirá Formation, composed of continental deposits of Upper Pennsylvanian. The Tapajós Group is characterized by a 2th order transgressive – regressive cycle, with fluvial and eolian sandstones in the base, recovered by subtidal calcareous, the main focus of this study, which are overlain by sabkha evaporates. This cycle ends with the continental red beds of Upper Pennsylvanian and Permian.

According to the geological evolution of the Amazonas Basin, since Ordovician through Recent, during the Pennsylvanian were deposited the thickest strata of marine environment, traceable laterally across the basin. These carbonates comprise the Itaituba Formation deposits. This formation has the most abundant record of micro and macrofossils, with a rich fauna of conodonts, foraminifers, palynomorphs, fish fragments, brachiopods, trilobites, crinoids, bryozoans, gastropods, and bivalves, others not abundant as ostracodes, sponge fragments, scolecodonts and rare cephalopods. These organisms have been studied since the XIX century with taxonomic, paleoecological, biostratigraphical and more recently taphonomic purposes.

Microfossils have been widely used to establish and refine the chronostratigraphy of the Tapajós Group. Age estimations have been made on the basis of conodonts, foraminifers and palynomorphs, however they are controversial. Besides the microfossils, Sr and Nd isotope analyses have recently being done in rocks and fossils to help in the age estimations.

Herein were studied conodonts of the upper part of the Monte Alegre Formation, the Itaituba Formation and the lower part of the Nova Olinda Formation. Conodonts are neither abundant nor diverse in the first deposits, related to the Monte Alegre Formation and latter deposits of the Nova Olinda Formation due to the arid conditions. By the other hand, in the Itaituba Formation strata were observed the best results for these microfossils.

In relation to the studied conodonts were established the following biozones: *Idiognathoides sinuatus* e *Neognathodus roundyi*, to the base of Itaituba Formation, suggesting an Atokan age to these strata and, *Idiognathodus incurvus* and subzone *Diplognathodus coloradoensis*, related to the Itaituba and lower Nova Olinda Formation, suggesting an Atokan – early Desmoinesian age to these deposits.

Conodont biozones were not established to the Monte Alegre Formation by the scarcity of species found. However, with the occurrence of *Neognathodus symmetricus* in the basal strata, diagnostic of Morrowan age, was possible to suggest the Morrowan – Atokan limit, characterized by the M-65A marker.

Through the conodonts it is possible to suggest a Morrowan age to the Monte Alegre Formation. The Morrowan – Atokan limit lie in the lower strata of the Itaituba Formation. The deposition of this formation has begun during the late Morrowan and its upper limit lie between the Atokan – early Desmoinesian time. As well as the conodonts of the Nova Olinda Formation suggest an Atokan – early Desmoinesian age to this unit.

The Brazilian conodont faunas suggest an affinity with the North American ones, although with paleogeography and climate differences due to latitude, with coal deposits in North America and evaporites in the north Brazilian basins. Nevertheless, the similarities among conodonts in these two regions suggest that an ancient sea, probably connected by the Panthalassa Ocean, linked these provinces. However, isotopic data has also shown an affinity with the Tethys Ocean, suggesting that during the Pennsylvanian the Amazonas Basin were probably influenced by waters of both oceans.

1. OBJETIVOS E GEOLOGIA DA ÁREA

1.1. Introdução

Esta tese foi desenvolvida, de acordo com a nova modalidade do Programa de Pós-graduação em Geociências da UFRGS, na forma de artigos científicos. Foram desenvolvidos três artigos da aluna como primeira autora e três como co-autora. Além dos artigos, a tese conta com uma parte introdutória que abrange os seguintes capítulos:

No capítulo 1 faz-se uma breve apresentação dos conodontes e sua importância; os objetivos da tese; a geologia da Bacia do Amazonas de acordo com os trabalhos clássicos, com as principais informações sobre sua origem e evolução e o estabelecimento da estratigrafia e sedimentação da bacia, também conforme os estudos que vem sendo realizados.

Os depósitos carbonáticos estudados são muito ricos em fósseis, tanto em macro quanto em microfósseis. No capítulo 2 são apresentados os trabalhos realizados com objetivos bioestratigráficos e / ou taxonômicos com base em conodontes e são mencionados vários organismos encontrados associados aos conodontes ou organismos citados em outros trabalhos desenvolvidos na mesma região ou intervalo estratigráfico.

O capítulo 3 trata das metodologias utilizadas desde a coleta do material, preparação das amostras de rocha carbonática para obtenção dos conodontes e sua utilização nos estudos bioestratigráficos e as técnicas empregadas para as análises isotópicas.

Do material que foi coletado, preparado e triado, foi realizado um estudo para classificação taxonômica, base de todo desenvolvimento da tese, com observação das coleções tipo e comparação com vários espécimes da tese. Este trabalho de sistemática, com a ocorrência, descrição e discussão dos aspectos mais relevantes é abordado no capítulo 4.

O capítulo 5 trata de uma ampla revisão do zoneamento bioestratigráfico do Pensilvaniano com base em conodontes, estabelecida principalmente na América do Norte e as informações e possíveis comparações com a Bacia do Amazonas.

O capítulo 6 aborda as conclusões obtidas na tese e recomendações para futuros trabalhos.

No capítulo 7 estão as referências bibliográficas utilizadas para esta parte da tese.

Em anexo são apresentados os artigos científicos desenvolvidos durante a tese.

Artigo 1 – Scomazzon et al., A (submetido) - Conodont biostratigraphy and paleoecology of the marine sequence of the Tapajós Group (Pennsylvanian), Amazonas Basin, Brazil.

Este artigo trata da bioestratigrafia de conodontes, cujas amostras foram coletadas de vários poços localizados nas plataformas norte e sul e calha central da bacia, abrangendo, sempre que possível amostras das Formações Monte Alegre, Itaituba e Nova Olinda. Também foram utilizadas informações da região aflorante no sul da bacia, para complementação de dados importantes relativos aos estratos mais inferiores da Formação Itaituba.

Artigo 2 – Scomazzon & Lemos (submetido) - *Diplognathodus* occurrence in the Itaituba Formation, Amazonas Basin, Brazil.

O gênero *Diplognathodus* é um excelente guia do Pensilvaniano Médio, onde principalmente a espécie *Diplognathodus orphanus* é característica e ocorre somente no Atokano. Assim, o presente artigo discute a ocorrência desse gênero e apresenta pela primeira vez a ocorrência de *Diplognathodus ellesmerensis* no Pensilvaniano da Bacia do Amazonas.

Artigo 3 – Scomazzon et al., B (submetido) - Sr and Nd isotopic signatures of carbonates, conodonts and brachiopods of Early – Middle Pennsylvanian age of Amazonas Basin, Brazil: paleoseawater and paleotectonic constraints.

Este artigo aborda as primeiras análises de isótopos de Sr e Nd nos estratos marinhos das Formações Itaituba e Nova Olinda, através dos carbonatos, conodontes e braquiópodes. Foram analisadas amostras de poços e de afloramentos, procurando abranger as três áreas, plataformas norte e sul e calha central. Os dados obtidos são preliminares, mas o objetivo mais importante, que foi testar a metodologia adaptada para as circunstâncias locais e a resposta do material da Bacia do Amazonas, foi atingido.

Artigo 4 – Lemos & Scomazzon (2001)- Carboniferous biochronostratigraphy of the Amazonas Basin, Brazil, based on conodonts.

Este artigo apresenta três zonas de intervalo locais, estabelecidas em poços relativos às Formações Monte Alegre, Itaituba e porção inferior da Formação Nova Olinda. As zonas descritas são: i) *Rhachistognathus muricatus* / *Neognathodus symmetricus* (Morrowano), ii) *Diplognathodus orphanus* (Atokano) e iii) *Idiognathodus claviformis* / *Idiognathodus incurvus* (eodesmoinesiano).

Artigo 5 – Nascimento et al. - Conodont biostratigraphy of two calcareous quarries - lower Itaituba Formation, Atokan age, Amazonas Basin, Brazil.

Este artigo aborda o estudo de conodontes em duas pedreiras de calcário na plataforma sul da Bacia do Amazonas referente à porção inferior da Formação Itaituba. Duas zonas informais foram estabelecidas: i) *Idiognathoides sinuatus* e ii) *Neognathodus roundyi*. A presença de espécies como *Idiognathodus incurvus*, *Neognathodus atokaensis* e *Neognathodus roundyi*, sugerem uma idade Atokana para os estratos analisados.

Artigo 6 – Moutinho et al. - Taphonomy and Paleoecology of Invertebrates from the Carboniferous (Pennsylvanian) of the Itaituba Formation – Amazonas Basin, Brazil.

A região aflorante na borda sul da bacia, além de apresentar as melhores exposições de parte da Formação Itaituba, possibilita o estudo integrado de micro e macrofósseis. Esta região, principalmente as pedreiras de calcário exploradas pela CAIMA – Companhia Agroindustrial de Monte Alegre, vem sendo estudada por Scmazzon (1999) e Nascimento et al. (submetido) pela ocorrência de conodontes e a possibilidade de aplicações bioestratigráficas que estes microfósseis permitem. Em paralelo, pela sua abundância em macrofósseis como braquiópodes, briozoários, crinóides e outros organismos marinhos, a fauna de invertebrados das mesmas pedreiras está sendo estudada por Moutinho, com dados apresentados em Moutinho et al. (submetido) com informações paleoecológicas e as primeiras discussões sobre a tafonomia de invertebrados nesta região. A contribuição da autora desta tese no artigo de Moutinho et al. (submetido) foi na coleta do material e discussão da geologia da bacia e dos depósitos carbonáticos da Formação Itaituba.

1.2. Importância dos conodontes

Conodontes são microvertebrados comuns no Paleozóico. Exclusivamente marinhos estes organismos são encontrados em depósitos marinhos do Cambriano ao Triássico. Estes microfósseis são potencialmente úteis para bioestratigrafia, sendo ótimos fósseis - guia durante a Era Paleozóica. Sua ampla ocorrência mundial e grande variação morfológica no tempo tornou-os excelente ferramenta no zoneamento bioestratigráfico do Paleozóico. São também, importantes indicadores das condições paleoecológicas do meio em que viviam e peça fundamental na discussão sobre a idade dos primeiros vertebrados.

Além disso, estudos recentes vêm utilizando os elementos conodontes para obtenção de dados isotópicos, principalmente de Sr e Nd, (Veizer et al., 1999). Estes estudos possibilitam a correlação, respectivamente, mundial e regional, dos mares paleozóicos; a obtenção de dados relativos à proveniência do Sr - se continental ou oceânica e a análise da composição química da água do mar para estudos paleoambientais e paleobiogeográficos.

Dentre as bacias paleozóicas brasileiras, quais sejam: Solimões, Amazonas, Parnaíba e Paraná, somente nesta última ainda não foram encontrados registros de conodontes. A Bacia do Amazonas é, até hoje, a mais estudada em conodontes, onde o Pensilvaniano, com os andares Morrowano, Atokano e Desmoinesiano, representados pelo Grupo Tapajós - Formações Monte Alegre, Itaituba e Nova Olinda, tem o maior enfoque, principalmente devido às condições ambientais mais favoráveis para ocorrência e preservação desses microfósseis.

1.3. Localização da área estudada

A Bacia do Amazonas é uma bacia sedimentar intracratônica que ocupa uma área de aproximadamente 500.000 km², com uma evolução geológica de cerca de 500 Ma. É situada na região norte do Brasil, entre os Estados do Pará e Amazonas. A seção sedimentar paleozóica é limitada por dois escudos Pré-Cambrianos, o das Guianas a norte e o de Guaporé ao sul do Cráton Amazônico (Tassinari & Macambira, 1999). A leste é separada da Bacia de Marajó pelo Arco de Gurupá e a oeste é separada da Bacia do Solimões pelo Arco de Purus (**Fig. 1.1**). A bacia é composta por rochas sedimentares

e vulcânicas com mais de 6.000 metros de espessura em sua região central. A sedimentação Carbonífera-Permiana contribui com mais da metade da deposição total da bacia (Milani & Zalán, 1998).

Em termos estruturais, a Bacia do Amazonas é dividida, a partir de feições geomorfológicas em subsuperfície, em três setores distintos, com uma configuração geral leste-oeste, sendo eles: Plataforma Norte, Plataforma Sul e Calha Central. Tais feições são consideradas por Gonzaga et al. (2000) como meio-grabens gerados durante a formação da bacia. As plataformas norte e sul correspondem às bordas da bacia e a calha central ocupa a região mais profunda, no centro da bacia. Ao longo das bordas norte e sul ocorrem rochas paleozóicas expostas. Na borda sul, principalmente ao longo do Rio Tapajós estão os afloramentos mais estudados em fósseis, pois registram uma rica fauna de macrofósseis, incluindo braquiópodes, briozoários, crinóides, corais, e microfósseis tais como conodontes, foraminíferos, palinórfos, dentes de peixe e escolecodontes.

A área estudada no presente trabalho compreende afloramentos e testemunhos de subsuperfície. Os afloramentos são localizados na plataforma sul da Bacia do Amazonas. Correspondem a duas pedreiras de calcário exploradas pela empresa CAIMA - Companhia Agroindustrial Monte Alegre, a 30 km a sudoeste da Cidade de Itaituba, e um afloramento na beira do Rio Tapajós, a aproximadamente 4 km a sudoeste da Cidade de Itaituba. Estes pontos são representativos da sedimentação carbonífera aflorante na plataforma sul da Bacia do Amazonas. Os testemunhos são relativos a perfurações de subsuperfície realizadas pela PETROBRAS, localizados nas plataformas norte e sul e na calha central da bacia.

1.4. Objetivos

A Bacia do Amazonas vem sendo estudada com objetivos biocronoestratigráficos desde a década de 70. Os trabalhos com esta ênfase utilizando conodontes, até agora desenvolvidos, são os de Lemos (1990a), Lemos & Medeiros (1996a), Neis (1996) e Scomazzon (1999). Assim, esta bacia com uma área de 500.000 km² e um pacote de rochas pensilvanianas de mais de 2000 m de espessura, tem muito ainda a ser pesquisado e refinado.

Desta forma, o objetivo principal desta tese é estabelecer o limite Morrowano – Atokano no Pensilvaniano da Bacia do Amazonas, baseado em conodontes, nos depósitos carbonáticos de água rasa do Grupo Tapajós, principalmente na região aflorante da plataforma sul da bacia, relativos a porção superior da Formação Monte Alegre (considerados como as primeiras ingressões marinhas do Grupo Tapajós) e porção inferior da Formação Itaituba. Ainda, tentar estabelecer o limite Atokano – Desmoinesiano, considerado inicialmente como provavelmente localizado entre os estratos superiores da Formação Itaituba e inferiores da Formação Nova Olinda.

Os estratos superiores da Formação Monte Alegre e os primeiros depósitos da Formação Itaituba (**Fig. 1.2a**), localizados em afloramentos à beira do Rio Tapajós (**Fig. 1.2 b, c**), na região sul da bacia, são exposições de rocha de fácil acesso em determinadas épocas do ano. Além destes, as pedreiras de calcário (**Fig. 1.2 d, e, f**), estratigraficamente localizadas acima dos estratos da Beira do Rio, nesta mesma região, são também de fácil acesso para descrição e coleta das rochas sedimentares. Assim, levando-se em consideração que nesta região estão as melhores exposições da base do Pensilvaniano da Bacia do Amazonas, o limite Morrowano – Atokano foi estudado principalmente nesta área por já se saber da ocorrência de conodontes, pela facilidade de acesso e disponibilidade de material.

Os estratos mais superiores da Formação Itaituba e aqueles da Formação Nova Olinda foram estudados através de perfurações de testemunhos de sondagem da PETROBRAS (**Fig. 1.3**), localizados principalmente na região central da bacia. Assim, o acesso a informação, descrição e obtenção de amostras para estudos deste intervalo, é limitado.

Contudo, para esta tese foram disponibilizadas amostras as quais também haviam sido cedidas ao geólogo da PETROBRAS Nilo Matsuda, que desenvolveu doutorado com objetivos estratigráficos e diagenéticos. Facilitando assim a obtenção das amostras e possibilitando o estudo para refinamento do limite Atokano - Desmoinesiano.

A aquisição de dados isotópicos em conodontes da Bacia do Amazonas, até então inédita na América do Sul, é outro importante objetivo da presente pesquisa. Para tanto, utilizou-se o método radiométrico $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ em conodontes, para o refinamento da curva de evolução isotópica do Sr em águas marinhas durante o Carbonífero, conforme os

trabalhos de Diener et al. (1996) e Qing et al. (1998), e a obtenção desta curva para o Pensilvaniano da Bacia do Amazonas. Além da utilização de isótopos de Sr, dados analíticos de $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ foram obtidos, com o objetivo de identificar variações locais na água do mar e proveniência dos sedimentos. Assim, buscou-se comparar os resultados obtidos com informações sobre a tectônica envolvendo, por exemplo, a Orogenia Herciniana¹, o aporte de sedimentos para a bacia e a configuração paleoambiental da bacia durante o Pensilvaniano. Neste caso, valores altos de Sr indicam predomínio de um ambiente com atividade tectônica e intemperismo, evidenciado pela influência de sedimentos continentais, enquanto valores baixos, indicam períodos de baixa atividade tectônica com predomínio de abertura oceânica (Denison et al., 1994).

As técnicas de isótopos de Sr e Nd foram aplicadas nos carbonatos, conodontes e braquiópodes da Formação Itaituba, pela predominância de carbonatos (que possuem altos teores de Sr), por já existirem estudos de cunho estratigráfico e bioestratigráficos, com bom controle taxonômico e ainda pela maior abundância em conodontes. Foram também selecionadas amostras de carbonatos e conodontes da Formação Nova Olinda. Porém devido à influência diagenética mais acentuada nesta formação, foi escolhido um número menor de amostras.

O conhecimento sobre os conodontes das bacias paleozóicas brasileiras contribui na obtenção de informações paleoclimáticas, paleoecológicas e bioestratigráficas, possibilitando correlacionar as pesquisas realizadas na América do Sul com os estudos da América do Norte e Europa, contribuindo no entendimento paleobiogeográfico do Pensilvaniano.

1.5. Evolução geológica da Bacia do Amazonas

A história geológica da Bacia do Amazonas inicia com a formação do Supercontinente Gondwana. Este supercontinente foi gerado no final do Pré-Cambriano, através da movimentação e colisão de placas tectônicas compostas pelas atuais placas da

¹ Orogenia Herciniana = cinturão de montanhas formado desde o Golfo do México até o leste da Europa. Devoniano-Permiano, como expressão tardia do cinturão Apalachiano (Windley, 1984 p. 200).

América do Sul, África, Madagascar, Índia, Antártica e Austrália (Scotese & Mckerrow, 1990). O Gondwana sofreu diversos tectonismos concomitantes a eventos vulcânicos, magmáticos e metamórficos, durante o Proterozóico superior e início do Fanerozóico. Tais movimentações deram início a uma subsidência tectônica onde se encontrava o Cráton Amazônico. Este evento de subsidência gerou o proto-rifteamento da Bacia do Amazonas, atualmente registrado pela sucessão sedimentar aluvial, fluvial e lacustre do Grupo Purus, no Proterozóico superior, que é o primeiro registro de rochas sedimentares da bacia (Milani & Zalán, 1998).

Com o cessar dos esforços tectônicos e o resfriamento das massas plutônicas no Cambriano-Ordoviciano (500-450 Ma), teve início a subsidência térmica regional e o desenvolvimento da “sinéclise intracontinental” da Bacia do Amazonas com sedimentação a partir do Ordoviciano superior, registrando três seqüências deposicionais paleozóicas.

Até a década de 80 esta bacia era conhecida como Bacia do Alto, Médio e Baixo Amazonas. Porém, com o desenvolvimento das pesquisas relativas à evolução tectônica e sedimentar de toda área abrangida por esta bacia, foi observado que a Bacia do Alto Amazonas registra uma história geológica distinta da área denominada como Médio e Baixo Amazonas. Com isso, a Bacia do Alto Amazonas hoje é denominada Bacia do Solimões e a região do Médio e Baixo Amazonas, com semelhante história geológica, é conhecida como Bacia do Amazonas propriamente dita (Cordani et al., 1984).

O substrato da Bacia do Amazonas é constituído por rochas metamórficas da Província Maroni-Itacaiúnas (Faixa Móvel no Proterozóico inferior) e pela Província Amazônica Central (área cratônica). As rochas da Província Maroni-Itacaiúnas apresentam lineamentos de direções WNW-ESE, compostos por seqüências meta-vulcânicas e metassedimentares intercaladas tectonicamente, deformadas e intrudidas por rochas granitóides do Ciclo Transamazônico (2.100 a 1.800 Ma). Já a Província Amazônica Central compreende rochas graníticas e seqüências vulcano-sedimentares pouco ou não deformadas, com idades absolutas de 1.800 Ma em granito (método K-Ar) relacionadas ao Proterozóico inferior a médio (1.800 a 1.400 Ma), conforme Cordani et al. (1984).

O registro sedimentar Fanerozóico da Bacia do Amazonas (**Fig. 1.4**) é composto por quatro seqüências deposicionais de 2^a. ordem (Cunha et al., 1994), sendo elas: i) seqüência Ordoviciano-Devoniana, relacionada ao Grupo Trombetas, com folhelhos marinhos, arenitos e diamictitos, depositados durante a glaciação do final do Ordoviciano e início do Siluriano; ii) seqüência Devoniana-Carbonífera, que compreende os Grupos Urupadi e Curuá, que incluem arenitos e folhelhos marinhos de água rasa do Devoniano inferior, seguidos por sedimentação glacial no Devoniano superior e continental no início do Carbonífero; iii) seqüência Permo-Carbonífera, pertencente ao Grupo Tapajós com sedimentação continental na base seguida por carbonatos e evaporitos e finalizando com *red beds* no topo da seqüência e iv) seqüência Cretácea-Terciária, marcada pelo Grupo Javari com intrusões de corpos vulcânicos.

A sedimentação paleozóica reflete os eventos tectono-magmáticos ocorrentes na bacia durante a Era Paleozóica, os quais provocaram movimentações epirogenéticas² intraplaca, resultando na formação de arcos e discordâncias regionais, além de controlarem as ingressões marinhas que influenciaram os ambientes deposicionais. Por sua vez, a sedimentação Cretácea-Terciária foi extensamente afetada por eventos vulcânicos relacionados à abertura do Oceano Atlântico e pela formação da Cadeia Andina.

1.5.1. Estratigrafia e Sedimentação

As primeiras rochas sedimentares paleozóicas ocorrem no Ordoviciano superior e Siluriano, sendo representadas pelo Grupo Trombetas, Formações: i) Autás-Mirim, com arenitos e folhelhos neríticos; ii) Nhamundá, com arenitos neríticos e depósitos glaciogênicos; iii) Pitinga, com folhelhos e diamictitos marinhos e iv) Manacapuru, com arenitos e pelitos neríticos e litorâneos. A deposição dessas rochas, segundo Cunha et al. (1994), ocorreu alternando sedimentos glaciais e marinhos com ingressões de leste para oeste, posicionando-se sobre o Arco de Purus, o qual impedia a conexão com a Bacia do Solimões (localizada a oeste da Bacia do Amazonas). Já no limite leste da Bacia do

² Epirogenéticos = movimentação de placas continentais (soerguimento ou depressão) como resultado de ajustes eustáticos (Leinz & Leonards, 1977).

Amazonas a sedimentação ultrapassou o Arco de Gurupá, conectando-se com as bacias do noroeste africano.

No Devoniano, após a discordância relacionada a Orogenia Caledoniana³, ocorreu um novo ciclo transgressivo-regressivo com sedimentação marinha e novas incursões glaciais, também sem conexão com a Bacia do Solimões mas que se estendeu até as bacias africanas. Esse ciclo abrange o Grupo Urupadi, Formações: i) Maecuru, com arenitos e pelitos neríticos e deltáicos e ii) Ererê, com siltitos, folhelhos e arenitos neríticos e deltáicos e o Grupo Curuá, Formações: i) Barreirinha, pacote de 250 metros de espessura de folhelhos negros de transgressão marinha global, considerado como registro de máximo paleobatimétrico da bacia; ii) Curirí, com diamictitos, folhelhos e siltitos de ambiente glacial; iii) Oriximiná, com arenitos e pelitos de ambiente fluvial regressivo e iv) Faro, com arenitos flúvio-deltáicos. No final desse ciclo, devido a Orogenia Eo-Herciniana, houve um recuo do mar e em consequência disso a bacia sofreu um extenso processo erosivo (Cunha et al., 1994).

Com o final da Orogenia Eo-Herciniana registrou-se um novo ciclo transgressivo-regressivo entre o Pensilvaniano e Permiano, associado a mudanças climáticas significativas de frio para quente e árido. Esse ciclo corresponde às rochas do Grupo Tapajós, foco desta tese: i) Formações Monte Alegre, com arenitos eólicos e rios de deserto (depósitos de wadis: rios sazonais), intercalados por siltitos e folhelhos de interdunas e lagos e delgados depósitos carbonáticos no topo. ii) Formação Itaituba, com espessos pacotes de calcários predominantemente de inframaré, intercalados com depósitos evaporíticos mais espessos em direção ao topo da formação. iii) Formação Nova Olinda, com evaporitos de planície de sabkha (planícies salgadas costeiras), depositados durante o final do Carbonífero. O Permiano é marcado pela Formação Andirá, que registra o final desse ciclo e é caracterizada por uma sedimentação continental, com siltitos, arenitos e folhelhos avermelhados com raros níveis de anidrita e calcário. Esses níveis evaporíticos indicam, segundo Szatmari et al. (1975) que as

³ Orogenia Caledoniana = nome dado por Eduardo Suess (que também sugeriu o nome do supercontinente Gondwana), ao cinturão de montanhas paleozóicas da Caledônia [Escócia], Irlanda, País de Gales, *Shetlands* e Escandinávia. Movimentação de placas continentais com efeitos globais iniciada no Siluriano (420 – 350 Ma), com “espasmos” no Devoniano (400 – 350 Ma) e menores episódios no Carbonífero (350 – 270 Ma). (Windley, 1984).

condições climáticas permaneciam as mesmas, mas o aumento do influxo detrítico continental era resultante do aumento do relevo causado pela Orogenia Tardi-Herciniana.

O final do Paleozóico e início do Mesozóico é marcado, na Bacia do Amazonas, pela Orogênese Gondwanide, relacionada à colisão dos continentes Laurussia e Gondwana. Em consequência desta colisão, esforços compressoriais de direção norte-sul provocaram fraturamentos e soerguimentos no embasamento, afetando a Bacia do Amazonas e originando uma discordância regional que se estende até a Bacia do Paraná, (Cunha et al., 1994).

Ainda no Mesozóico a bacia sofreu distensão na direção leste-oeste gerando fraturamentos regionais e um intenso magmatismo básico na forma de soleiras e enxames de diques de diabásio. A abertura de espaços preenchidos pelos diques de diabásio está relacionada ao final dos esforços Gondwanide no Permo-Triássico. Os diques básicos Juro-Triássicos ocuparam as fraturas originadas ou reativadas durante a separação das placas africana e sul-americana no rifteamento inicial que daria origem ao atual Oceano Atlântico (Cunha et al., 1994).

A abertura do Oceano Atlântico Norte, durante o início do Jurássico, foi responsável por um período de intenso magmatismo na região Amazônica, chamado Magmatismo Penatecaua. Este tectonismo pré-Cretáceo foi o maior causador da configuração atual dos sedimentos paleozóicos da Bacia do Amazonas. Este tectonismo causou grande soerguimento e erosão das bordas sul e norte, possibilitando o aparecimento da seção paleozóica em afloramentos nestas áreas e limitando os sedimentos cretáceos à porção central da bacia (Gonzaga et al., 2000).

Com o término dos esforços compressoriais, no final do Mesozóico, teve início um novo ciclo deposicional Cretáceo-Terciário registrado pelo Grupo Javari, Formações: i) Alter do Chão, com arenitos fluviais e ii) Solimões, composta por rochas pelíticas contendo restos de conchas de moluscos e vegetais. Por fim, a cobertura quaternária com sedimentos provenientes da cadeia de montanhas Andina, é a última unidade registrada na coluna estratigráfica da Bacia do Amazonas, (Cunha et al., 1994).

1.5.2. Os depósitos cíclicos do Pensilvaniano e sua ocorrência na Bacia do Amazonas

Segundo Ross & Ross (1985), durante o Carbonífero e Permiano, ocorreram transgressões/regressões marinhas em intervalos de 1 a 4 Ma em diversas plataformas cratônicas separadas, que sugerem uma lenta subida do nível do mar seguida por uma rápida queda relativa do nível do mar durante estes períodos. No final do Mississípiano e início do Pensilvaniano, hiatos maiores ocorreram em muitas plataformas, os clásticos tornaram-se comuns e os carbonatos raros. Muitas das faunas restantes do Mississípiano foram extintas e novas linhagens surgiram no Pensilvaniano e Permiano do mundo.

Wanless & Shepard (1936) foram os primeiros a propor que a alternância cíclica dos carbonatos e folhelhos do Pensilvaniano, ao longo do cinturão de afloramentos do Midcontinent (Iowa até Oklahoma) fosse resultante de amplas transgressões - regressões sobre a plataforma, em resposta a subida e descida relativa do nível do mar, causada pelas glaciações ocorridas no Gondwana. Heckel (1986) definiu estas movimentações verticais do nível do mar, através de carbonatos e folhelhos transgressivos e a cada ciclo deu o nome de ciclotema. O ciclotema básico do Midcontinent consiste da base para o topo de: 1) delgados carbonatos marinhos transgressivos; 2) delgados folhelhos negros, depositados em mar aberto (*offshore*), não arenosos, ricos em conodontes; 3) espessos carbonatos regressivos de raseamento (*shallowing upward*) e, 4) sedimentos continentais.

O termo ciclotema foi utilizado para definir a menor unidade cíclica das seqüências do Pensilvaniano. A palavra “ciclotema” designa uma série de camadas depositadas durante um simples ciclo sedimentar. Com a observação de que os ciclotemas se repetiam dentro de uma seqüência, tais como os pares de carbonatos/folhelhos ocorrentes no Kansas que se repetiam em ciclos definidos, foram propostos os termos mesotema e megaciclotema como conjuntos de ciclotemas.

Silva (1996) subdividiu a coluna sedimentar Pensilvaniana da Bacia do Amazonas com base nas superfícies deposicionais e nas espessuras dos ciclos, diferenciando classes hierárquicas e agrupando em cinco ordens diferentes. Tais ordens foram definidas como: i) superfície de primeira ordem – discordâncias regionais ou interregionais, relacionadas a grandes eventos tectônicos (Paleozóico); ii) superfície de

segunda ordem – discordâncias que limitam grandes ciclos deposicionais transgressivos-regressivos, limitados por eventos orogênicos de escala global. Neste caso, tais superfícies são aquelas que limitam a base da Formação Monte Alegre e topo da Formação Nova Olinda, que correspondem a sedimentação pensilvaniana da Bacia do Amazonas; iii) superfície de terceira ordem – superfícies de correlação regional, que limitam conjuntos de ciclos geneticamente relacionados. São superfícies que marcam importantes mudanças no arranjo interno dos ciclos (variações na espessura, composição litológica, mudança na fauna) e dividem a seção pensilvaniana em três intervalos bem definidos, denominados por Silva (1996) como: Sintemas I, II e III; iv) superfície de quarta ordem - subdivisão em intervalos menores das superfícies de terceira ordem (Mesotemas/Megaciclótemas) e, v) superfície de quinta ordem – superfícies que limitam os ciclos (ciclótemas) definidas na base pela superfície de inundação máxima – SIM e no topo por uma superfície de exposição subaérea nas áreas plataformais (lixiviação, brechamento de solo, dolomitização) ou uma superfície que marca uma fase de diluição das salmouras na calha central.

Matsuda (2003) estudando a região aflorante na plataforma sul da Bacia do Amazonas e correlacionando com determinados poços selecionados, conseguiu estabelecer com detalhes a reconstrução paleoambiental da plataforma carbonática da bacia durante o Pensilvaniano inferior, representada pelas Formações Monte Alegre e Itaituba. Este autor definiu ciclos de *shallowing upward* (raseamento para cima) em uma seção carbonática de 53 m de espessura a qual recobre 4,5 m de arenitos flúvio-deltáicos e é recoberta por 9 m de arenitos de intermaré. A seção completa, ou seja, envolvendo os depósitos arenosos e carbonáticos foi dividida pelo autor em 7 ciclos maiores (*long-term*) e 18 ciclos menores (*short-term*), estabelecidos como ciclos menores (*short-term*) dentro dos ciclos maiores (*long-term*). Os ciclos maiores são definidos na base por packstones ou mudstones de inframaré ou folhelhos e no topo por microfácies que denotam máximo raseamento, porém em um sistema ainda subaquoso, como camadas de mudstone dolomitizados.

Na Bacia do Amazonas, os ciclos do Morrowano superior ao Desmoinesiano correspondem as Formações Itaituba e Nova Olinda, respectivamente (Milani & Zalan, 1998). Cada ciclo (pulso transgressivo/regressivo) foi sugerido por Silva (1996) como

um ciclotema e ao conjunto de ciclos foi utilizado o termo megaciclotema - para transgressões rápidas e regressões lentas, e mesotema - para transgressões lentas e regressões rápidas, do nível de base do mar.

1.6. O Grupo Tapajós

O Pensilvaniano da Bacia do Amazonas foi subdividido por Caputo et al. (1971) em três formações, da base para o topo da seção, denominadas: Formações Monte Alegre, Itaituba e Nova Olinda. Caputo (1984) adicionou a Formação Andirá, com depósitos continentais, fechando o ciclo do Grupo Tapajós.

A idade destas formações vem sendo tentativamente estabelecida com base em conodontes (**Fig. 1.5**), foraminíferos (**Fig. 1.6**) e palinomorfos (**Fig. 1.7**). Os trabalhos em conodontes iniciaram com Fúlfaro (1965) e tiveram continuidade com Lemos (1990a, b; 1992a,b), Lemos & Medeiros (1996), Neis (1996), Scomazzon (1999), Lemos & Scomazzon (2001); Scomazzon et al. A (submetido) e Nascimento et al., (submetido). Os principais estudos em foraminíferos foram realizados por Altiner & Savini (1991, 1995) e em palinomorfos por Daemon & Contreiras (1971), Picarelli & Quadros (1991) e Playford & Dino (2000).

Estudos bioestratigráficos em conodontes tais como: Lemos (1990a) que definiu a zona *Neognathodus symmetricus* – *Rhachistognathus muricatus* e Scomazzon (1999) com a zona *Idiognathodus sinuosus* – *Rhachistognathus muricatus*, sugerem uma idade Morrowana para a Formação Monte Alegre. Análises palinológicas realizadas por Playford & Dino (2000), que definiram a palinozona *Spelaeotriletes triangulus*, sugerem uma idade Morrowana – Atokano médio para esta formação.

Já a idade da Formação Itaituba é mais controversa. Conodontes coletados na base da formação, como *Neognathodus symmetricus* e outros encontrados nas porções mais superiores como *Neognathodus roundyi* e *Idiognathodus incurvus* (Scomazzon et al., A submetido), sugerem que esta formação tenha sido depositada do neomorrowano ao eodesmoinesiano. Foraminíferos como *Millerella extensa*, *Millerella pressa* e *Eostaffella advena* (Altiner & Savini, 1995) sugerem idade neomorrowano ao Atokano médio. Palinomorfos como *Spelaeotriletes triangulus*, *Striomonosaccites incrassatus* e

Illinites unicus (Playford & Dino, 2000) sugerem uma idade do neomorrowano ao eodesmoinesiano, concordante com os dados de conodontes.

Para a Formação Nova Olinda, conodontes como *Neognathodus medadulims* e foraminíferos como *Fusulinella* sugerem idade neatokano ao eodesmoinesiano, porém as palinozonas *Striatosporites heyleri*, *Raistrickia cephalata* e *Vittatina costabilis*, definidas por Playford & Dino (2000) sugerem uma idade eodesmoinesiana ao Permiano, com uma lacuna de 20 Ma no registro palinológico, nesta formação.

Em contraste, estudos preliminares de Sr e Nd realizados por Scomazzon et al. B (submetido), em rochas carbonáticas, conodontes e braquiópodes nas Formações Itaituba e Nova Olinda, sugerem uma idade Morrowana – Atokana para essas formações. A Formação Andirá é considerada com base em palinologia como de idade neopermiana, contudo dados isotópicos de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ (Rodrigues et al., 1997) sugerem uma idade eopermiana para esta formação.

Pode-se assim observar que as controvérsias existem e a continuidade dos estudos bioestratigráficos em conodontes, nos estratos do Grupo Tapajós, são importantes para melhor estabelecer as idades de suas formações.

1.6.1. Formação Monte Alegre

Freydank (1957 in Caputo, 1984) foi o primeiro a utilizar informalmente o nome Formação Monte Alegre. Esta formação aflora na região sul da bacia em um local chamado Maloquinha, a 5 km a sudoeste da Cidade de Itaituba. A região aflorante tem aproximadamente 5 m de altura e se estende por 1 km ao longo do leito do Rio Tapajós. Em subsuperfície tem espessura máxima conhecida de 140 m, depositada como não conformidade sobre as unidades siliciclásticas do Mississípiano.

Seus depósitos são caracterizados por uma extensa seqüência de arenitos fluviais e eólicos, intercalados com siltitos e folhelhos de inter dunas e lagos, e carbonatos em direção ao topo da seção, os quais vem sendo considerados como marcadores das primeiras ingressões marinhas no Pensilvaniano da Bacia do Amazonas.

Caputo (1984) registra que esta formação é gradativamente recoberta pela Formação Itaituba, mostrando uma relação de transição entre as duas formações. Este autor defende que o limite entre as duas formações é dado na base de uma camada de

anidrita contínua e possível de ser rastreada por toda bacia. Contudo, Cunha et al. (1994) definem o topo da Formação Monte Alegre como o último pacote significativo de arenito anterior aos extensos pacotes carbonáticos da Formação Itaituba.

1.6.2. Formação Itaituba

De acordo com Caputo (1984), Hartt (1874) foi o primeiro a propor o nome Série Itaituba para definir as rochas carboníferas ao longo dos Rios Tapajós e Cupari, na plataforma sul da Bacia do Amazonas.

A Formação Itaituba varia em espessura, entre 110 m na região aflorante da plataforma sul e 420 m na porção central da bacia, nos poços perfurados. Esta formação marca o estabelecimento de amplas condições marinhas durante este intervalo. É constituída por intercalações de carbonatos e evaporitos, com folhelhos, siltitos e arenitos que representam depósitos transgressivo - regressivos de moderada energia e ambiente marinho raso de infra e inter-maré.

Os estratos da Formação Itaituba são os depósitos mais ricos em fósseis marinhos da Bacia do Amazonas, com uma afinidade com as faunas da América do Norte, principalmente na região do Midcontinent, Apalaches e Illinois. Dentre os fósseis já encontrados nesta formação estão conodontes, foraminíferos, corais, briozoários, crinóides, trilobitas, ostracodes, gastrópodes, braquiópodes, bivalvos, escolocodontes e fragmentos de peixe. Os folhelhos e siltitos por vezes contêm crustáceos e plantas, indicativos de depósitos salobros e de água doce.

O limite superior da Formação Itaituba é gradacional com a Formação Nova Olinda que a recobre. Playford & Dino (2000) sugerem que o limite entre estas duas formações está em uma camada de areia de 25 a 35 m de espessura que recobre camadas de anidrita ou calcário da Formação Itaituba.

1.6.3. Formação Nova Olinda

A Formação Nova Olinda é mais conhecida através de perfurações de poços em subsuperfície e é a unidade mais espessa do Grupo Tapajós, com mais de 1200 m de profundidade. Esta formação consiste de evaporitos (principalmente halita, anidrita e gipsita) e carbonatos intercalados com folhelhos cinza e marrom e siltitos de planície de

sabkha. O limite entre esta formação e a Formação Itaituba é baseado em critérios de subsuperfície na região central da bacia, onde ocorrem os espessos depósitos arenosos da Formação Nova Olinda. Seus depósitos se tornam cada vez mais evaporíticos em direção aos depósitos de topo. Os estratos carbonáticos possuem fósseis marinhos semelhantes aqueles da Formação Itaituba, contudo, a fauna se torna empobrecida em termos de abundância e diversidade. As características faunísticas e litológicas indicam a ocorrência de uma fase regressiva que progride desde os estratos superiores da Formação Itaituba, culminando em um ambiente restrito e árido que caracteriza a Formação Nova Olinda.

O contato com os *red beds* da Formação Andirá é considerado gradacional, mas de acordo com Silva (1996) é possível que exista um grande hiato temporal entre estas duas formações. Este autor comenta a ocorrência de *Fusulinella*, *Fusulina* e *Bradyina* spp. próximo ao topo da Formação Nova Olinda, as quais posicionam a unidade ainda no Desmoinesiano. Contudo dados palinológicos próximos à base da Formação Andirá, com a ocorrência de *Lueckisporites virkkae* sugerem idade correspondente ao neopermiano. Portanto, serão necessários trabalhos adicionais para melhor esclarecer essa questão.

A Formação Andirá é a unidade mais superior do Grupo Tapajós. Registra os primeiros sedimentos continentais permianos da Bacia do Amazonas, com depósitos clásticos relacionados por Milani & Zalán (1998) ao final da Orogenia Herciniana.

Assim, o ciclo Permo-Carbonífero, representado pelo Grupo Tapajós, inicia com os depósitos de dunas eólicas da Formação Monte Alegre relacionados à Orogenia Eo-Herciniana; gradando para um contexto ambiental mais estável representado pelos extensos e espessos carbonatos de infra-maré da Formação Itaituba. A mudança climática que já vinha ocorrendo desde o Mississippiano, de frio para cada vez mais árido e quente, acarretou no ressecamento do ambiente marinho, dando lugar aos espessos pacotes evaporíticos da Formação Nova Olinda e culminando com os depósitos continentais da Formação Andirá.

2. CONODONTES E OUTROS FÓSSEIS DO PENNSILVANIANO DA BACIA DO AMAZONAS

2.1. Síntese dos trabalhos realizados na Bacia do Amazonas com base em conodontes

Dentre as bacias Paleozóicas brasileiras, quais sejam: Amazonas, Solimões, Parnaíba, Acre e Paraná, somente nesta última não se encontrou registro de conodontes. A Bacia do Amazonas é, até hoje, a mais estudada em termos de conodontes, onde o Pensilvaniano, andares Morrowano - Atokano – Desmoinesiano, tem o maior enfoque, principalmente devido as condições ambientais mais favoráveis para ocorrência e preservação desses organismos.

O primeiro trabalho sobre conodontes no Brasil foi publicado por Fúlvaro (1965), que descreveu conodontes em afloramentos do Rio Tapajós, na Bacia do Amazonas (Estado do Pará), e datou rochas sedimentares descritas como Carboníferas (Pensilvaniano médio), com base em *Idiognathodus cf. acutus* Ellison.

Ainda na década de 60, Araújo & Rocha-Campos (1969) estudaram quatro testemunhos de sondagem, correspondentes a calcários da Formação Itaituba e, através dos conodontes, indicaram período Carbonífero (Pensilvaniano) para essas rochas.

Tengan et al. (1976), ao estudarem conodontes das Formações Itaituba e Nova Olinda, encontraram gêneros plataformados tais como: *Cavusgnathus*, *Idiognathodus*, *Gnathodus* e *Streptognathodus* que foram considerados como os mais importantes do ponto de vista bioestratigráfico, tendo sido utilizados para comparar com conodontes de idade eo-mesopensilvaniana dos Estados Unidos, respectivamente Morrowano e Atokano. Além de dados bioestratigráficos mais precisos, aqueles autores ainda fizeram inferências paleoecológicas, relacionando a fauna encontrada a um ambiente marinho de águas rasas e quentes.

Na década de 80, Rocha-Campos & Archangelsky (1986) publicaram trabalho sobre rochas de idade Carbonífera, na América do Sul. A região onde hoje se localiza o território brasileiro seria, à época do Carbonífero, dividida em dois domínios, quais sejam: Tethyano e Gondwana. A Bacia do Amazonas estaria no domínio Tethyano, onde

as faunas incluem espécies comparáveis ou até mesmo iguais àquelas encontradas no Midcontinent Americano. Ainda, registram que a seção carbonífera da Bacia do Amazonas compreende rochas sedimentares assinaladas ao Mississipiano (Formação Faro) e Pensilvaniano (Formações: Monte Alegre, Itaituba e Nova Olinda). A fauna de conodontes da Formação Itaituba é rica e diversificada, porém, até o ano de 1986, ainda não descrita satisfatoriamente.

O estudo do Índice de alteração de cor em conodontes (**IAC**), foi efetuado pela primeira vez no Brasil, por Rocha-Campos et al., (1988). O IAC foi determinado em amostras de subsuperfície e de afloramentos das Formações Monte Alegre, Itaituba e Nova Olinda. Com os dados obtidos foi construído um mapa de IAC obtendo-se valores entre 1 a 5 (*cf.* classificação de Epstein et al., 1977), com incremento do índice das margens para o centro da bacia. Tal variação pode ter sido causada pelo soterramento do pacote sedimentar Paleozóico, atualmente, em parte erodido. Porém, essa variação do IAC, foi atribuída principalmente ao extenso magmatismo básico ocorrente na bacia durante o Mesozóico.

Lemos & Medeiros (1989) estudaram conodontes encontrados em carbonatos marinhos de fase transgressiva e salinidade normal, da Bacia do Amazonas. Observaram que esses microfósseis ocorriam somente nessas fases transgressivas, diminuindo em direção a parte superior da seqüência carbonífera e estavam ausentes nas fases regressivas, ocasionadas pela tendência da bacia ao isolamento e à precipitação de evaporitos. Com base nos conodontes *Rhachistognathus muricatus*, *Neognathodus symmetricus* e *Idiognathodus suberectus*, inferiram idade Morrowana para o topo da Formação Monte Alegre e base da Formação Itaituba e com base em *Diplognathodus orphanus* – *Diplognathodus coloradoensis*, associados a *Idiognathodus magnificus*, estipularam idade Atokana para a porção média-superior da Formação Itaituba.

Na década de 90, os trabalhos com conodontes foram iniciados com Lemos (1990a; b), estudando as seqüências carboníferas das Bacias do Amazonas e Solimões. Através dos conodontes, a autora estabeleceu três biozonas para a seção carbonífera, sendo elas: zona de *Neognathodus symmetricus*/*Rhachistognathus muricatus* (Formação Monte Alegre e parte inferior da Formação Itaituba; idade Morrowana); zona de *Diplognathodus orphanus* / *Diplognathodus coloradoensis* (parte média e superior da

Formação Itaituba; idade Atokana) e zona de *Streptognathodus elongatus* / *Idiognathodus ellisoni* (base da Formação Nova Olinda; idade Virgiliana).

Estudos taxonômicos em conodontes, referentes à Bacia do Amazonas e Solimões, foram realizados em Lemos (1992a; b), estabelecendo que os estratos analisados, de acordo com as associações encontradas, seriam do Pensilvaniano.

Lemos & Medeiros (1996a) realizaram um estudo em conodontes encontrados em amostras de subsuperfície da Bacia do Amazonas, com o intuito de obter dados biocronoestratigráficos para o possível reconhecimento do limite Morrowano/Atokano na referida bacia. Através das formas encontradas, foram estabelecidas duas zonas de associação relacionadas ao Pensilvaniano, sendo elas: zona de *Neognathodus symmetricus*/ *Rhachistognathus muricatus* (Formação Monte Alegre e parte inferior da Formação Itaituba; idade Morrowana); zona de *Diplognathodus orphanus* / *Diplognathodus coloradoensis*, associados a *Idiognathodus magnificus* (Formação Itaituba; idade Atokana). Assim, observaram que o limite Morrowano/Atokano, na Bacia do Amazonas, encontra-se na porção inferior da Formação Itaituba.

Lemos & Medeiros (1996b) realizaram um estudo baseado em conodontes do Carbonífero inferior (Chesteriano), na Bacia do Amazonas, atribuídos ao intervalo basal da Formação Itaituba. Foram identificadas as espécies: *Gnathodus bilineatus*, *Lochriea mononodosa* e *Gnathodus girtyi*. Através destas espécies, típicas do Mississipiano, encontradas na região do Rio Tapajós, os autores inferiram que provavelmente as primeiras transgressões carboníferas não foram provenientes da região do Solimões, devido a esse material Chesteriano não ser encontrado próximo ao Arco de Purus.

Duas novas biozonas foram estabelecidas por Neis (1996) para a Formação Itaituba, sendo elas: *Rhachistognathus muricatus* / *Idiognathoides ouachitensis* (idade Morrowana) e *Diplognathodus* spp. (idade Atokana), importante colaboração no refinamento do zoneamento bioestratigráfico desta bacia.

Silva (1996) utilizou, entre outras ferramentas, foraminíferos, palinórfos e conodontes para o estudo da ciclicidade sedimentar do Pensilvaniano na Bacia do Amazonas. Silva & Lemos (1996), com base nos conodontes, fizeram um estudo sobre os ciclos sedimentares observados na Formação Itaituba. Através do moderno conceito de estratigrafia cíclica, os conodontes e fusulinídeos posicionaram o terço inferior da

Formação Itaituba (Sintema I, *cf.* Silva, 1996) no Morrowano e o terço médio-superior da mesma formação no Atokano (Sintema II, *cf.* Silva, 1996).

Scomazzon (1999) definiu três zonas de intervalo local para a Formação Itaituba, em afloramentos da plataforma sul da Bacia do Amazonas: i) *Idiognathodus sinuosus* - *Rhachistognathus muricatus* – para o neomorrowano, ii) *Idiognathodus klapperi* - *Streptognathodus parvus* - para o neomorrowano - Atokano e iii) *Idiognathodus claviformis* - *Idiognathodus incurvus* para o eodesmoinesiano. Estas três zonas de intervalo propostas ocorrem dentro da Formação Itaituba.

Nascimento et al. (submetido) estudando depósitos carbonáticos de ambiente marinho raso, referentes à porção basal da Formação Itaituba, em duas pedreiras na região sul da Bacia do Amazonas, estabeleceu duas zonas de amplitude concorrente (*concurrent amplitude zone*), com base em conodontes: i) *Idiognathoides sinuatus* e ii) *Neognathodus roundyi*. Aos estratos analisados foi sugerida idade Atokana.

Scomazzon et al. A (submetido) estudando testemunhos de sondagem perfurados nas plataformas norte, sul e calha central e afloramentos na região sul da Bacia do Amazonas estabeleceu uma zona e uma subzona de amplitude de taxon (*taxon-range zone*) para os estratos analisados: i) *Idiognathodus incurvus* e ii) *Diplognathodus coloradoensis*. Estas zonas são reconhecidas em estratos da Formação Itaituba e Nova Olinda, aos quais foi sugerida idade Atokana – eodesmoinesiana para estes depósitos.

2.2. Conodontes em outras Bacias Paleozóicas Brasileiras

Além da Bacia do Amazonas, os conodontes já foram estudados, em menores proporções, em outras bacias paleozóicas brasileiras como a Bacia do Parnaíba, Solimões e Acre.

Campanha & Rocha-Campos (1979) publicaram trabalho sobre microfósseis da Formação Piauí, apresentando, pela primeira vez, conodontes da Bacia do Parnaíba. A partir de gêneros como *Cavusgnathus*, *Idiognathodus* e *Gnathodus*, encontrados na fácies calcária da Formação Piauí, estipularam período Carbonífero (eo-mesopensilvaniano), para a seção examinada, correlacionando-a com conodontes da Formação Itaituba (Bacia do Amazonas). Principalmente devido à presença do gênero

Cavusgnathus atribuíram, aos calcários estudados, condições de deposição em ambiente marinho raso e mesmo de intermaré, com energia e salinidade variável.

Hünicken et al. (1987), publicaram o primeiro trabalho sobre conodontes do Devoniano na Bacia do Solimões, Formação Barreirinha, na época ainda designada como Bacia do Alto Amazonas. De acordo com a associação de *Cryptotaxis* e abundante fauna de quitinozoários, foi estimada idade Neodevoniana para os folhelhos estudados. Ainda nesse mesmo ano, Rocha-Campos & Lemos (1987) publicaram trabalho sobre a distribuição e o significado bioestratigráfico de assembléias de conodontes da América do Sul.

Os conodontes da Bacia do Acre foram tratados em Lemos & Silva (1996). Os elementos estudados correspondem à espécie *Sweetognathus whitei*, obtidos em carbonatos micríticos regressivos. Esta espécie posiciona a plataforma carbonática, onde foram encontrados, no Permiano (Sakmariano/Artinskiano).

Estes foram os trabalhos baseados nos conodontes até hoje encontrados nas bacias paleozóicas brasileiras.

2.3. A Fauna associada

Além dos conodontes, outros fósseis relacionados à fauna e flora Fanerozóica da Bacia do Amazonas, tais como: braquiópodes, bivalvos, gastrópodes, trilobitas, moluscos, equinóides, briozoários, corais, ostracodes, palinórmorfos, fusulinídeos, escolecodontes, peixes, entre outros, vem sendo estudados.

Os primeiros registros fossilíferos da Bacia do Amazonas ocorreram no século XIX e as publicações, principalmente relacionadas ao Devoniano e Carbonífero, trazem informações muito superficiais, mas não deixam de ter relevada importância pelo simples fato de terem sido as primeiras. Assim, a primeira notícia de fósseis carboníferos da Bacia do Amazonas foi de Coutinho (1862, *in* Vasconcellos, 1992), coletados em calcários na margem do Rio Tapajós. Derby (1874) estudou braquiópodes em rochas calcárias também do Rio Tapajós. Rathbun (1878) descreveu trilobitas, moluscos e braquiópodes devonianos e Derby (1894) publicou trabalho sobre a fauna do Pensilvaniano da Amazônia. O objetivo principal dos trabalhos citados foi a organização

e classificação taxonômica daqueles fósseis. Neles não são encontradas informações com relação a possíveis inferências paleoecológicas ou bioestratigráficas.

No século XX, existem muitos trabalhos a respeito da fauna e flora da Bacia do Amazonas. Vários autores publicaram trabalhos principalmente relacionados ao Carbonífero, entre eles: Mendes (1956) estudou braquiópodes da região Amazônica, Lane (1964) estudou rochas com fósseis de crinóides e registrou idade Pensilvaniana, com base nesses organismos. Barbosa (1967) pesquisou briozoários do Carbonífero da Amazônia. Pinto (1966; 1977) e Vasconcellos (1992) descreveram corais carboníferos. Além destes, ostracodes cenozóicos da Bacia do Amazonas foram estudados por Purper (1979). Carvalho & Fonseca (1988) estudaram trilobitas carboníferas das Bacias do Amazonas e Parnaíba. Duffin et al. (1996) estudaram dentes de tubarão em poços da PETROBRÁS, relativos a Formação Itaituba, Bacia do Amazonas. Savini & Altiner (1989), Altiner & Savini (1991, 1995) descreveram foraminíferos da Formação Itaituba e Playford & Dino (2000) propuseram palinozonas para o Pensilvaniano da Bacia do Amazonas.

Recentemente Moutinho (2002) desenvolveu trabalho tafonômico em estratos Pensilvanianos da Bacia do Amazonas referentes a duas pedreiras de calcário, também analisadas para conodontes. Foram estudados fragmentos de braquiópodes, briozoários, crinóides e corais e estabelecidas duas tafofácies distintas. Os resultados desta pesquisa estão em Moutinho et al. (submetido).

O conteúdo fossilífero já estudado nas bacias paleozóicas brasileiras, principalmente na Bacia do Amazonas, contribui com informações a respeito do paleoambiente relacionado à época em que cada organismo existiu. Onde, por exemplo, trilobitas e conodontes são fósseis exclusivamente marinhos e corais necessitam de um ambiente com águas calmas, quentes e limpas. Ainda, principalmente os microfósseis colaboram no refinamento das idades dessa bacia, tais como conodontes, foraminíferos e palinomorfs que auxiliam no detalhamento cronoestratigráfico do Pensilvaniano da Bacia do Amazonas.

3. METODOLOGIAS DE TRABALHO

3.1. Introdução

Foi realizado trabalho de campo na Bacia do Amazonas, próximo a Cidade de Itaituba, no sul do Estado do Pará, com intuito de descrever e coletar carbonatos marinhos para análise de conodontes, em duas pedreiras de calcário e em afloramentos à beira do Rio Tapajós. Durante o campo foi confeccionado perfil descritivo (litologias, estruturas, texturas, fósseis, etc) resultando no empilhamento de um pacote de rochas carbonáticas de 39 m de seção, referente às duas pedreiras de calcário, nomeadas pedreiras 1 e 2. Neste local foram coletadas 41 amostras na pedreira 1 e 35 amostras na pedreira 2, em um total de 40, 5 kg de material. Nos afloramentos à beira do Rio Tapajós não foi possível realizar a coleta de amostras, pois o nível do rio estava alto encobrindo os afloramentos. Desta forma, foram utilizadas 5 amostras, totalizando 2,5 kg de rochas carbonáticas, as quais haviam sido previamente coletadas e descritas pelo geólogo da PETROBRÁS Nilo Matsuda.

Além do trabalho de campo foi realizada coleta de amostras de testemunhos de sondagem no laboratório da PETROBRÁS em Belém, Estado do Pará. A coleta incluiu 114 testemunhos de 18 poços, em um total de 138 amostras, somando aproximadamente 69 kg de rochas carbonáticas. Os poços coletados foram estrategicamente selecionados objetivando abranger as três regiões geográficas da bacia, Plataformas Norte e Sul e Calha Central, cobrindo, sempre que possível amostras referentes às Formações Monte Alegre, Itaituba e Nova Olinda.

Assim, o total coletado corresponde a aproximadamente 112 kg de material. As amostras foram descritas, pesadas e preparadas para o estudo de conodontes no Laboratório de Micropaleontologia da UFRGS. Algumas amostras foram selecionadas para confecção de lâminas petrográficas (31 lâminas no total – 21 das pedreiras, 1 da beira do rio e 9 dos poços 10 e 11), para detalhamento das fácies estabelecidas e seleção de potenciais amostras para estudos isotópicos.

Para o estudo de isótopos os processos preliminares incluíram; i) nos carbonatos: análises de DRX – difração de raios-x, FRX – fluorescência de raios-x e lâminas petrográficas. ii) nos conodontes: microsonda eletrônica, MEV – microscópio

eletrônico de varredura com estudo de imagens retro-espalhadas (*backscattering images*) e IAC – índice de alteração de cor. iii) as conchas de braquiópodes foram selecionadas através do estudo de lâminas petrográficas e *backscattering images*.

3.2. Preparação de amostras para conodontes

A técnica utilizada para a preparação das amostras e separação dos conodontes seguiu as orientações de Austin (1987), porém, durante o estágio de doutorado sandwich na Universidade de Indiana, Estados Unidos, foram observadas e testadas diferentes metodologias. Estas, por serem mais eficazes na recuperação de conodontes, poderão entrar em rotina no Laboratório de Micropaleontologia da UFRGS, mediante alguns ajustes e aquisição de materiais necessários para sua utilização.

Desta forma, as técnicas de preparação utilizadas podem ser descritas de duas formas: 1. Técnica convencional. 2. Nova metodologia (**Fig. 3.1**).

3.2.1. Técnica convencional

Nesta técnica, a rotina de trabalho utilizada foi a seguinte: seleção inicial das amostras de rochas **carbonáticas**. Reserva de uma parte da amostra para confecção de lâminas petrográficas e britagem do restante do material em um britador de mandíbulas, em fragmentos de 2 a 3 cm. Do material triturado, pesagem de aproximadamente 300 g de cada amostra, as quais são colocadas, cada uma, em um balde plástico com capacidade de 1,5 L com uma peneira plástica próxima a superfície. A seguir esses baldes são preenchidos por 90% de água (~1.3 L) e 10% (150 ml) de ácido acético (CH₃COOH). Este material é deixado em repouso para dissolução do carbonato pelo ácido acético, formando um precipitado no fundo do balde. O material, em processo de dissolução, é lavado três vezes por semana e o precipitado recolhido. Ao material que ainda permanecer no balde adiciona-se 50 ml de ácido acético para reposição da perda do mesmo por evaporação. O precipitado recolhido, sedimento em geral de tamanho areia fina a argila, é colocado em cápsulas de porcelana e seco em estufa. O sedimento seco é armazenado em recipientes de vidro para posterior catação manual dos microfósseis em lupa binocular. Esta rotina de trabalho repete-se durante um mês com um conjunto, inicialmente estabelecido, de amostras. No final deste período, caso ainda

haja algum material não desagregado, este deve ser lavado, seco e guardado. No início do mês seguinte, novo conjunto de amostras é colocado no ácido e assim sucessivamente até o preparo das 219 amostras.

Concomitante à preparação das amostras, o sedimento precipitado é analisado em lupa binocular. Porém, uma desvantagem desta técnica é a geração de grande quantidade de material a ser triado, tornando esta etapa demorada e com resultados não satisfatórios.

Os conodontes triados são armazenados em células próprias para posterior classificação. Outros microfósseis e fragmentos de fósseis são também recolhidos e denominados como fauna associada.

3.2.2. Nova metodologia

Nesta técnica o ideal é trabalhar com 1 kg de amostra. Para o doutorado sandwich foram levadas para a Universidade de Indiana 15 amostras, com aproximadamente 300 g cada, totalizando 4,5 kg de material. Estas amostras foram utilizadas para comparação com a técnica convencional. Para o aprendizado completo desta metodologia, ou seja, trabalhando-se com 1 kg de material, foram utilizadas amostras coletadas em dois trabalhos de campo, um realizado próxima a Cidade de Kansas, no Missouri – região do Midcontinent Americano e outro em West Virginia – região dos Apalaches.

A rotina de trabalho consistiu em: pesar 1 kg de amostra de **carbonatos** e dividir em dois baldes plásticos com capacidade de 10 L, ou seja, 500 g de amostra para cada balde. Colocar a amostra e um pouco de água da torneira, de preferência morna, e adicionar 1,5 L de ácido acético (CH_3COOH), completando com água até a marca de 10 L do balde. Deixar no ácido até completa fervura da amostra. Mexer a amostra com bastão todos os dias. Ao final da fervura, em torno de 10 dias depois (o tempo é relativo à composição da amostra, pois carbonatos menos impuros dissolvem mais rapidamente) descartar o líquido contendo ácido e água em tanque próprio (armazenando a quantidade de aproximadamente um balde para acréscimo em futuras amostras, em função da evaporação do ácido). Para o descarte do líquido é utilizado um conjunto de peneiras de 200 e 20 *mesh* e no topo um suporte de peneira sem tela para evitar perda de material pela parte superior. Despejar cuidadosamente o balde com líquido e a amostra neste

conjunto de peneiras. Lavar bem a amostra com jatos de água, de preferência concentrados na porção central da peneira (principalmente no início da lavagem quando ainda há muito material fino que pode bloquear as peneiras. Este cuidado facilita o não transbordamento de água por sobre as peneiras). Após a lavagem inicial concentrar a limpeza no material que está na peneira de 200 *mesh*. Depois da amostra estar bem lavada (esse passo é muito importante, pois agiliza o processo eliminando a fração argila que não interessa) é recolhido o sedimento da peneira para o balde utilizado na preparação da amostra, e deixado secar nas estantes do próprio laboratório, pois este possui um exaustor de sala, não necessitando de estufa.

Quanto à peneira de 20 *mesh*, caso ainda reste algum material não carbonático, este é analisado e dependendo da composição devem ser aplicadas outras técnicas, quais sejam: hidróxido de sódio para folhelhos negros e querosene (gasolina branca) para folhelhos coloridos ou plásticos.

No caso de fragmentos de amostra de **folhelhos negros** restantes do carbonato previamente dissolvido, como a amostra já não possui mais a quantidade inicial ideal de 1 kg, o procedimento consiste em colocar uma parte de hidróxido de sódio e duas partes de água em um balde plástico, cobrindo completamente a amostra. Em amostras inicialmente constatadas como folhelhos negros, pesar 1 kg de material, colocar em baldes plásticos, adicionar uma colher de sopa de grãos de hidróxido de potássio e uma mistura de 1,8 L de hipocloreto de sódio e 1,2 L de água, cobrindo completamente a amostra. Deixar descansar até completa dissolução da amostra, mexendo com bastão diariamente. Após seguir o mesmo procedimento adotado na técnica do ácido acético para lavagem do material dissolvido. O sedimento final seco segue para as duas últimas técnicas de separação por líquidos pesados e separador Frantz, antes de ser examinado na lupa binocular.

Para os **folhelhos coloridos** ou plásticos um aspecto muito importante é que a amostra deve estar absolutamente seca. Assim, quando necessário, secar a amostra em estufa antes de iniciar este processo. Deste modo, tanto em fragmentos restantes do ácido acético quanto em amostras iniciais de folhelhos o processo consiste em simplesmente colocar a amostra em recipientes de vidro ou alumínio (pois a gasolina corrói o plástico) e cobrir a amostra com querosene, também conhecida como gasolina branca. Deixar por

um dia no querosene. No dia seguinte filtrar o querosene para um recipiente de armazenamento do mesmo, bem fechado, pois esse pode ser reutilizado, e lavar a amostra vigorosamente. O sedimento restante segue para as duas técnicas finais.

Todo sedimento recolhido é analisado e no caso de ainda haver algum material argiloso ou estar com pelotas, este é colocado no Quaternary – O, um tipo de solvente fabricado apenas na América do Norte. O processo consiste em colocar a amostra em recipiente de vidro, cobrir o recipiente com água e adicionar uma colher do solvente ao mesmo. Levar ao fogo, em capela de exaustão e deixar ferver por quanto tempo for necessário. Um ou dois dias são geralmente suficientes para desagregar completamente a amostra. O recipiente no fogo deve ser checado de duas em duas horas devido a evaporação da água que, caso ocorra, pode “cozinhar” os conodontes. Ao final desse processo o sedimento deve ser bem lavado para retirada completa do produto e levado para secar.

Ainda, para desagregar carbonatos arenosos utilizou-se DMSO – Dimethyl sulfoxide. Neste processo a amostra é colocada em frascos de vidro com paredes grossas e tampas plásticas, pois o Dimethyl corrõe o metal. Este produto é tóxico, por isso deve ser manuseado e armazenado sempre em capela ou sala com exaustão. Colocar a amostra dentro do frasco, cobrir com o produto e deixar em estufa geralmente por uma semana para total desagregação da amostra. Ao final do processo filtrar o produto em um filtro de café para o mesmo ser reaproveitado. A amostra deve ser bem lavada para retirada total do produto e então secar em estufa.

Após a aplicação das técnicas descritas acima, o sedimento seco é encaminhado para as duas técnicas finais (**Fig. 3.2**): 1 – separação por líquidos pesados (tetrabrometano), 2 – Separador Frantz.

1 – Separação por líquidos pesados: Consiste em separar os conodontes, que possuem uma densidade aproximada de 3,10 do restante do resíduo, como quartzo (densidade 2,65) e calcita (densidade 2,7). Assim, utiliza-se o tetrabrometano com densidade conhecida, menor que a dos conodontes, fazendo com que os mesmos afundem e o restante do resíduo permaneça em suspensão. Para esse processo utiliza-se um equipamento que consiste de um funil com uma mangueira acoplada, um grampo ou dosador na base, um recipiente como um Becker e filtros de café. Esta atividade deve

necessariamente ser realizada em capela de exaustão devido a toxicidade do produto. A rotina consiste em adicionar o tetrabrometano (densidade 2,96) no funil com o dosador bem fechado para não ocorrer vazamentos. Adicionar a amostra formando uma película na superfície do líquido. Misturar bem, com um bastão, a amostra e tetrabrometano e deixar em repouso por, no mínimo, 6 horas para que ocorra a decantação do material. Ao final das 6 horas, abrir lentamente o dosador ou grampo e deixar escorrer para o filtro de café, que está dentro do Becker, todo resíduo armazenado no fundo da mangueira (fração pesada – onde estão os conodontes), fechar o dosador, retirar o Becker e colocar outro Becker também com filtro de café. Abrir o dosador e deixar escorrer o restante do líquido onde está a fração leve. Os filtros de café devem então passar por quatro recipientes de vidro com álcool, para lavagem e retirada do tetrabrometano. Após, os filtros são deixados abertos, secando em capela de exaustão. No dia seguinte o material seco é levado, quando necessário, para o Separador Frantz.

2 – Separador Frantz: Utiliza-se o separador eletromagnético Frantz, com declividade interna de 5 a 10° e com 20 a 30° de declividade frontal. Através deste processo, foi separada uma porção não magnética que continha os elementos conodontes e componentes quartzosos e uma a porção magnética com minerais ferro-magnesianos.

Após todos esses procedimentos o sedimento final consiste, em geral, basicamente em conodontes, agilizando o processo de catação, no qual coloca-se pequena quantidade de material em uma bandeja sob a lupa binocular e seleciona-se os conodontes. Estes são colocados em células numeradas, com uma fina camada de cola, próprias para microfósseis. Ao final do período de preparação das amostras, alguns espécimes de conodontes foram comparados com os da coleção tipo, depositados na Universidade de Indiana e classificados para dar continuidade aos objetivos da tese.

3.3. Preparação de amostras para o estudo de isótopos

Para obtenção dos dados isotópicos foram utilizadas técnicas visando a determinação do estado de preservação dos conodontes, ou seja, grau de corrosão, recristalização, alterações e contaminações, em busca dos elementos conodontes que tenham preservada sua composição química original, para serem realizadas as análises de Sr e Nd.

Assim, primeiramente foram adquiridos dados de IAC - índice de alteração de cor, pois é importante ter-se o controle do nível de alteração dos conodontes. Para o IAC, os elementos são classificados a partir da comparação com uma tabela de cores, com auxílio de lupa binocular, utilizando-se o Munsell Color Chart da Munsell Color Company (1971). Posteriormente compara-se esse índice de cores com os quadros de IAC de Epstein et al. (1977) e Rejebian et al. (1987), os quais apresentam valores numéricos entre 1 e 8 e as respectivas temperaturas a que a matéria orgânica dos elementos conodontes tenha sido submetida. O IAC é uma ferramenta importante no estudo de isótopos em conodontes, por ser uma técnica relativamente rápida e barata. Segundo Qing et al. (1998), amostras com IAC maior que 2,5 obtiveram grande dispersão dos valores de isótopos de Sr, sendo os valores de IAC entre 1 e 1,5, os melhores resultados para obtenção de dados isotópicos. Dentre os conodontes analisados, foram selecionados aqueles com valores de 1,5 e um exemplar com valor 5, para testar se haveria realmente dispersão dos valores isotópicos.

Outra técnica utilizada foi a microsonda eletrônica (IG-UFRGS), onde se realizou um estudo sobre a composição química dos conodontes da Bacia do Amazonas, com a obtenção de análises de óxidos como CaO e P₂O₅ e elementos traços como F (flúor). Para a obtenção da composição química dos conodontes, a sistemática de trabalho envolveu a seleção dos mesmos e a preparação de uma pastilha com os conodontes imersos em resina (seção polida), polimento e metalização, com ouro, desta seção polida, a qual foi encaminhada para análise pontual dos fragmentos de conodonte selecionados, na microsonda eletrônica.

Concomitante as análises de microsonda, fez-se uma tentativa de obtenção de imagens de backscatering e catodoluminescência, que serviriam de apoio para a seleção dos conodontes a serem utilizados no estudo isotópico. Como resultado deste processo os conodontes apresentaram pouca luminescência, característica favorável à análise isotópica.

Os conodontes foram fotografados ao MEV - Microscópio Eletrônico de Varredura (CME-UFRGS), para análise de corrosão, presença de grãos diagenéticos e outros possíveis fatores de alteração. A rotina de trabalho foi semelhante a da

microsonda eletrônica, onde após os conodontes serem colocados em *stubs* (pinos) e recobertos com uma película de ouro, foram obtidas imagens / fotografias.

Adicionalmente foram confeccionadas lâminas petrográficas (IG-UFRGS) com amostras dos pontos analisados, tanto da região aflorante quanto dos poços. As lâminas petrográficas foram descritas e fotografadas por meio digital. A fauna associada aos conodontes foi descrita e analisada para observação das condições paleoecológicas e diagenéticas das rochas sedimentares e alguns exemplares de braquiópodes foram selecionados para análise isotópica.

Foram também adquiridos dados de difração de raios-X e fluorescência de raios-X (Rb e Sr em ppm) (IG-UFRGS) nos carbonatos, para análises isotópicas. As análises de difração de raios-X objetivaram ter-se um controle qualitativo das argilas e outros componentes terrígenos associados aos carbonatos, os quais poderiam influenciar nos resultados de Sr e Nd. As análises de fluorescência de raios-X visaram a quantificação de Rb e Sr nos carbonatos, para seleção daquelas amostras com menores teores de Rb e maiores de Sr, para análises isotópicas.

Após todos esses procedimentos, a aquisição de dados isotópicos foi realizada nas melhores amostras de carbonatos, conodontes e braquiópodes.

Para os **carbonatos** foi pesado 2 g de cada amostra, colocadas em tubos de ensaio e levadas ao ultra-som. Foi adicionado 10 ml de HCl 0,18N e 10 ml de HCl 1N, o material foi para o ultra-som e centrifuga. Em seguida, foi seco em chapa quente, adicionado HF, HNO₃ e HCl 2.5N. Após esses procedimentos o material estava pronto para ser passado nas colunas cromatográficas para coleta de Sr e ETR.

Para os **conodontes** foram selecionados 3 espécimes inteiros adultos ou acima de 10 fragmentos por amostra conforme a metodologia descrita por Ebner et al. (1997). Estes foram lavados no ultra-som com água morna e água miliqui (super pura) para eliminação de qualquer impureza. Após adições de HNO₃, HF e HCl, o material estava pronto para ser passado nas colunas cromatográficas para coleta de Sr e ETR.

Para os **braquiópodes** foram selecionadas 4 amostras das pedreiras. Foi retirada a camada mais interna dos fragmentos de concha, lavada com água destilada e passada no ultra-som. Após limpa foi fragmentada até se tornar pó. Deste, foi pesado 0,1 g de amostra, adicionado 6 ml HCl 6 N, seco em chapa quente e re-dissolvido em 3 ml de

HCl 2,5 N, produzindo uma solução pronta para ser passada nas colunas para coleta de Sr e ETR.

A separação do Sr foi efetuada a partir de processos químicos e sua concentração a partir de colunas de Rb/Sr, calibradas para obtenção de Sr e ETR. Posteriormente o concentrado de ETR foi passado na coluna de Sm/Nd para retenção do Nd. Os concentrados foram então analisados em um espectrômetro de massa, e as razões $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ e $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ para os carbonatos, conodontes e braquiópodes, após cálculos e ajustes, foram obtidas.

4. SISTEMÁTICA PALEONTOLÓGICA

Desde sua descoberta por Christian Henrich Pander em 1856 até o início deste século, os conodontes eram classificados com base na morfologia dos elementos, onde cada espécime isolado era descrito como um gênero ou espécie diferente. Em 1934, Hermann Schimdt, na Alemanha e Harold Scott nos EUA, descobriram os primeiros *clusters*, ou seja, assembléias naturais de elementos conodontes encontrados em camadas de rochas sedimentares. De início, tais assembléias não foram completamente aceitas devido a algumas delas corresponderem a restos fecais de predadores do animal conodonte. Porém, com a descoberta de assembléias naturais semelhantes, encontradas em diferentes locais repetidas vezes, os pesquisadores puderam comprovar a natureza mutielemental dos elementos denticulados. Assim, a sistemática artificial, empregada anteriormente, foi gradativamente sendo substituída pela classificação mutielemental.

Com a descoberta destes *clusters* os pesquisadores compreenderam que diferentes morfotipos ocorriam no mesmo conjunto, o qual foi denominado aparelho alimentar. Desde então, os conodontes passaram a ser definidos com base na composição e estrutura do aparelho mutielemental. A reconstrução destes aparelhos é feita com base na distribuição geográfica e estratigráfica comum de associações de elementos, a presença de formas na mesma camada e a ocorrência dos elementos fusionados em resíduos insolúveis.

A classificação sistemática apresentada neste capítulo foi realizada com base em (Robison, 1981) – *Treatise on Invertebrate Paleontology* e em Sweet (1988) – *The Conodonta*. As categorias hierárquicas superiores, tais como Filo, Subfilo e Classe seguiram a designação de Donoghue et al., 1998.

Foram individualizadas duas Ordens, sendo elas: Ordem Ozarkodinida, com quatro Famílias e Ordem Prioniodinida, com uma Família, em um total de dezessete espécies, descritas a seguir.

DESCRIBÇÃO SISTEMÁTICA

Filo CHORDATA Bateson, 1886

Subfilo VERTEBRATA Linnaeus, 1758

Classe CONODONTA Pander, 1856

Ordem OZARKODINIDA Dzik, 1976

Família IDIOGNATHODONTIDAE Harris & Hollingsworth, 1933

Gênero *Idiognathodus* Gunnell, 1931

Espécie *Idiognathodus incurvus* Dunn, 1966

Idiognathodus sp.

Gênero *Streptognathodus* Stauffer & Plummer, 1932

Espécie *Streptognathodus* sp.

Gênero *Idiognathoides* Harris & Hollingsworth, 1933

Espécie *Idiognathoides sinuatus* Harris & Hollingsworth, 1933

Gênero *Neognathodus* Dunn, 1970

Espécie *Neognathodus symmetricus* Lane, 1967

Neognathodus bassleri Harris & Hollingsworth, 1933

Neognathodus atokaensis Grayson, 1984

Neognathodus medadultimus Merrill, 1972

Neognathodus roundyi Gunnell, 1931

Neognathodus bothrops Merrill, 1972

Neognathodus sp.

Família CAVUSGNATHIDAE Austin & Rhodes, 1981

Gênero *Adetognathus* Lane, 1967

Espécie *Adetognathus lautus* Gunnell, 1933

Família SWEETHOGNATHIDAE Ritter, 1986

Gênero *Diplognathodus* Kozur & Merrill, 1975

Espécie *Diplognathodus orphanus* Merrill, 1973

Diplognathodus coloradoensis Murray & Chronic, 1965

Diplognathodus ellesmerensis Bender, 1980

Família ANCHIGNATHODONTIDAE Clark, 1972

Gênero *Hindeodus* Rexroad & Furnish, 1964

Espécie *Hindeodus minutus* Ellison, 1941

Ordem PRIONIODINIDA Sweet, 1988

Família PRIONIODINIDAE Bassler, 1925

Gênero *Idioprioniodus* Gunnell, 1933

Espécie *Idioprioniodus* sp.

Ordem OZARKODINIDA Dzik, 1976

Família IDIOGNATHODONTIDAE Harris & Hollingsworth, 1933

Gênero *Idiognathodus* Gunnell, 1931

[*I. claviformis*; OD] [= *Scottognathus* Rhodes, 1953 (*partim*), *nom subst. pro Scottella* Rhodes, 1952, *non* Enderlein, 1910, a dípteran].

Espécie-tipo:

Idiognathodus claviformis Gunnell, 1931.

Diagnose: Aparelho seximembrado ou septimembrado. Elemento Pa scaphate, Pb angulate, M dolabrate, Sa alate, Sb bipennate, Sc bipennate. O elemento Pa é diagnóstico; lâmina livre longa com, no mínimo, metade do comprimento do elemento. A carena é parcial ou completamente suprimida. As costelas transversais são bem desenvolvidas principalmente na porção posterior da superfície oral e não apresenta depressão mediana.

Idiognathodus incurvus Dunn, 1966

Idiognathodus expansus Stauffer & Plummer, 1932 p. 46, pl. 4, fig. 1.

Streptognathodus cancellosus Gunnell. Ellison & Graves, 1941, pl. 3, fig. 18.

Idiognathodus incurvus Dunn, 1966, p. 1301, pl. 158, figs. 2, 3; Grayson et al., 1989, p. 87, 88, pl. 1, figs. 21-25; Grayson, 1990, pl. 4, figs. 4-6.

Idiognathodus delicatus Gunnell. Koike, 1967, p. 304, 305, pl. 2, figs. 18-23; Merrill & King, 1971, p. 658, pl. 76, figs. 13-21; Merrill, 1975, p. 63, 64, fig. 17: 58-62; Landing & Wardlaw, 1981, p. 1260, pl. 2, fig. 4; Grayson, 1984, p. 49, pl. 1, figs. 1, 2; pl. 3, figs. 2, 23; pl. 4, figs. 7, 8, 17; Grubbs, 1984, p. 69, pl. 1, figs. 5-7.

Idiognathodus antiquus Stauffer & Plummer. Mendez & Menendez-Alvarez, 1981, fig. 3: 8.

Idiognathodus sp. A Grayson, 1984, p. 49, pl. 1, fig. 15.

Idiognathodus sp. A Grubbs, 1984, p. 69, pl. 1, figs. 12-15.

Streptognathodus sp. aff. *S. wabaunsensis* Gunnell. Grubbs, 1984, p. 71, 72, pl. 1, figs. 8-11.

Idiognathodus claviformis Gunnell. Grayson et al., 1989, p. 88-90, pl. 1, figs. 14, 20, 27; pl. 2, figs. 32, 36.

Descrição: O elemento Pa possui plataforma alongada, com final posterior pontiagudo e inclinado em direção a margem interna. A lâmina livre é longa, possui até doze dentículos e decresce em direção a plataforma, se unindo a esta em posição mediana e se continuando como carena, de um a dois terços da porção anterior da plataforma. A margem interna da plataforma possui lobo acessório com, em média, três a sete nódulos e a margem externa, por vezes, apresenta o lobo acessório delgado, com aproximadamente três nódulos. Presença de dez a doze costelas transversais que se estendem de uma margem a outra, por vezes descontínuas no final posterior.

Em vista lateral, a plataforma é suavemente convexa anteriormente e côncava posteriormente. A cavidade basal é assimétrica, profunda e centrada abaixo da porção mediana da plataforma.

Discussão: *Idiognathodus incurvus* pertence a um complexo de morfotipos constituídos por *I. claviformis*, *I. sinuosus*, *I. klapperi* e *I. magnificus*. Se diferencia por ter um final posterior pontiagudo, costelas adcarinais paralelas e próximas à carena e maior variação morfológica dos lobos acessórios.

I. sinuosus é parte deste plexo morfológico, diferenciado de *I. incurvus* pelo fato de *I. sinuosus* ter as costelas adcarinais interrompidas ou finalizadas na porção anterior da plataforma próximo a junção com a lâmina livre. Conforme Grayson et al. (1989) e Whiteside & Grayson (1990), ocorreu uma evolução de *I. sinuosus* para *I. klapperi*, que por sua vez evoluiu para *I. incurvus* e este para *I. claviformis*, que evoluiu para *I. magnificus*, baseada na mudança morfológica da porção anterior da plataforma principalmente com relação às costelas adcarinais.

A caracterização de *I. incurvus* em Grayson et al. (1989) é diferente daquela de Dunn (1966) (descrição original desta espécie), sendo a descrição de Grayson et al. (1989) mais ampla, para incluir os exemplares do Pensilvaniano Médio, dos quais a maioria dos elementos Pa exibem a característica diagnóstica que é a extensão anterior das costelas adcarinais, tenham ou não depressão mediana e ou carena. Porém, segundo Merrill (informação verbal), os parâmetros utilizados e os resultados obtidos em Grayson et al. (1989), observados através das estampas, não são completamente confiáveis. Assim, optou-se por selecionar as características diferenciáveis entre os espécimes aqui estudados, utilizando informações de Dunn (1966) e Grayson et al. (1989).

Elementos encontrados: 348 elementos Pa.

Material estudado: Poços 2, 3, 6, 7, 8, 10, 11, 12, 14, 20, 21, pedreiras 1 e 2.

Distribuição estratigráfica mundial: Atokano– Desmoinesiano inferior.

Distribuição paleobiogeográfica mundial: América do Norte, América do Sul, Europa, Ásia.

***Idiognathodus* sp.**

Descrição: Em vista oral o elemento é longo e lanceolado. Possui lobos acessórios com três a seis nódulos enfileirados. A carena se encontra com a plataforma em posição

mediana e se continua, por vezes, pontilhada até o final posterior, cortando as costelas transversais. Ocorrem ou não costelas adcarinais que se estendem em direção a lâmina livre. Em vista lateral a plataforma é baixa. Em vista aboral é assimétrica.

Discussão: Os espécimes encontrados, em linhas gerais se assemelham aqueles de *I. incurvus*, com algumas características distintivas como o fato de terem plataforma reta e longilínea e possuírem a carena pontilhada em direção ao final posterior. Contudo não pode ser descartada a possibilidade de que estes espécimes sejam formas muito imaturas a juvenis de *I. incurvus* ou *I. delicatus*. É necessário preparar mais material para obtenção de maior quantidade de espécimes. Porém, se forem considerados como formas juvenis será muito difícil distinguir dentre os *Idiognathodus* a quais espécies pertenceriam.

Elementos encontrados: 20 elementos Pa.

Material estudado: Afloramento na beira do Rio Tapajós.

***Streptognathodus* sp.**

Descrição: O elemento Pa tem lâmina livre tem seis a oito dentículos e maior altura na porção anterior, decrescendo em direção a plataforma. Encontra a plataforma em posição mediana e continua por até dois terços da plataforma como carena baixa e fusionada. A plataforma é lanceolada e tem final posterior pontiagudo. A porção anterior da plataforma não possui lobos acessórios, porém um a quatro nódulos ocorrem na margem interna da plataforma. A porção posterior é ornamentada por quatro a seis costelas transversais que se inclinam em direção a depressão mediana. Em vista lateral a plataforma é moderadamente alta e arqueada. A cavidade basal é longa, mais profunda no centro da mesma, assimétrica e se continua como sulco raso na junção com a porção aboral da lâmina livre.

Discussão: Existe uma discussão muito ampla e uma grande controversa em relação aos primeiros *Streptognathodus* e *Idiognathodus*. A diferença fundamental entre as duas espécies é o fato de *Streptognathodus* possuir uma depressão mediana e *Idiognathodus* não, conforme a descrição original. Porém, com o avanço nas pesquisas e a ampliação das coleções, foi observado que uma imensa quantidade de holótipos inicialmente descritos eram na realidade formas senis (*gerontic*) e outros eram formas juvenis (*nepionic*), gerando uma imensa quantidade de nomes que em realidade poderiam fazer parte de uma mesma espécie. Além disto, a questão principal, com relação a depressão mediana, foi observado que espécimes juvenis tanto de *Idiognathodus* quanto de *Streptognathodus* poderiam apresentar esta característica e alguns espécimes adultos, por vezes, também. Desta forma, alguns pesquisadores acreditam que essas primeiras ocorrências de *Streptognathodus* no Pensilvaniano Inferior são como um “ensaio” da espécie que não deu certo, pois muitos se extinguiram ainda no Pensilvaniano Inferior, vindo a espécie a ocorrer com ampla abundância, diversidade e características marcadamente diferentes de *Idiognathodus* a partir do Pensilvaniano Superior.

Os espécimes aqui analisados apresentam semelhanças com vários caracteres de *Idiognathodus*, contudo, apresentam uma depressão mediana bem desenvolvida e passível de diferenciação da espécie *Idiognathodus incurvus* aqui classificado. Porém, devido ao estágio atual de revisão de *Streptognathodus* para o Pensilvaniano Inferior, optou-se por descrever os espécimes analisados de forma genérica.

Elementos encontrados: 6 elementos Pa.

Material estudado: Afloramento na beira do Rio Tapajós.

Ordem OZARKODINIDA Dzik, 1976

Família IDIOGNATHODONTIDAE Harris & Hollingsworth, 1933

Gênero *Idiognathoides* Harris & Hollingsworth, 1933

[*I. sinuata*; OD] [*Polygnathodella* Harlton, 1933; *Declinognathodus* Dunn, 1966; *Oxignathus* Ellison, 1972].

Espécie-tipo:

Idiognathoides sinuata Harris & Hollingsworth, 1933.

Diagnose: Aparelho seximembrado. Elemento pectiniforme scaphate, com lâmina medial ou lateral que possui quase a metade do comprimento do elemento, em alguns se continuando como carena deflexionada mergulhando com o parapeito ou terminando contra ele. A superfície oral possui parapeitos com costelas transversais e uma depressão mediana.

Idiognathoides sinuatus (Harris & Hollingsworth, 1933)

Idiognathoides sinuata Harris & Hollingsworth, 1933, p. 201, pl. 1, fig. 14; Lane, 1967, p. 937, pl. 119, figs. 1-4, 9, 12-15, pl. 123, figs. 7, 8, 12 (fig. 8 = holótipo); Higgins & Bouckaert, 1968, p. 40, pl. 4, figs. 5, 8, 9; pl. 5, fig. 11.

Idiognathoides corrugata Harris & Hollingsworth, 1933, p. 202, pl. 1, figs. 7, 8a-b; Lane, 1967, p. 939, pl. 122, figs. 1, 2, 4-7, 9-11; Higgins & Bouckaert, 1968, p. 39, pl. 5, fig. 9.

Cavusgnathus sinuata (Harris & Hollingsworth). Ellison & Graves, 1941, p. 5, pl. 3, figs. 1, 5, 7.

Polygnathodella attenuata (Harris & Hollingsworth). Ellison & Graves, 1941, p. 8, pl. 3, figs. 11, 13 .

Polygnathodella convexa Ellison & Graves, 1941, p. 9, pl. 3, figs. 10, 12.

Polygnathodella ouachitensis (Harlton). Ellison & Graves, 1941, p. 10, pl. 3, figs. 8, 9.

Gnathodus opimus Igo & Koike, 1964, p. 189, pl. 28, fig. 18; Webster, 1969, p. 33, pl. 5, figs. 20, 21.

Idiognathoides convexa (Ellison & Graves). Higgins & Bouckaert, 1968, p. 39, pl. 4, fig. 3.

Idiognathoides attenuata (Harris & Hollingsworth). Higgins & Bouckaert, 1968, p. 39, pl. 4, fig. 10.

Idiognathoides sinuatus (Harris & Hollingsworth). Dunn, 1970, p. 335, pl. 63, figs. 14, 15, 22, 23; Lane & Straka, in Lane et al., 1971, pl. 1, figs. 12, 14; Lane & Straka, 1974,

p. 88, 89, figs. 37: 14, 15, 18, 20, 23-26, 36, figs. 41: 1-4, 20-27; Grayson, 1984, p. 49, pl. 4, figs. 3, 13, 14, 19, 20; Grubbs, 1984, p. 67, pl. 2, figs. 1-4; Grayson, 1990, pl. 4, figs. 29-33; Lemos, 1990a, p. 40, pl. 3, fig. 3; pl. 4, fig. 4; pl. 5, figs. 3, 8; pl. 9, figs. 1-8; Whiteside & Grayson, 1990, p. 158, pl. 1, figs. 8, 25-27; Sutherland & Grayson, 1992, pl. 2, fig. 3; Nemirovskaya & Alekseev, 1994, pl. 1, fig. 14; Neis, 1996, p. 38, pl. 5, figs. 1-5.

Idiognathoides corrugatus (Harris & Hollingsworth). Dunn, 1970, p. 335, pl. 63, figs. 16-18, 25; Lane & Straka in Lane et al, 1971, pl. 1, fig. 13; Grayson, 1984, p. 51, pl. 4, figs. 4, 10; Nemirovskaya & Alekseev, 1994, pl. 1, figs. 11, 13, 15.

Idiognathoides ouachitensis (Harlton). Grayson, 1984, p. 50, pl. 3, figs. 13, 15; pl. 4, figs. 2, 5; Grubbs, 1984, p. 67, pl. 2, figs. 9-13; Manger & Shuterland, 1984, p. 117, pl. 1, fig. 15; Neis, 1996, p. 41, pl. 3, figs. 2-5.

Idiognathoides convexus (Ellison & Graves). Grayson, 1984, p. 50, pl. 4, figs. 9, 15; Grubbs, 1984, p. 70, pl. 2, figs. 5-8; Manger & Shuterland, 1984, p. 117, pl. 1, figs. 11, 12.

Oxinagnathus corrugatus (Harris & Hollingsworth). Rocha-Campos & Archangelsky, 1986, p. 280, pl. 5, fig. 21.

Idiognathoides fossatus (Branson & Mehl). Nemirovskaya & Alekseev, 1994, pl. 2, fig. 4.

Descrição: A lâmina livre tem o mesmo comprimento da plataforma e se encontra com esta, tanto no lado direito quanto esquerdo. Possui em torno de sete dentículos comprimidos, estando o maior dentículo localizado anteriormente.

A plataforma é alongada, com maior largura no centro do espécime. Possui uma depressão mediana com comprimento variável, podendo ou não alcançar o final posterior. As margens da plataforma são ornamentadas por nódulos e dez a quinze costelas transversais que se estendem até o assoalho do sulco longitudinal. O parapeito externo é suavemente declinado para dentro e o parapeito interno é suavemente elevado em relação ao externo e levemente côncavo. Observa-se a presença de abas laterais.

Em vista lateral, a plataforma é angulosa. A cavidade basal é longa, assimétrica, mais profunda no terço anterior, se continuando com sulco raso na porção aboral da lâmina livre.

Discussão: Além de *Idiognathoides sinuatus* foi também aqui observado o morfotipo *Idiognathoides ouachitensis* descrito por Harlton (1933), onde a “depressão mediana com comprimento variável, mas que não alcança o final posterior” seria a característica que diferenciaria *Idiognathoides sinuatus* de *Idiognathoides ouachitensis*. Porém, segundo Grayson (1990), *Id. ouachitensis* é considerado um dos muitos morfotipos de *Id. sinuatus*, induzidos paleoambientalmente. Sutherland & Grayson (1992) também corroboram com a idéia de *Id. ouachitensis* ser um morfotipo de *Id. sinuatus*. Assim, optou-se por seguir estes autores e a espécie descrita é *Idiognathoides sinuatus*.

Elementos encontrados: 101 espécimes.

Material estudado: Poços 2, 3, 5, 8, 11, 12, 13, 20, 21, afloramento na beira do Rio Tapajós e pedreiras 1 e 2.

Distribuição estratigráfica mundial: Morrowano inferior – Atokano.

Distribuição paleobiogeográfica mundial: América do Norte, América do Sul, Europa, Ásia.

Ordem OZARKODINIDA Dzik, 1976

Família IDIOGNATHODONTIDAE Harris & Hollingsworth, 1933

Gênero *Neognathodus* Dunn, 1970

[*Polygnathus bassleri* Harris & Hollingsworth, 1933; OD]

Espécie-tipo:

Polygnathus bassleri Harris & Hollingsworth, 1933.

Diagnose: Aparelho seximembrate ou septimembrate. Elemento pectiniforme scaphate com lâmina livre longa, maior que a metade do comprimento do elemento, encontra a plataforma central ou subcentralmente; a plataforma é um pouco reduzida ou ausente na margem externa; os parapeitos ou as costelas transversais flanqueiam um ou ambos os lados da plataforma; a carena se estende para ou próximo ao final posterior do elemento; as costelas adcarinais são profundas; a cavidade basal é larga, profunda e assimétrica.

Neognathodus symmetricus (Lane, 1967)

Gnathodus wapanuckensis (Harlton). Ellison & Graves, 1941, pl. 2, fig. 13.

Gnathodus bassleri symmetricus Lane, 1967, p. 935, pl. 120, figs. 2, 13, 14, 17, pl. 121, figs. 6, 9.

Gnathodus bassleri (Harris & Hollingsworth). Webster, 1969, p. 29, pl. 5, fig. 14.

Neognathodus bassleri (Harris & Hollingsworth). Dunn, 1970, p. 336, pl. 64, figs. 1a-c, 12.

Neognathodus bassleri symmetricus (Lane). Lane & Straka, 1974, p. 96, fig. 37: 22, 31, 32, 37-39, fig. 39: 16-18, 21-24.

Descrição: A lâmina livre possui seis a oito dentículos e se encontra com a plataforma em posição mediana, continuando como carena centrada até o final posterior. O elemento é simétrico, com margens paralelas a carena, que é ornamentada por nódulos fusionados. As margens podem ser ornamentadas por nódulos ou costelas que se estendem em direção a um sulco mediano paralelo a carena. Os parapeitos apresentam máxima curvatura anterior. Em vista lateral o elemento é em geral reto ou levemente curvado. Em vista aboral a cavidade basal é larga, profunda e assimétrica.

Discussão: O elemento Pa de *Neognathodus symmetricus* difere de *Neognathodus bassleri* principalmente por possuir uma carena reta, centrada e fusionada e cavidade basal mais profunda, enquanto *N. bassleri* possui carena subcentral e nodosa. Ainda, os parapeitos de *N. symmetricus* podem apresentar nódulos e costelas enquanto *N. bassleri*

possui somente costelas. *Neognathodus symmetricus* originalmente considerado como uma subespécie de *N. bassleri*, atualmente é considerada como sua precursora.

Elementos encontrados: 13 espécimes.

Material estudado: Poços 4, 6, 12, 14, 19 e afloramento na beira do Rio Tapajós.

Distribuição estratigráfica mundial: Morrowano.

Distribuição paleobiogeográfica mundial: América do Norte, América do Sul, Europa.

Neognathodus bassleri (Harris & Hollingsworth, 1933)

Polygnathus bassleri Harris & Hollingsworth, 1933, p. 198, pl. 1, figs. 13a-e.

Gnathodus wapanuckensis (Harlton). Ellison & Graves, 1941, pl. 2, fig. 15.

Gnathodus bassleri bassleri (Harris & Hollingsworth). Lane, 1967, p. 935, pl. 120, figs. 1, 3-5, 9-12, 15, pl. 123, figs. 1-6; Lane et al., 1971, pl. 1, figs. 9, 10.

Neognathodus bassleri (Harris & Hollingsworth). Dunn, 1970, p. 336, pl. 64, fig. 13.

Neognathodus bassleri bassleri (Harris & Hollingsworth). Lane & Straka, 1974, p. 95, fig. 37: 16, 17, 19, fig. 42: 17-24.

Descrição: A lâmina livre possui quatro a seis denticulos e se encontra com a plataforma em posição mediana. Esta se continua como carena subcentral nodosa até o final posterior da plataforma. Os parapeitos são mais altos que a carena, levemente assimétricos e ornamentados por costelas que se estendem até o sulco medial. O parapeito interno é, em geral, mais paralelo à carena, enquanto o externo apresenta uma leve curvatura. A máxima curvatura se dá geralmente na porção mais posterior da plataforma. A carena termina imediatamente antes do final posterior, se unindo a um dos parapeitos. Em vista aboral a cavidade basal é assimétrica.

Discussão: *Neognathodus bassleri* se diferencia de *N. symmetricus* por ser levemente curvado, por apresentar carena que termina antes do final posterior, se unindo a um dos parapeitos e por estes serem mais elevados que a carena, possuindo costelas que se estendem até o sulco medial.

Merrill & King (1971) observaram que estas características diagnósticas de *N. bassleri* geram uma confusão tornando esta espécie homeomórfica de *Streptognathodus*. Esta semelhança foi observada nos espécimes estudados, porém a maior ocorrência de *Neognathodus* em relação a *Streptognathodus* e com a observação e comparação do material, foi possível identificar os diferentes espécimes.

Elementos encontrados: 22 espécimes.

Material estudado: Poços 1, 3, 9, 10, 11, 14 e pedreira 2.

Distribuição estratigráfica mundial: Morrowano - Desmoinesiano.

Distribuição paleobiogeográfica mundial: América do Norte, América do Sul, Europa.

Neognathodus atokaensis Grayson, 1984

Gnathodus wapanuckensis (Harlton). Ellison & Graves, 1941, pl. 2, fig. 14.

Streptognathodus colombiensis Stibane, 1967, p. 336, pl. 36, figs. 3, 6-8.

Gnathodus bassleri (Harris & Hollingsworth). Webster, 1969, p. 29, pl. 5, figs. 15a, b.

Neognathodus bassleri (Harris & Hollingsworth). Dunn, 1970, p. 336, pl. 64, fig. 14.

Gnathodus bassleri bassleri (Harris & Hollingsworth). Lane et al., 1971, pl. 1, fig. 30.

Gnathodus bassleri symmetricus Lane. Lane et al., 1971, pl. 1, fig. 29.

Descrição: A lâmina livre possui de quatro a seis dentículos. Encontra-se com a plataforma em posição mediana e continua como carena nodosa até o final posterior. Em vista lateral o parapeito externo é mais baixo e mais largo que o interno. Este último se estende até o final posterior e é ornamentado por curtas costelas transversais. Em vista

oral a porção anterior do parapeito externo é levemente semicircular e ornamentada com proeminentes costelas transversais. Em vista aboral a cavidade basal é assimétrica e mais profunda na porção central abaixo da plataforma.

Discussão: *Neognathodus atokaensis* se diferencia de *N. bassleri* por ter um parapeito mais elevado que o outro e ser mais arredondado no contorno geral.

Segundo Grayson (1984) esta espécie pode representar um estágio de transição entre *N. bassleri* e seu descendente *Neognathodus bothrops*.

Elementos encontrados: 29 espécimes.

Material estudado: Poços 5, 11, 13, 14 e pedreira 2.

Distribuição estratigráfica mundial: Atokano.

Distribuição paleobiogeográfica mundial: América do Norte, América do Sul, Europa.

Neognathodus bothrops Merrill, 1972

Gnathodus roundyi Gunnell. Murray & Chronic, 1965, p. 598, pl. 71, figs. 3, 4.

Streptognathodus colombiensis Stibane, 1967, p. 336, pl. 36, figs. 1, 2, 4, 5, 9, 10.

Gnathodus bassleri (Harris & Hollingsworth). Webster, 1969, p. 29, pl. 5, figs. 9a-c.

Neognathodus roundyi (Gunnell). Dunn, 1970, p. 336, pl. 64, fig. 4.

Neognathodus bothrops Merrill, 1972, p. 823, pl. 1, figs. 8-15; Merrill, 1975, p. 69, fig. 17: 63, 64, 66.

Descrição: Plataforma com parapeitos elevados, ornamentos por nódulos e costelas transversais separados da carena por uma depressão mediana. Carena subcentral fusionada que se continua até o final posterior. Em vista aboral a cavidade basal é assimétrica e mais profunda abaixo da plataforma.

Discussão: Conforme a descrição original de Merrill (1972), esta espécie é diferenciada de *N. bassleri* por ter a carena fusionada e parapeitos altos e largos, com nódulos ou costelas transversais bem desenvolvidas. Grayson (1984) acredita que a carena nodosa ou fusionada é um caráter ecologicamente controlado e não deve ser empregada para discriminação taxonômica. Contudo, Merrill (1999) considera que *N. bothrops* faça parte de um complexo de morfotipos onde as variações morfológicas da carena e parapeitos sejam suficientes para caracterizar estas diferentes espécies, por terem sido observadas em diferentes locais e conterem suas características específicas.

Os dois espécimes estudados se apresentam com a lâmina livre quebrada, não sendo possível sua descrição, mas a plataforma de ambos mostra as características diagnósticas de Merrill (1972). Desta forma, foram assim descritos e denominados como *N. bothrops*.

Elementos encontrados: 2

Material estudado: Poço 14.

Distribuição estratigráfica mundial: Morrowano – Desmoinesiano.

Distribuição paleobiogeográfica mundial: América do Norte, América do Sul, Europa.

Neognathodus medadultimus Merrill, 1972

Gnathodus roundyi Gunnell. Murray & Chronic, 1965, p. 598, pl. 71, figs. 1, 2.

Gnathodus cf. *roundyi* Gunnell. Koike, 1967, p. 299-300, pl. 1, figs. 27, 28.

Streptognathodus colombiensis Stibane, 1967, p. 336, pl. 36, figs. 3-5.

Gnathodus bassleri bassleri (Harris & Hollingsworth). Lane, 1967, p. 935, pl. 120, figs. 1,3-5, 9-12, 15, pl. 123, figs. 1-6.

Gnathodus n. sp. B Merrill in Lane et al. 1971, p. 409, pl. 1, fig. 21.

Neognathodus bassleri bassleri (Harris & Hollingsworth). Merrill & King, 1971, p. 659, pl. 76, figs. 11, 12.

Neognathodus n. sp. C Merrill & King, 1971, p. 660, pl. 76, figs. 5, 6.

Neognathodus medadultimus Merrill. Lemos, 1990a, p. 75, pl. 14, fig. 3.

Descrição: A lâmina livre não está bem preservada, mas observa-se que ela encontra a plataforma em posição mediana, se continuando como uma carena nodosa e mais baixa que os parapeitos. A plataforma é afilada posteriormente e mais larga no terço anterior. Os parapeitos podem ser altos ou baixos, e tem as margens com nódulos quase fusionados e costelas transversais que se estendem suavemente em direção ao sulco longitudinal. Em alguns espécimes, o parapeito esquerdo é mais alto que o direito e tem uma depressão mais rasa. Em dois espécimes a carena se une ao parapeito direito no terço anterior, em outros dois espécimes a carena se une ao parapeito direito no terço posterior e, em um espécime a carena se continua posteriormente fusionando com o parapeito esquerdo, na metade posterior. Uma depressão mediana é formada em cada lado da carena, por vezes, preenchida, dificultando a observação de ornamentação.

Em vista lateral a plataforma é alta e ampla. A cavidade basal é longa, assimétrica, mais expandida na porção anterior e mais profunda no centro.

Discussão: O grau de fusão entre a fileira externa de nódulos com a carena pode ser variável, sendo o que caracteriza essa espécie. Em alguns espécimes a fusão da carena com a fileira de nódulos é completa, formando uma única extensão de nódulos. Em outros espécimes esta união não é total e pode se dar posteriormente.

Merrill (1972) ressalta que a união da carena com um dos parapeitos interrompe a depressão mediana. Esta perda do sulco mediano é considerada por ele suficiente para a definição da espécie (ver Merrill, 1972, pl. 1, fig. 6, p. 824).

Elementos encontrados: 9 espécimes.

Material estudado: Poços 1, 11, 12 e pedreira 2.

Distribuição estratigráfica mundial: Morrowano – Desmoinesiano.

Distribuição paleobiogeográfica mundial: América do Norte, América do Sul, Europa, Ásia.

Neognathodus roundyi Gunnell, 1931

Gnathodus roundyi Gunnell, 1931, p. 249, pl. 29, figs. 19, 20; Ellison, 1941, p. 138, pl. 23, figs. 23, 25-28; Lane et al., 1971, p. 409, pl. 1, fig. 34.

Neognathodus roundyi (Gunnell). Dunn, 1970, p. 336 -337, pl. 64, figs. 2, 3. Merrill & King, 1971, p. 660, pl. 76, figs. 2-4; Merrill, 1972, p. 826, pl. 2, figs. 11-26.

Descrição: em vista oral a lâmina livre possui quatro a seis dentículos que se encontram com a plataforma em posição mediana e se continuam como carena fusionada até o final posterior. A plataforma possui um parapeito interno com somente um nódulo na porção anterior. O parapeito externo apresenta uma fileira de nódulos ou costelas transversais e se continua paralelo a carena até o final posterior. Em vista lateral a carena é mais alto que os parapeitos. Em vista aboral a cavidade basal é longa, assimétrica e profunda, com maior largura e profundidade no terço anterior e é bordejada por abas.

Discussão: A característica diagnóstica desta espécie é o nódulo único localizado na porção anterior do parapeito interno.

Merrill (1999) discute estes *Neognathodus* típicos do Pensilvaniano Inferior a Médio e sugere que eles fazem parte de um conjunto de morfotipos iniciado por *N. symmetricus* (simétrico) no Morrowano, que teria evoluído para *N. bassleri* (carena subcentral e não tão simétrico) do Morrowano médio ao Atokano, o qual teria evoluído para *N. atokaensis* (diferença na altura dos parapeitos) típico do Atokano. Este seria uma forma de transição para *N. bothrops* (carena fusionada e margens mais achatadas) típico do Atokano superior e Desmoinesiano. Neste intervalo surgiram as formas com encurtamento do parapeito, tais como *N. medexultimus*, *N. medadultimus*, *N. roundyi* e por fim *N. dilatatus* onde o parapeito externo é extremamente curto e não apresenta nem um nódulo.

Neste trabalho foram observadas as formas relativas a *N. symmetricus*, *N. bassleri*, *N. atokaensis*, *N. bothrops*, *N. medadultimus*, culminando com *N. roundyi*.

N. dilatatus não foi encontrado, talvez por ser mais típico do Desmoinesiano mais superior.

Elementos encontrados: 18 espécimes.

Material estudado: Poços 6, 11, 13, 20 e pedreira 2.

Distribuição estratigráfica mundial: Atokano – Desmoinesiano.

Distribuição paleobiogeográfica mundial: América do Norte, América do Sul, Europa, Ásia.

***Neognathodus* sp.**

Descrição: A lâmina livre está quebrada, mas se observa quatro dentículos, sendo o maior localizado mais anteriormente. Se une a plataforma em posição mediana, continuando-se como carena nodosa. Ambos parapeitos esquerdo e direito são nodosos, estando separados da carena por um sulco médio, sendo que o parapeito direito apresenta costelas transversais que vão até este sulco mediano. A porção posterior da plataforma está quebrada não sendo possível observar as feições relativas a esta região.

Em vista lateral, a plataforma é alta e os parapeitos são mais altos que a carena. A lâmina livre é mais alta que a plataforma. Na porção aboral, a cavidade basal é ampla, profunda e se continua como sulco sob a porção aboral da lâmina livre.

Discussão: Os espécimes estão quebrados na porção posterior da plataforma e a porção preservada não apresenta junção com a carena em nenhum momento, característica que define *N. medadultimus*. Além disso, não são simétricos para serem considerados *N. symmetricus*. A presença de carena subcentral e mais próxima ao parapeito externo, são características de *N. bassleri*, que não foram aqui observadas. Assim como a natureza

da carena fusionada por todo comprimento da plataforma que distingue *N. bothrops*, (Merrill, 1972). Assim, como os dois elementos examinados não apresentaram características possíveis de serem enquadrados em alguma das espécies já descritas, foram aqui considerados *Neognathodus* sp.

Elementos encontrados: 2 espécimes.

Material estudado: Poço 20.

Adetognathus lautus Gunnell, 1933

Cavusgnathus lautus Gunnell, 1933, p. 286, pl. 31, figs. 67, 68; pl. 33, fig. 9; Webster, 1969, p. 28, pl. 4, figs. 9a-b; Campanha & Rocha-Campos, 1979, p. 61, 62, pl. 1, figs. 1, 2.

Cavusgnathus gigantus Gunnell, 1933, p. 286, pl. 33, figs. 7, 8; Webster, 1969, p. 26, pl. 4, figs. 6a-b; Campanha & Rocha-Campos, 1979, p. 61, 62, pl. 1, figs. 10-12.

Cavusgnathus missouriensis Gunnell, 1933, p. 286, pl. 33, figs. 10, 11.

Cavusgnathus lauta (Gunnell). Ellison, 1941, p. 126, pl. 21, figs. 47, 48.

Cavusgnathus giganta Gunnell. Ellison, 1941, p. 126, pl. 21, figs. 44, 45, 49; Ellison & Graves, 1941, pl. 3, fig. 3; Youngquist & Downs, 1949, p.162, pl. 30, figs. 18-20; McLaughlin, 1952, p. 620, pl. 83, figs. 3, 4, 6, 7.

Cavusgnathus flexa Ellison, 1941, p. 126, pl. 21, figs. 42, 43, 46.

Cavusgnathus unicornis Youngquist & Miller. Stibane, 1967, p. 333, Taf. 35, figs. 1-5; Koike, 1967, p. 294, 295, pl. 1, figs. 2, 3.

Cavusgnathus regularis Youngquist & Miller. Stibane, 1967, p. 333, Taf. 35, figs. 8-10, 14-19.

Cavusgnathus sp. A. Koike, 1967, p. 295, pl. 1, figs. 4 a, 4b.

Adetognathus giganta (Gunnell). Lane, 1967, p. 931, pl. 120, figs. 16, 18, 19; pl. 121, figs. 8, 12, 13, 16.

Adetognathus lauta (Gunnell). Lane, 1967, p. 933, pl. 121, figs. 1-5, 7, 10, 11, 14, 15, 17, 18; Dunn, 1970, p. 327, pl. 61, figs. 1, 4.

Adetognathus sp. Lane, 1967, p. 934, pl. 122, figs. 3, 8.

Adetognathus gigantus (Gunnell). Dunn, 1970, p. 325, pl. 61, figs. 2, 3.

Adetognathus spathus (Dunn). Dunn, 1970, p. 327, pl. 61, fig. 11.

Adetognathus inflexus Dunn, 1970, p. 327, pl. 61, figs. 8-10, 15, 16.

Adetognathus lautus (Gunnell). Tynan, 1980, p. 1292, pl. 2, figs. 12, 13, 20-22; Lemos, 1990a, p. 31, pl. 1, figs. 1-9; Neis, 1996, p. 31, pl. 7, fig. 3.

Descrição: em vista superior, o elemento *Pa* tem a lâmina livre denticulada, onde o dentículo mais posterior tem o dobro do tamanho dos outros dentículos e se fixa ao lado direito da plataforma. A plataforma é longa, estreita, com margens ornamentadas por nódulos e suaves costelas transversais. A margem interna, por vezes, é sinuosa.

Em vista lateral a plataforma é suavemente arqueada. A cavidade basal é assimétrica e mais profunda no terço anterior da porção aboral da plataforma.

Discussão: Dos três espécimes estudados, somente um possui a lâmina livre preservada. Este único tem a margem interna sinuosa e o dentículo posterior de maior tamanho, sendo esta uma forma direita. Para Lane (1967) esta forma foi considerada como *Adetognathus* sp. que somente diferente de *Adetognathus gigantus* por ser sinuosa, sendo uma subespécie de *A. gigantus*. Os outros dois espécimes parecem com *Adetognathus spathus* de Dunn (1966), por terem a porção posterior semelhante a uma “espátula”. Porém, foram aqui incluídos em *A. lautus* por acreditar-se que, juntamente com *A. gigantus*, que somente se diferencia por ser uma forma esquerda, façam parte de um morfotipo denominado *Adetognathus lautus* (Brown et al., 1991). Assim, os espécimes aqui encontrados receberam esta designação.

Elementos encontrados: 24 espécimes.

Material estudado: Poços 1, 5, 11, 15, 19, 21, pedreiras 1 e 2 e afloramento na beira do Rio Tapajós.

Distribuição estratigráfica mundial: Morrowano – Permiano inferior (Sakmario).

Distribuição paleobiogeográfica mundial: América do Norte, América do Sul, Europa, Ásia.

Ordem OZARKODINIDA Dzik, 1976

Família SWEETHOGNATHIDAE Ritter, 1986

Gênero *Diplognathodus* Kozur & Merrill *in* Kozur, 1975

[*Spathognathodus coloradoensis* Murray & Chronic, 1965; OD].

Espécie-tipo:

Spathognathodus coloradoensis Murray & Chronic, 1965.

Diagnose: Aparelho seximembrado. Elemento Pa scaphate. Lâmina livre com mesmo comprimento da carena, parcial ou completamente fusionada a carena, na plataforma; cavidade basal de contorno subelíptico, com a porção mais profunda localizada na plataforma; Pb angulate, M dolabrate, Sa alate com processo posterior bem desenvolvido e os elementos Sb e Sc bipennate.

Diplognathodus orphanus (Merrill, 1973)

Spathognathodus orphanus Merrill, 1973, p. 309, pl. 3, figs. 45-56.

Spathognathodus ellisoni Merrill, 1973, p. 305, pl. 1, figs. 17-22, 25-27.

Diplognathodus coloradoensis (Murray & Chronic). Landing & Wardlaw, 1981, p. 1257, pl. 1, figs. 1, 2, 3, 6, 7, 9, 10.

Diplognathodus orphanus Merrill. Lemos, 1990a, p. 84, pl. 2, fig. 6; pl. 6, fig. 5; pl. 13, fig. 11; Neis, 1996, p. 64, pl. 8, fig. 1.

Descrição: Em vista lateral o elemento Pa é suavemente arqueado. A lâmina livre possui aproximadamente o dobro da altura da carena. Contém de seis a oito dentículos, que são mais altos que os da carena, fusionados por cerca de dois terços de sua altura. A carena possui quatro a seis dentículos curtos e também fusionados formando uma fileira de

dentículos com pontas livres. Entre o último dentículo da lâmina livre e o primeiro da carena existe um dentículo suprimido. Os dentículos da carena são semelhantes entre si, inclinando-se suavemente em direção ao final posterior. Em vista aboral a cavidade basal é expandida, profunda e assimétrica.

Discussão: Merrill (1973) descreve *D. orphanus* e faz algumas considerações a respeito desta nova espécie. Observa uma similaridade da localização da cavidade basal dos elementos de *D. orphanus* e aqueles de *Gnathodus commutatus*, porém em *D. orphanus* a cavidade basal é mais expandida. A forma da cavidade seria semelhante à de alguns *Neognathodus pensilvanianos*, mas a filogenia deste gênero é bem conhecida e *D. orphanus* seria incompatível com a linha evolutiva de *Neognathodus*. Merrill (1975) sugeriu que um ancestral não denominado de *D. coloradoensis* teria sido o precursor de *D. orphanus*, bem como do típico *D. coloradoensis*.

Os espécimes aqui estudados foram descritos como *D. orphanus* devido a características tais como lâmina livre com um perfil lateral arqueado e a carena denticulada. Caracteres estes que os diferenciam de *D. coloradoensis* que possui carena com suaves dentículos até não denticulada e não é arqueado lateralmente.

Elementos encontrados: 42 espécimes.

Material estudado: Poços 2, 11 e 21.

Distribuição estratigráfica mundial: Atokano.

Distribuição paleobiogeográfica mundial: América do Norte, América do Sul, Europa, África.

Diplognathodus coloradoensis (Murray & Chronic, 1965)

Spathognathodus coloradoensis Murray & Chronic, 1965, p. 606-607, pl. 72, figs. 11-13
Webster, 1969, p. 44, pl.7, fig. 7; Merrill, 1973, p. 304, pl.3, figs. 20-42.

Diplognathodus coloradoensis (Murray & Chronic) Merrill, 1975, p. 48-50, figs. 16: 40, 17: 16; Landing & Wardlaw, 1981, p. 1257-1259, pl. 1, figs. 4, 5, 8; Lemos, 1990a, p. 81, pl. 13, fig. 10; Neis, 1996, p. 62, pl. 8, fig. 2.

Descrição: Em vista lateral o elemento é, em geral, pequeno e raramente suavemente arqueado. A lâmina livre possui quatro a seis dentículos de tamanho relativamente uniforme. A carena consiste de aproximadamente a metade do tamanho do elemento, não denticulada (*spatula*), separada da lâmina livre por um entalhe proeminente. A carena é mais baixa que a lâmina livre. Em vista aboral a cavidade basal é larga e simétrica, profunda bem abaixo da carena e se continua como sulco na porção aboral da lâmina livre.

Discussão: Os espécimes estudados são distinguidos de *D. orphanus* por possuírem uma carena não denticulada, lâmina livre com dentículos uniformes e mais baixos que aqueles de *D. orphanus* e um entalhe proeminente na junção da lâmina livre e a carena.

Elementos encontrados: 39 espécimes.

Material estudado: Poços 11, 20, 21 e pedreira 1.

Distribuição stratigráfica mundial: Atokano.

Distribuição paleobiogeográfica mundial: América do Norte, América do Sul, Europa, África.

Diplognathodus ellesmerensis Bender, 1980

Diplognathodus ellesmerensis n. sp. Bender, 1980, p. 9-10, pl. 4, figs. 5-7, 11, 15-21, 23-25.

Diplognathodus orphanus (Merrill, 1973); Grubbs, 1984, p. 69, pl. 1, fig. 3.

Descrição: Em vista lateral o elemento é pequeno. A lâmina livre é duas vezes a altura da carena. Consiste de quatro a cinco dentículos, onde o mais alto está localizado próximo à junção com a carena. Em alguns espécimes este dentículo se inclina suavemente em direção à carena. Os dentículos da carena são baixos. Em geral o terceiro ou quarto dentículo mais posterior é o mais alto. O final posterior é pontiagudo. Em vista aboral a cavidade basal é larga e simétrica, estendendo-se até aproximadamente a metade da lâmina livre.

Discussão: *D. ellesmerensis* é diferenciado de *D. orphanus* principalmente pelos dentículos da carena que não são fusionados, pelo final posterior pontiagudo e pelo dentículo mais posterior da lâmina livre que é o mais alto e se inclina em direção à carena.

Elementos encontrados: 44 espécimes.

Material estudado: Poços 11 e 21.

Distribuição estratigráfica mundial: Atokano.

Distribuição paleobiogeográfica mundial: América do Norte, América do Sul, Europa, África.

Ordem OZARKODINIDA Dzik, 1976

Família ANCHIGNATHODONTIDAE Clark, 1972

Gênero *Hindeodus* Rexroad & Furnish, 1964

Espécie-tipo: *Spathognathodus cristula* Youngquist & Miller, 1949.

Diagnose: Aparelho seximembrado. Elemento Pa scaphate, Pb angulate, M dolabrate ou dygirate com um processo lateral não denticulado, Sa alate, Sb dygirate e Sc bipenate.

Hindeodus minutus (Ellison, 1941)

Spathodus minutus Ellison, 1941, p. 120, pl. 20, figs. 50-52.

Spathognathodus minutus (Ellison). Ellison & Graves, 1941, p. 3, pl. 2, figs. 1, 3, 5 ; Igo & Koike, 1964, p. 188, pl. 9, figs. 16-18 ; Koike, 1967, p. 311, pl. 3, figs. 39-42 ; Webster, 1969, p. 44, pl. 7, fig. 4 ; Dunn, 1970, p. 339, pl. 61, figs. 27-30; Merrill, 1973, p. 305-308, pl. 2, figs. 1-14, pl. 3, figs. 1-28; Lane & Straka, 1974, p. 101, figs. 44 (7-12).

Spathognathodus echigoensis Igo & Koike, 1964, p. 187, pl. 28, fig. 24.

Spathognathodus coloradoensis Murray & Chronic. Koike, 1967, p. 310, pl. 3, figs. 23, 24.

Spathognathodus cristula Youngquist & Miller. Stibane, 1967, p. 335, pl. 35, figs. 21-25.

Ozarkodina minutus (Ellison). Baesemann, 1973, p. 704-706, pl. 2, figs. 1-15, 19, 20.

Hindeodus minutus (Ellison). Merrill & Powell, 1980, pl. 1, figs. 36-44.

Descrição: Em vista lateral o elemento é largo, robusto e arqueado, denominado como cunha oral. O dentículo mais anterior é o mais alto, por vezes com uma forma subtriangular. Ao longo do elemento ocorrem seis a oito dentículos, parcialmente a não fusionados e relativamente de mesmo tamanho. O final posterior é pontiagudo. Em vista aboral a cavidade basal, ou cunha aboral, é côncava e mais profunda abaixo da porção posterior do elemento.

Discussão: Os elementos Pa de *Hindeodus* e *Diplognathodus* são superficialmente semelhantes e foram inicialmente descritos como pertencentes ao mesmo gênero. Porém, atualmente sabe-se que os ancestrais que deram origem a estes dois taxa são distintos. Além disto, podem ser observadas diferenças morfológicas significativas tais como a presença de lâmina livre (região anterior) e carena (região posterior) em *Diplognathodus*. Enquanto *Hindeodus* é fortemente arqueado, descrito como uma cunha oral e aboral e não possui o entalhe característico de *Diplognathodus*.

Elementos encontrados: 6 espécimes.

Material estudado: Poço 10 e pedreira 1.

Distribuição estratigráfica mundial: Mississipiano superior – Permiano inferior (Artinskiano).

Distribuição paleobiogeográfica mundial: América do Norte, América do Sul, Europa, Ásia.

Ordem PRIONIODINIDA Sweet, 1988

Família PRIONIODINIDAE Bassler, 1925

Gênero *Idioprioniodus* Gunnell, 1933

Espécie-tipo: *Idioprioniodus typus* Gunnell, 1933.

Diagnose: Este gênero possui um aparelho multielemental. Elemento Pa e Pb são digyrate, M dolabrate e os elementos S compõem uma série de transição simétrica (Sa, Sb, Sc) alate, digyrate e bipennate, com cúspide larga e processo curto e esparsamente denticulado.

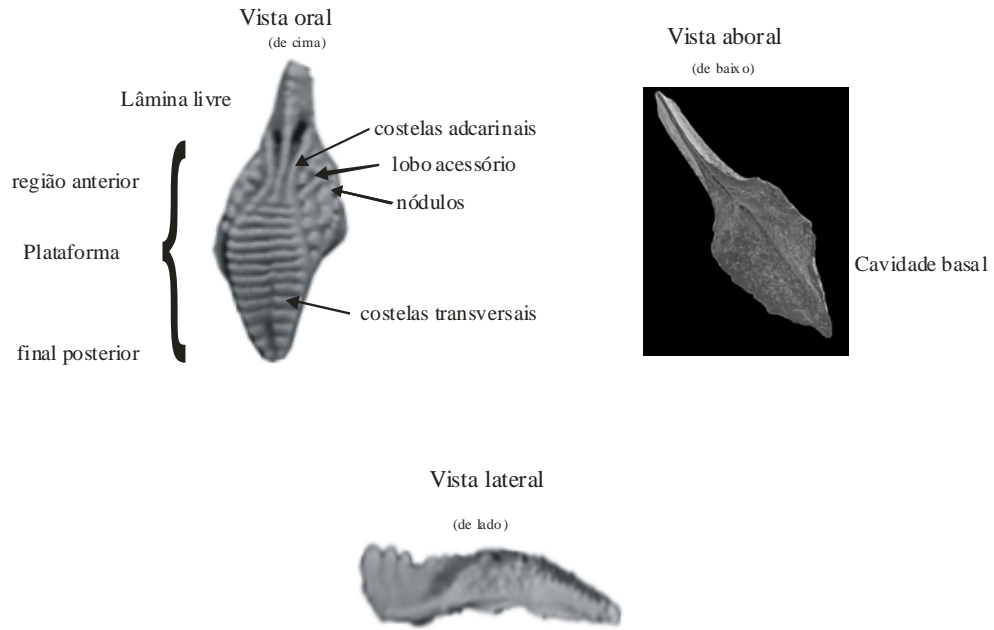
***Idioprioniodus* sp.**

Descrição: O elemento Sc possui cúspide superior larga, pontiaguda e suavemente curvada. A cavidade basal tem a porção anterior arredondada e maior profundidade abaixo da cúspide superior.

Discussão: O material estudado está muito fragmentado, por isso optou-se pela designação genérica *Idioprioniodus* sp.

Elementos encontrados: 5 espécimes.

Material estudado: Poços 7, 10, 13 e Pedreira 1.



5. ZONEAMENTO BIOESTRATIGRÁFICO PARA O PENNSILVANIANO COM BASE EM CONODONTES

5.1. Introdução

Conodontes são microfósseis marinhos que viveram nos mares do Paleozóico e Triássico. Sua abundância e *ampla* ocorrência mundial torna-os excelentes indicadores bioestratigráficos e paleoecológicos. A distribuição estratigráfica de algumas espécies possibilita o reconhecimento de seqüências com mais de 100 unidades bioestratigráficas, descritas como zonas e subzonas por Sweet & Bergström (1981) para a América do Norte.

Biozonas de conodontes vem sendo definidas e correlacionadas no Pensilvaniano em três regiões paleogeográficas: América do Norte, oeste da Europa e Rússia (**Fig. 5.1a**). Nestas áreas foram estabelecidos estágios para a Série Pensilvaniana, porém estes estágios têm um âmbito regional devido ao provincialismo paleobiogeográfico no início do Carbonífero, com a glaciação ocorrida no Gondwana. Dentre tais regiões será aqui discutido o zoneamento bioestratigráfico em conodontes na América do Norte (**Fig. 5.1b**) e correlacionado com as zonas estabelecidas para a Bacia do Amazonas (**Fig. 5.1.c**), abordando-se os estudos realizados até hoje em nível regional e global, mencionando-se também, sempre que possível, as biozonas definidas por outros fósseis como fusulinídeos, amonóides e palinomorfos e os limites cronoestratigráficos relacionados, por vezes síncronos, mas muitas vezes diácronos as biozonas de conodontes.

As rochas sedimentares Pensilvanianas do Midcontinent Americano foram acumuladas em uma cadeia de bacias de frente de arco (*foreland*), situadas logo ao norte do equador. Esta área foi bordejada a N e NE por uma região cratônica e a NW e S por blocos montanhosos dobrados e falhados. As margens SE e S da cadeia de bacias *foreland* receberam grande quantidade de sedimentos siliciclásticos das montanhas Apalaches e Ouachita-Marathon. Para W e N a cadeia de bacias foi mais preenchida por sedimentos marinhos de granulação fina e o registro de conodontes e outros microfósseis é mais contínuo, como observado na Bacia de Illinois. Nas regiões ocupadas pelo mar, o registro das rochas sedimentares Pensilvanianas ocorreu através de ciclotemas, com a presença de conodontes em depósitos como Iowa, Kansas, Illinois e Indiana.

5.2. Biozonas de conodontes da América do Norte – Midcontinent Americano

O Pensilvaniano na região do Midcontinent Americano é subdividido nos Estágios Morrowano, Atokano, Desmoinesiano, Missouriano e Virgiliano, com estratotipos descritos em Arkansas, Oklahoma, Iowa, Missouri, Nebraska e Kansas (**Fig. 5.1b**). Os intervalos bioestratigráficos foram definidos em zonas de conodontes e fusulinídeos.

Para o Morrowano foram definidas oito zonas, para o Atokano e Desmoinesiano foram sugeridas seis zonas e para o Missouriano e Virgiliano dez zonas. O Morrowano é um andar muito importante na evolução dos conodontes, pois durante este intervalo teve origem a maior parte dos conodontes do Pensilvaniano e Permiano. *Rhachistognathus*, *Neognathodus*, *Declinognathodus*, *Idiognathoides*, *Diplognathodus*, *Idiognathodus*, *Streptognathodus* e *Gondolella* são os fósseis índices. A variação morfológica a partir deste andar é muito grande, contudo, essa diversidade é muitas vezes devida a fatores paleoecológicos mais do que fatores evolutivos, dificultando o estabelecimento da sucessão zonal em direção ao meso-neopensilvaniano.

O nome Morrowano é derivado da cidade de Morrow, Arkansas, onde foi definida a seção-tipo deste estágio, em estratos marinhos e não marinhos, por Adams (1904). O limite superior deste estágio foi estabelecido por fusulinídeos mais avançados que *Millerella*. O Atokano foi nomeado pela primeira vez por Spivey & Roberts (1946), em intercalações de centenas de metros de arenitos e folhelhos não fossilíferos, em Oklahoma, porém uma seção-tipo não foi estabelecida e os limites, tanto inferior quanto superior, eram, e ainda são, controversos.

O Desmoinesiano foi descrito por Keyes (1893) e seus limites, inferior e superior, são considerados coincidentes com a zona de *Fusulina*. A seção-tipo foi estabelecida em depósitos ao longo do Rio Des Moines, em Iowa. Atualmente, esta área é conhecida como uma sucessão de exposições pobres e descontínuas, depositadas em uma superfície erosiva do Mississípiano Superior (Groves & Grayson, 1984). Heckel et al. (1999) propõem um novo estratotipo para o limite Desmoinesiano - Missouriano, que pode ser traçado desde Iowa, se estendendo por toda área de plataforma do Midcontinent até a região mais profunda no centro de Oklahoma e sul do Kansas. Este limite pode ser traçado por toda região do

Midcontinent, reconhecido na Bacia de Illinois, na região da Texas (Bacia Midland), em Utah e pode ser determinado na Bacia Apalachiana, apesar do hiato crescente em direção a ela. Conseqüentemente é um limite cronoestratigráfico útil nesta região que foi coberta pelo mar durante o Pensilvaniano.

O Missouriano foi descrito por Keyes (1893) e Moore (1931) em carbonatos acima do Desmoinesiano, no Missouri, embora sem proposição de uma seção-tipo. Mais tarde, Moore & Thompson (1949) reconheceram a base do Missouriano na base da zona de *Triticites*.

Moore (1931) nomeou o Virgiliano em rochas do Pensilvaniano Superior no Kansas, porém não existem estratos Missourianos, nem Permianos nesta área, não havendo continuidade com estratos acima e abaixo deste estágio na área tipo, tornando a seção-tipo incompleta. O limite inferior do Virgiliano foi definido por Spivey & Roberts (1946) na zona de *Triticites secalicus* e *Triticites oryziformis*.

Alguns destes estágios foram inicialmente definidos como formação, depois estágio, mais tarde como Série e finalmente como Estágio novamente. A definição cronoestratigráfica para o Pensilvaniano da América do Norte é ainda confusa pelo fato dos Estágios terem seus estratotipos descritos regionalmente, complicando mais ainda a tentativa de correlação interregional devido às discontinuidades entre os depósitos referentes aos diferentes estágios nas regiões do Midcontinent Americano. Na América do Norte foi proposta a utilização de Pensilvaniano Inferior, Médio e Superior, abandonando o uso de Morrowano, Atokano, Desmoinesiano, Missouriano e Virgiliano, como Série, mas podendo utilizá-los como Estágios. Os nomes Pensilvaniano Inferior, Médio e Superior são recomendados pelo Comitê de nomes geológicos do U.S. Geological Survey (USGS). De acordo com Peppers (1996) estas designações podem ser consideradas como Série e podem ser utilizadas na região dos Apalaches e em outras áreas dos Estados Unidos, porém na região do Midcontinent devem ser utilizados os nomes Morrowano, Atokano, Desmoinesiano, Missouriano e Virgiliano.

Atualmente, os estratígrafos do Midcontinent consideram o Pensilvaniano Inferior equivalente ao Estágio Morrowano, o Pensilvaniano Médio equivalente aos Estágios Atokano e Desmoinesiano e o Pensilvaniano Superior equivalente aos Estágios Missouriano e Virgiliano.

Os primeiros estudos sobre conodontes do Pensilvaniano na América do Norte iniciaram com os clássicos trabalhos de Gunnell (1931), Stauffer & Plummer (1932), Harris & Holingsworth (1933), Ellison (1941), Lane & Straka II (1974), dentre outros.

5.2.1. O Morrowano na América do Norte

Conodontes do Morrowano foram descritos em Oklahoma, Kansas e Arkansas, no centro - sul do Midcontinent. Nestas regiões foram determinadas cinco principais unidades bioestratigráficas caracterizadas por *Rhachistognathus muricatus*, *Declinognathodus noduliferus*, *Neognathodus symmetricus*, *Neognathodus bassleri* e *Idiognathoides ouachitensis*. A primeira ocorrência de *Declinognathodus noduliferus* caracteriza a base do Morrowano, logo acima do limite Mississipiano – Pensilvaniano. O gênero *Idiognathoides*, dominante nos estratos do Morrowano superior, caracteriza o limite superior com o desaparecimento de *Idiognathoides convexus* (Lambert et al. 2001). A zona de assembléia de *Declinognathodus noduliferus* - *Idiognathoides convexus* caracteriza a maior parte do Morrowano, sendo que *Declinognathodus noduliferus* corresponde à porção inferior do Morrowano e *Idiognathoides convexus*, à porção superior, no sul do Midcontinent (Grayson, 1984).

Nas tabelas de biozonas de conodontes desde o Cambriano ao Triássico, sugeridas por Sweet (1988), o Pensilvaniano é representado por oito biozonas para o Morrowano, determinadas pelo primeiro aparecimento da espécie que dá nome à zona (**Fig. 5.2**). As biozonas para o Morrowano são: *Rhachistognathus primus*, *Idiognathoides sinuatus* – *Rhachistognathus minutus*, *Neognathodus symmetricus*, *Neognathodus bassleri*, *Idiognathodus sinuosus*, *Idiognathodus klapperi*, *Idiognathoides convexus* e *Idiognathoides ouachitensis*.

Grayson (1984) estudando estratos da Formação Wapanucka, sul de Oklahoma, adiciona à zona de *Idiognathoides ouachitensis* a espécie *Neognathodus* sp. A. e sugere que esta zona seja denominada *Idiognathoides ouachitensis* - *Neognathodus* sp. A. Ainda, associando a ocorrência de *Eoschubertella*, aquele autor amplia esta zona de *Idiognathoides ouachitensis* - *Neognathodus* sp. A para a porção inferior do Atokano. Porém, Grubbs (1984) considera a Formação Wapanucka completamente Morrowana, baseando-se na análise de mais de 100 lâminas

petrográficas de carbonatos onde foi registrado somente o foraminífero *Millerella*, não ocorrendo *Eoschubertella*, *Pseudostaffella*, nem *Profusulinella*. O gênero *Idiognathoides* é característico do intervalo nomeado por Grubbs (1984) e pelo fato de *Neognathodus* sp. A. não ocorrer na Formação Wapanucka na porção das Montanhas Arbuckle, somente na área das Montanhas Ouachita- Marathon (Groves & Grayson, 1984), as quais tem uma conotação paleoecológica de águas mais profundas que as águas rasas das Montanhas Arbuckle, Grubbs (1984) sugere que a zona seja denominada somente *Idiognathoides ouachitensis*.

Assim, o Morrowano é principalmente caracterizado por conodontes como *Neognathodus symmetricus* e *Rhachistognathus muricatus* que marcam os estratos mais basais do Morrowano e pelo gênero *Idiognathoides* principalmente com as espécies *Id. ouachitensis* e *Id. sinuatus*, nas porções mais superiores do intervalo.

5.2.2. O Atokano na América do Norte

Tradicionalmente o Atokano é caracterizado por foraminíferos mais avançados que *Millerella*, incluindo *Pseudostafella*, *Ozawainella*, *Profusulinella* e *Fusulinella*. A Formação Atoka foi transformada em Série Atoka, seção-tipo em Oklahoma, caracterizada pela presença de *Pseudostafella*, *Ozawainella*, *Profusulinella*, *Fusiella* e *Fusulinella*. Entretanto, Grubbs (1984) demonstrou que esta seção é incompleta e inadequada para seção-tipo, devido ao gênero *Profusulinella* ocorrer em várias outras áreas, na porção média do Atokano.

A controvérsia com relação ao Atokano também está associada ao problema da seção-tipo, por não existir uma definição razoável em relação aos limites deste estágio e pela falta de consenso entre lito e bioestratigrafia. O limite Morrowano – Atokano tem variado entre a base, meio e topo das zonas de várias espécies de *Neognathodus*. Sutherland & Manger (1984) definem a base do Atokano no aparecimento de *Eoschubertella* e *Diplognathodus*. Outros autores também utilizaram o aparecimento de *Diplognathodus* para identificar este limite (Lane, 1977, Bender, 1980), porém von Bitter & Merrill (1990) defendem seu aparecimento já no Morrowano. Outros autores utilizaram *Idiognathodus incurvus* como índice do Atokano inferior (Dunn, 1966), contudo Grayson et al. (1989) sugerem que esta espécie ocorre a partir da metade do Atokano.

Biozonas informais baseadas em conodontes, foram propostas para o Atokano. Embora ainda existam muitos problemas, discutidos acima, observa-se que muitas espécies dos gêneros *Declinognathodus* e *Idiognathoides* se extinguem no Atokano e que outras são típicas deste estágio, como *Diplognathodus* e novas linhagens de *Idiognathodus* e *Neognathodus*.

Grayson (1984) cita duas zonas de assembléia, *Idiognathoides convexus* e *Idiognathodus* sp. A. – *Diplognathodus* spp., as quais ocorrem na Formação Wapanucka e parte mais inferior da Formação Atoka, respectivamente topo do Morrowano e base do Atokano e descreve duas zonas de assembléias, *Idiognathoides marginodosus* e *Neognathodus atokaensis*, para o mesoatokano, na Formação Atoka, sul de Oklahoma.

Sweet (1988), em sua revisão sobre as ocorrências de conodontes, posiciona *Neognathodus bassleri* como o mais antigo desta linhagem, do Morrowano médio ao Atokano, *Neognathodus bothrops* do Morrowano superior ao Desmoinesiano e *Neognathodus atokaensis* como forma típica do Atokano.

Lambert et al. (2001) propõem biozonas de conodontes para o Atokano estudando as espécies *Neognathodus* sp., *N. atokaensis* e *N. colombiensis*. Estes autores relatam que o limite entre os andares Morrowano e Atokano vem sendo considerado também por outros autores como dentro da zona de *Neognathodus* sp. Para Lambert et al. (2001) o Atokano médio seria representado pela zona de *Neognathodus atokaensis* e a zona de *Neognathodus colombiensis* representaria o Atokano superior (**Fig. 5.3a**).

Os estudos sobre zoneamento bioestratigráfico do Pensilvaniano Inferior e Médio continuam em desenvolvimento, tendo como foco o estabelecimento taxonômico e ocorrências mais precisas de conodontes. Tais procedimentos, sem dúvida, auxiliarão na definição de zonas formais para o Atokano.

5.2.3. Desmoinesiano-Missouriano-Virgiliano na América do Norte

O limite Atokano - Desmoinesiano não está definido, mas é sugerido na base da zona de *Fusulinella/Fusulina* (*Beedeina*) (Sutherland & Manger, 1984; Lambert et al., 2001).

Os estratos do Pensilvaniano no Midcontinent Americano compreendem uma seqüência deposicional formada pela sucessão de ciclos marinho/não marinhos em

resposta a eventos glacio-eustáticos. Diversas faunas marinhas incluindo conodontes, fusulinídeos e amonóides, ocorrem nesta sucessão de seqüências entre o Desmoinesiano e Virgiliano.

Uma evolução muito rápida das linhagens de gêneros de conodontes como *Idiognathodus* e *Streptognathodus* é observada entre estas seqüências sucessivas. A presença desses eventos evolutivos associados com os grandes eventos eustáticos é uma ótima combinação de critérios para a definição e correlação global de limite cronoestratigráficos para os estágios do Pensilvaniano Superior.

Assim como para o Pensilvaniano Médio, biozonas de conodontes para o Pensilvaniano Superior da América do Norte ainda não foram definidas formalmente, mas o trabalho de Barrick & Heckel (2000) apresenta várias possibilidades com os gêneros *Neognathodus*, *Gondolella* e principalmente *Idiognathodus* e *Streptognathodus*, porque tais gêneros estão entre os *taxa* mais comuns e amplamente distribuídos nos estratos do Pensilvaniano Superior.

Uma grande variedade de morfotipos de *Idiognathodus* é reconhecida na Bacia de Illinois, mas a distribuição estratigráfica de cada um ainda não foi totalmente compreendida (Rexroad et al., 2001).

Streptognathodus e *Idiognathodus* vêm sendo cada vez mais utilizados para o refinamento dos estratos cíclicos da região do Midcontinent Americano por meio da identificação de morfotipos distintos baseados na morfologia da plataforma de elementos Pa. Porém, devido a grande variação ecológica dos elementos Pa, que gera abundância de nomes específicos, a consolidação dos intervalos que esses morfotipos delimitam, torna-se um processo lento e difícil.

Diplognathodus e *Gondolella* oferecem grande potencialidade para o refinamento do zoneamento do Desmoinesiano em conodontes, mas seus limites estratigráficos ainda não foram suficientemente bem definidos.

Rexroad et al. (1998, 2001) discutem sobre a linhagem de *Neognathodus* na Bacia de Illinois. *Neognathodus atokaensis* é considerado como típico do Atokano e morfotipos como *Neognathodus bassleri*, *N. medadultimus*, *N. medexultimus*, *N. bothrops*, *N. roundy* e *N. dilatatus*, tem valor biofaciológico, com potencial definidor de biozonas para o Atokano e Desmoinesiano. O gênero *Neognathodus* e seus morfotipos são típicos dos estágios Atokano e Desmoinesiano, sendo que *Neognathodus medadultimus*, *N. roundy* e *N. dilatatus* ocorrem principalmente no

Desmoinesiano. O gênero *Neognathodus* se extingue na passagem do Desmoinesiano para o Missouriano, sendo este fato importante na determinação deste limite.

Lambert et al. (2001) sugerem para o Desmoinesiano do Midcontinent Americano as biozonas *Neognathodus caudatus*, *Neognathodus asymmetricus* e *Neognathodus dilatus*. Os referidos autores consideram suficientemente descritas e ilustradas as espécies importantes dos gêneros *Neognathodus*, *Idiognathodus* e *Streptognathodus*, de modo que podem ser utilizadas para correlação bioestratigráfica para o Desmoinesiano superior ao Virgiliano.

Os gêneros mais importantes do Missouriano são *Idiognathodus*, *Streptognathodus*, *Diplognathodus* e algumas espécies do gênero *Gondolella*. Barrick & Heckel (2000) propõem quatro biozonas para o Missouriano: *Idiognathodus eccentricus*, *Streptognathodus cancellosus*, *S. gracilis* e *Idiognathodus simulator* (**Fig. 5.3b**).

O Virgiliano é caracterizado principalmente pela presença de novas linhagens de *Idiognathodus*, *Streptognathodus* e *Gondolella*. A base do Virgiliano é proposta em diferentes níveis, na região do Midcontinent Americano (Boardman et al., 1994). Barrick & Heckel (2000) a colocam no ciclotema Cass, porção mediana do Grupo Douglas, em Kansas, onde se dá o primeiro aparecimento de *Streptognathodus zethus*. O topo do Virgiliano é definido na base da zona de *Streptognathodus pawhuskaensis deflectus*. A rápida diversificação de *Streptognathodus* produziu uma série de espécies de curta ocorrência, muitas das quais poderão ser utilizadas para um refinamento mais preciso do Pensilvaniano Superior em direção ao Permiano, quando as dúvidas com relação à taxonomia e distribuição estratigráfica destas espécies forem resolvidas.

5.3. Zonas de conodontes no Pensilvaniano da Bacia do Amazonas

No Brasil, conodontes vem sendo estudados principalmente no Pensilvaniano da Bacia do Amazonas, abrangendo os estágios/andares Morrowano, Atokano e Desmoinesiano, respectiva e tradicionalmente representados pelas Formações Monte Alegre, Itaituba e Nova Olinda (veja **Fig. 1.4**). Estes estratos têm o maior enfoque, principalmente devido às condições ambientais mais favoráveis para ocorrência e preservação desses organismos.

O Morrowano é caracterizado por espécies típicas como *Rhachistognathus muricatus* e *Neognathodus symmetricus*, encontrados nos estratos superiores da Formação Monte Alegre, representada por arenitos eólicos, e porção basal da Formação Itaituba, caracterizada por carbonatos marinhos intercalados por evaporitos e delgados pacotes siliciclásticos. O limite Morrowano – Atokano é sugerido na base da Formação Itaituba. O Atokano abrange toda Formação Itaituba, caracterizado por espécies típicas deste intervalo como *Idiognathodus incurvus*, *Neognathodus atokaensis* e *Diplognathodus orphanus*. O limite Atokano – Desmoinesiano tem sido considerado entre o topo da Formação Itaituba e base da Formação Nova Olinda, composta por espessos pacotes evaporíticos de ambiente marinho restrito. Porém ainda não foi possível definir exatamente este limite, pois os conodontes que ocorrem neste intervalo são considerados como Atokano – eodesmoinesianos, tais como *Neognathodus medadultimus* e *N. roundyi*.

Os depósitos Pensilvanianos foram analisados para conodontes pela primeira vez por Fúlfaro (1965), mas foi a partir de Lemos (1990a) que tiveram início os trabalhos de cunho bioestratigráfico e paleoecológico. Outros trabalhos como Lemos & Medeiros (1996a), Neis (1996), Scomazzon (1999), Lemos & Scomazzon (2001), Scomazzon et al. A (submetido) e Nascimento et al. (submetido) entre outros, tem explorado diferentes poços, ou afloramentos ou diferentes intervalos dentro dos estratos Pensilvanianos, com objetivo de estabelecer o zoneamento bioestratigráfico para as regiões ainda não estudadas e refinar aquele já existente em regiões onde já tenha sido estabelecida uma idade através dos conodontes.

Lemos (1990a) definiu três zonas de associação para o Pensilvaniano da Bacia do Amazonas: i) zona de *Neognathodus symmetricus*/ *Rhachistognathus muricatus* (Formação Monte Alegre e parte inferior da Formação Itaituba - Morrowano), ii) zona de *Diplognathodus orphanus* / *Diplognathodus coloradoensis* (parte média e superior da Formação Itaituba - Atokano) e iii) zona de *Streptognathodus elongatus* / *Idiognathodus ellisoni* (base da Formação Nova Olinda - Virgiliano). Esta última zona é redefinida em Lemos & Scomazzon (em preparação) para *Idiognathodus incurvus* – *Idiognathodus claviformis* neo-atokano – eodesmoinesiano.

A zona de *Neognathodus symmetricus* - *Rhachistognathus muricatus* tem seu limite inferior definido pelo primeiro aparecimento de *Neognathodus symmetricus* e

o limite superior se dá pelo aparecimento de *Diplognathodus orphanus* e *D. coloradoensis*. A associação ainda inclui *Neognathodus bassleri*, *Hindeodus minutus*, *Adetognathus lautus*, *Declinognathodus noduliferus*, *Idiognathoides sinuatus*, *Streptognathodus suberectus* e *Streptognathodus expansus*. Pode ser relacionada à zona de *Neognathodus bassleri* (Lane, 1977) e *Neognathodus symmetricus* (Whiteside & Grayson, 1990 e Sutherland & Grayson, 1992) da América do Norte.

A zona de *Diplognathodus orphanus* - *Diplognathodus coloradoensis* é limitada na base pelas espécies que denominam a zona e no topo pelo desaparecimento de *Diplognathodus orphanus*. A fauna de conodontes compreende ainda *Declinognathodus noduliferus*, *Idiognathoides sinuatus*, *Idiognathodus magnificus*, *Neognathodus roundyi*, *Neognathodus bassleri* e *Streptognathodus elegantulus*. Esta zona pode ser correlacionada com a zona de *Diplognathodus* spp. da América do Norte (Grayson, 1984).

A zona de *Streptognathodus elongatus* - *Idiognathodus ellisoni* está sendo redefinida em Lemos & Scomazzon (em preparação) para zona de intervalo de *Idiognathodus claviformis* - *Idiognathodus incurvus*. O limite inferior é definido pelo primeiro aparecimento de *Idiognathodus claviformis* e o limite superior é dado pelo desaparecimento de *Idiognathodus incurvus*. A fauna de conodontes é caracterizada por *Idiognathodus magnificus*, *Neognathodus bassleri* e *Streptognathodus elegantulus*. Esta zona pode ser relacionada à zona de mesmo nome de Scomazzon (1999) para a plataforma sul da Bacia do Amazonas, com a zona de mesmo nome de Lemos & Scomazzon (2001) e com a base da zona *Idiognathodus incurvus* (Whiteside & Grayson, 1990) e topo da zona de *Neognathodus* sp. C - *Idiognathodus incurvus* de (Sutherland & Grayson, 1992) da América do Norte.

Lemos & Medeiros (1996a) realizaram um estudo em conodontes encontrados em amostras de subsuperfície da Bacia do Amazonas, com o intuito de obter dados biocronoestratigráficos para o possível reconhecimento do limite Morrowano/Atokano na referida bacia. Através das formas encontradas, foram estabelecidas duas zonas de associação relacionadas ao Pensilvaniano, sendo elas: i) zona de *Neognathodus symmetricus*/ *Rhachistognathus muricatus* (Formação Monte Alegre e parte inferior da Formação Itaituba; idade Morrowana); ii) zona de *Diplognathodus orphanus* / *Diplognathodus coloradoensis*, associados a *Idiognathodus magnificus* (Formação Itaituba; idade Atokana). Assim, observaram

que o limite Morrowano/Atokano, na Bacia do Amazonas, encontra-se na porção inferior da Formação Itaituba.

Duas biozonas de associação foram estabelecidas por Neis (1996) para a Formação Itaituba, em furos de sondagem, na plataforma norte e sul da Bacia do Amazonas, sendo elas: i) *Rhachistognathus muricatus* - *Idiognathoides ouachitensis* (neomorrowano) e ii) *Diplognathodus* spp. (Atokano).

A zona de *Rhachistognathus muricatus* - *Idiognathoides ouachitensis*, é limitada pelo primeiro aparecimento de *Id. ouachitensis* e desaparecimento de *Rh. muricatus*. Na associação de conodontes ainda ocorrem *Hindeodus minutus*, *Adetognathus lautus*, *Idiognathoides sinuatus*, *Streptognathodus suberectus* e *Streptognathodus expansus*. Esta zona pode ser relacionada à zona de *Idiognathoides ouachitensis* do neomorrowano da América do Norte (Grayson, 1984).

A zona de *Diplognathodus* spp. é limitada pelo aparecimento de *Diplognathodus orphanus* e *Diplognathodus coloradoensis* e desaparecimento de *Diplognathodus orphanus*. Os conodontes presentes são: *Declinognathodus noduliferus*, *Idiognathoides sinuatus*, *Idiognathodus magnificus*, *Neognathodus bassleri* e *Streptognathodus elegantulus*. Esta zona é correlacionada com a zona de *Diplognathodus orphanus* - *Diplognathodus coloradoensis* (Lemos & Medeiros, 1996a) e zona de *Diplognathodus* spp. da América do Norte (Grayson, 1984).

Scomazzon (1999) definiu três zonas de intervalo local para a Formação Itaituba, em afloramentos da plataforma sul da Bacia do Amazonas, quais sejam: i) *Idiognathodus sinuosus* - *Rhachistognathus muricatus* – para o neomorrowano, ii) *Idiognathodus klapperi* - *Streptognathodus parvus* - para o neomorrowano - Atokano e iii) *Idiognathodus claviformis* - *Idiognathodus incurvus* para o eodesmoinesiano. Estas três zonas de intervalo propostas ocorrem dentro da Formação Itaituba.

A zona de *Idiognathodus sinuosus* - *Rhachistognathus muricatus* é delimitada pelo aparecimento de *Idiognathodus sinuosus* e desaparecimento de *Rhachistognathus muricatus*. Os conodontes presentes são: *Adetognathus lautus*, *Idiognathoides sinuatus*, *Idiognathodus klapperi* e *Declinognathodus noduliferus*. Esta zona pode ser relacionada com a zona de *Idiognathodus sinuosus* de Lane & Straka II (1974) na região de Arkansas, Midcontinent, na América do Norte.

A zona de *Idiognathodus klapperi* - *Streptognathodus parvus* é determinada pelo aparecimento de *Idiognathodus klapperi* e desaparecimento de

Streptognathodus parvus. Os demais conodontes são: *Adetognathus lautus*, *Idiognathoides sinuatus*, *Idiognathodus klapperi*, *Idiognathodus sinuosus*, *Streptognathodus elegantulus*, *Streptognathodus oppletus* e *Declinognathodus noduliferus*. Esta zona pode ser relacionada com a zona de *Neognathodus* sp. B - *Idiognathodus klapperi* (Sutherland & Grayson, 1992) e zona de *Idiognathodus klapperi* (Whiteside & Grayson, 1990) da América do Norte.

A zona de *Idiognathodus claviformis* - *Idiognathodus incurvus* é limitada pelo aparecimento de *Idiognathodus claviformis* e desaparecimento de *Idiognathodus incurvus*. Estão presentes também os conodontes: *Declinognathodus noduliferus*, *Idiognathoides sinuatus*, *Idiognathodus magnificus*, *Neognathodus medadulimus* e *Diplognathodus orphanus*. Esta zona pode ser relacionada à zona de mesmo nome de Lemos & Scomazzon (2001) para a plataforma norte da Bacia do Amazonas, base da zona *Idiognathodus incurvus* (Whiteside & Grayson, 1990) e topo da zona de *Neognathodus* sp. C - *Idiognathodus incurvus* de (Sutherland & Grayson, 1992) da América do Norte.

Os fusulinídeos da Bacia do Amazonas foram correlacionados aos conodontes por Altiner & Savini (1995) e Silva (1996). Estes trabalhos descrevem foraminíferos fusulinídeos como *Millerella* e *Plectostafella* para o neomorrowano na Formação Monte Alegre, que podem ser relacionados com a zona de *Rhachistognathus muricatus/Idiognathoides ouachitensis* (Neis, 1996) e *Rhachistognathus muricatus/Idiognathodus sinuosus* (Scomazzon, 1999). *Eostaffella* e *Profusulinella* são descritas para o Atokano, na Formação Itaituba, sendo correlacionadas com a zona de conodontes *Diplognathodus orphanus/ Diplognathodus coloradoensis* (Lemos & Medeiros, 1996a). *Fusulinella* e *Fusulina* são descritas para o eodesmoinesiano da Formação Nova Olinda e relacionadas à zona de *Idiognathodus claviformis / Idiognathodus incurvus* (Lemos & Scomazzon, 2001). Estes dados corroboram com a fauna de fusulinídeos definida para o Pensilvaniano Inferior a médio da América do Norte (Sutherland & Grayson, 1992).

Playford & Dino (2000) descrevem palinórfos do Grupo Tapajós – Pensilvaniano da Bacia do Amazonas. A zona *Spelaeotriletes triangulus*, abrange o Westphaliano A e B, enquanto no Oeste da Europa o topo desta zona define o limite entre o Namuriano A e B. O Westphaliano C da Bacia do Amazonas foi identificado pelas zonas de *Striomonosaccites incrassatus* e parte da zona de *Illinites unicus*. O

Westphaliano D é definido no topo da zona de *Striatosporites heyleri* e zona de *Raistrickia cephalata*, relacionada à zona de *Idiognathodus claviformis/Idiognathodus incurvus* (Lemos & Scomazzon, 2001). Playford & Dino (2000) não estabeleceram palinomorfos para o Namuriano e Stephaniano da Bacia do Amazonas.

Ainda não foram descritos conodontes para o Pensilvaniano Superior (Missouriano – Virgiliano) na Bacia do Amazonas.

6. CONCLUSÕES

Os conodontes estudados nos depósitos carbonáticos marinhos do Grupo Tapajós, Bacia do Amazonas, sugerem que estes estratos tenham sido depositados durante o Pensilvaniano Inferior a Médio.

A ocorrência destes microfósseis e outros invertebrados como braquiópodes, briozoários e corais sugerem que estes depósitos marinhos foram formados em águas calmas, límpidas e quentes.

O estudo faciológico, realizado através de descrições de campo e de lâminas petrográficas, permite sugerir que o intervalo analisado foi depositado durante um período caracterizado por subidas e descidas relativas do nível do mar. Estas oscilações geraram depósitos transgressivo – regressivos observados principalmente no centro da bacia onde se encontram arenitos na base, encobertos por carbonatos transgressivos e espessos pacotes de evaporitos regressivos, no topo da seção. Na região aflorante, na borda sul da bacia, foram estudados depósitos considerados como as primeiras ingressões marinhas do Pensilvaniano. Nestes estratos foram melhor observadas as oscilações do nível relativo do mar, por se tratar de depósitos plataformais onde as estruturas sedimentares e maiores variações faciológicas auxiliam no estabelecimento destas oscilações. Estes depósitos plataformais são principalmente formados por lamas carbonáticas classificadas como wackstones e packstones de infra-maré inferior, grainstones de infra-maré superior, mudstones lagunares e depósitos dolomíticos de supra-maré. Os conodontes estão presentes principalmente nos wackstones e packstones de infra-maré.

Os conodontes e outros organismos marinhos permitem o reconhecimento de uma mudança na associação faunística ocorrida durante o Pensilvaniano. Tal fato provavelmente seja o reflexo dos processos tectônicos e variações eustáticas e climáticas ocorridas na época e que influenciaram na sedimentação e, por sua vez, na fauna e flora.

As faunas de conodontes do Pensilvaniano Inferior estão bem definidas morfolologicamente em nível de gênero e espécie. As faunas do Pensilvaniano Médio e Superior apresentam grande diversidade de espécies, as quais alguns pesquisadores acreditam que sejam na realidade morfotipos, como ocorre com *Neognathodus*,

Idiognathodus e *Streptognathodus*. Porém estas espécies são provinciais, podendo esta diversidade ser causada por influências ambientais.

Neognathodus symmetricus, *Rhachistognathus muricatus*, *Idiognathoides sinuatus* e *Declinognathodus noduliferus* são ótimos índices do Morrowano. *Neognathodus atokaensis*, *Diplognathodus orphanus* são bons marcadores do Atokano.

Diplognathodus e *Gondolella* não têm ainda limites estratigráficos bem definidos, mas parecem ser úteis para o refinamento do zoneamento do Desmoinesiano.

Bons marcadores para o Desmoinesiano da América do Norte são os conodontes *Neognathodus medadultimus*, *N. roundyi* e *N. dilatus*.

O plexo *Idiognathodus* – *Streptognathodus* apresenta uma ampla radiação evolutiva no Pensilvaniano Superior, sendo estes dois gêneros sugeridos como os melhores marcadores de biozonas para o Missouriano-Virgiliano na América do Norte, desde que sejam bem entendidos quanto a sua diversidade morfológica e limites de distribuição estratigráfica.

Na Bacia do Amazonas, os estratos basais do Pensilvaniano, denominados como Formação Monte Alegre, podem ser relacionados, de acordo com os conodontes, ao Morrowano, através da ocorrência de *Neognathodus symmetricus* e da zona *Neognathodus symmetricus* - *Rhachistognathus muricatus*. A ocorrência de *Idiognathodus incurvus*, *N. medadultimus* e *N. roundyi* nos estratos relacionados às Formações Itaituba e Nova Olinda, sugerem uma deposição durante o Pensilvaniano Médio, com idade Atokana - eodesmoinesiana. Conodontes do Pensilvaniano Superior ainda não foram encontrados na Bacia do Amazonas.

Muitos aspectos relacionados ao conhecimento dos conodontes nos estratos do Pensilvaniano Médio e Superior ainda devem ser considerados, principalmente o provincialismo e a distribuição estratigráfica não totalmente definida, observada em algumas espécies. Entretanto, estes organismos mostram-se muito úteis para correlação de estratos regionais e globais.

Através dos trabalhos realizados na Bacia do Amazonas, é possível determinar uma similaridade entre a fauna de conodontes nesta bacia e aquelas da América do Norte. Sugere-se, assim, considerando os conodontes e os dados isotópicos, que as águas

desta bacia poderiam ter sido um canal de ligação entre o mar da América do Norte e África, com influências dos Oceanos Panthalassa e Tethys.

RECOMENDAÇÕES

Durante o desenvolvimento e finalização da tese, foram observados dois aspectos que servem como recomendações para trabalhos futuros:

1 - Sugere-se a utilização da técnica de preparação para conodontes estudada durante o estágio de doutorado sanduíche, desenvolvido na Universidade de Indiana, em Bloomington, Estado Unidos. As diferentes metodologias utilizadas, aplicadas de acordo com o tipo de rocha a ser analisada, mostraram-se mais eficazes na desagregação do sedimento para retirada dos conodontes, por restar pouco ou praticamente nenhum sedimento junto aos conodontes no final da preparação, facilitando a catação dos mesmos. Porém, devem ser tomados os devidos cuidados, no sentido de se estabelecer previamente os objetivos do trabalho, pois com essas metodologias normalmente alguns organismos calcínicos e silicosos podem ser dissolvidos, não sendo possível sua triagem junto aos conodontes. Outro aspecto importante é a utilização de luvas, jaleco e principalmente uma sala com exaustor, devido a grande quantidade de ácidos e materiais com baixo a médio grau de toxicidade, utilizados. Contudo, levando-se em consideração estes cuidados básicos e tendo-se estabelecidos os objetivos a serem atingidos, estes métodos são válidos pela agilidade e eficácia na preparação dos conodontes.

2 – As análises de isótopos de Sr e Nd realizados em carbonatos, conodontes e braquiópodes mostraram resultados satisfatórios. Contudo, devido a serem estudos pioneiros e com isso não se ter idéia dos possíveis resultados, ou seja, se estes materiais iriam responder favoravelmente apresentando resultados coerentes, foram selecionadas amostras que levaram a uma gama de variáveis, como estratos muito distintos e distantes, em diferentes regiões geográficas da bacia. Entretanto, com os bons resultados obtidos, sugere-se dar continuidade às análises isotópicas, para melhor compreender a proveniência dos sedimentos trazidos para a bacia, podendo-se compreender melhor a história tectônica local e ainda, outro enfoque possível, auxiliar no refinamento das idades do intervalo estudado.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADAMS, G.I. 1904. Zinc and lead deposits of northern Arkansas. *U.S. Geological Survey Professional Paper* v. 24, 118p.

ALTINER, D.; SAVINI, R. 1991. Pennsylvanian Foraminifera and Carbonate Microfacies from the Amazon and Solimões Basins: *Biostratigraphic, Paleoecologic and Paleogeographic Results*. Rio de Janeiro, PETROBRÁS. (Relatório Interno).

ALTINER, D.; SAVINI, R. 1995. Pennsylvanian foraminifera and biostratigraphy of the Amazonas and Solimões Basin (North Brazil). *Revue de Paleobiologie*, v.14, n.2, p.417-453.

ARAÚJO, J.S.; ROCHA-CAMPOS, A.C. 1969. Conodonts from the Itaituba Formation (Pennsylvanian) at well PEST-2-AM Amazon Basin. *Ciência e Cultura*, v.21, n.2, p.221-228.

AUSTIN, R.L. 1987. Conodonts: Investigative techniques and applications. *British Micropaleontological Society Series*, Ellis Horwood, 562p.

AUSTIN, R.L.; RHODES, F.H.T. 1981. *Treatise on Invertebrate Paleontology*. Lawrence: Geological Society of America. Part W, Supplement 2 – Conodonta, p.W158-159.

BAESEMANN, J.F. 1973. Missourian (Upper Pennsylvanian) conodonts of the Northeastern Kansas. *Journal of Paleontology, Tulsa, Okla.*, v.47, n.4, p.689-710, 3pl.

BARBOSA, O. 1967. Tectônica na Bacia Amazônica. In: SIMPÓSIO SOBRE A BIOTA AMAZÔNICA, Belém, PA, 1967. *Atas ...* Belém: CNPq., v.1, p.83-86.

BARRICK, J.E.; HECKEL, P.H. 2000. A provisional conodont zonation for Late Pennsylvanian (LateCarboniferous) strata in Midcontinent Region of North America. *Newsletter on Carboniferous Stratigraphy*, v.18, p.15-22.

BASSLER, R.S. 1925. Classification and Stratigraphic Use of Conodonts. *Bulletin of the Geological Society of America*, v.36, p. 218-220.

BENDER, K.P. 1980. Lower and Middle Pennsylvanian conodonts from the Canadian Artic Archipelago. *Paper Geological Survey of Canada*, v.7, p. 9-15.

BOARDMAN II, D.R.; HECKEL, P.H.; BARRICK, J.E.; NESTELL, M.; PEPPERS, R.A. 1990. Middle-Upper Pennsylvanian Chronostratigraphic Boundary in the Midcontinent Region of North America. *Courier Forsch. –Inst. Senckenberg*, v.130, p.319-337.

BOARDMAN II, D.R.; WORK, D.M.; MAPES, R.H.; BARRICK, J.E. 1994. Biostratigraphy of Middle and Late Pennsylvanian (Desmoinesian-Virgilian) amonoids: *Kansas Geological Survey Bulletin*, v.232, 121p.

BROWN, L.M.; REXROAD, C.B.; EGGERT, D.L.; HOROWITZ, A.S. 1991. Conodont Paleontology of the Providence Limestone Member of the Dugger Formation (Pennsylvanian, Desmoinesian) in the Southern part of the Illinois Basin. *Journal of Paleontology*, v.65, n.6, p.945-957.

CAMPANHA, V.A.; ROCHA-CAMPOS, A.C. 1979. Alguns microfósseis da Formação Piauí (Neocarbonífero) Bacia do Parnaíba. *Boletim IG, Instituto de Geociências, USP*, v.10, p.57-67.

CAPUTO, M.V. *Stratigraphy, tectonics, paleoclimatology and paleogeography of northern basins of Brazil*. 1984. 582p. Ph.D. Dissertation - University of California, Santa Barbara, 1984.

CAPUTO, M.V.; RODRIGUES, R.; VANCONCELOS, D.N.N. 1971. Litoestratigrafia da Bacia do Amazonas. Belém: PETROBRÁS/RENOR. *PETROBRAS report*. (unpublished).

CAROZZI, A. V.; ALVES, R. J.; CASTRO, J. C. 1972. Controle tectônico sedimentar dos carbonatos permo-carboníferos das formações Itaituba e Nova Olinda da bacia do Amazonas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 26, Belém, 1972. *Anais...Belém, Sociedade Brasileira de Geologia, 1972, v.3, p.47 – 64.*

CARVALHO, M.G.P.; FONSECA, V.M.M. 1988. Contribuição ao conhecimento dos trilobitas carboníferos da Bacia do Amazonas e Parnaíba. *Anais da Academia Brasileira de Ciências, v.60, n.1, p.110.*

CLARK, D.L. 1972. Early Permian crisis and its bearing on Permo-Triassic conodont taxonomy. *Geol. Palaeontol. Spec., v.1, p.147-148.*

CORDANI, U.G.; BRITO NEVES, B.B.; FUCK, R.A.; PORTO, R.; THOMAZ FILHO, A.; CUNHA, F.M .da. 1984. Estudo Preliminar de Integração do Pré-Cambriano com os Eventos Tectônicos das Bacias Sedimentares Brasileiras. Rio de Janeiro, PETROBRAS. *Série Ciência-Técnica-Petróleo, v.15, p.27-34.*

CUNHA, P.R.C.; GONZAGA, F.G.; COUTINHO, L.F.C.; FEIJÓ, F.J, 1994. Bacia do Amazonas: *Boletim de Geociências da PETROBRAS, v.8, n.1, p.47-55.*

DAEMON, R.F.; CONTREIRAS, C.J.A. 1971. Zoneamento Palinológico da Bacia do Amazonas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 25, São Paulo, SP, 1976. *Anais... São Paulo: SBG., p.79-88.*

DENISON, R.E.; KOEPNICK, R.B.; BURKE, W.H.; HETHERINGTON, E.A.; FLETCHER, A. 1994. Construction of the Mississippian, Pennsylvanian and Permian

seawater $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ curve. *Chemical Geology (Isotope Geoscience Section)*, v.112, p.145-167.

DERBY, O.A. 1874. On the Carboniferous Brachiopods of Itaituba, Rio Tapajós, Province of Pará, Brazil. *Bulletin of Cornell University, Science*, v.1, n.2, 63p.

DERBY, O.A. 1894. The Amazonian Upper Carboniferous fauna. *Journal of Geology*, v.2, n.5, p.480-501.

DIENER, A.; EBNETH, S.; VEIZER, J.; BUHL, D. 1996. Strontium isotope stratigraphy of the Middle Devonian: Brachiopods and Conodonts. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, v.60, n.4, p.639-652.

DONOGHUE, P.C.J.; PURNELL, M.A.; ALDRIDGE, R.J. 1998. Conodont anatomy, chordate phylogeny and vertebrate classification. *Lethaia*, v.31, p.211-219.

DUFFIN, C.J.; RICHTER, M.; NEIS, P.A. 1996. Shark remains from the Late Carboniferous of the Amazon Basin, Brazil. *N. Jb. Geol. Paläont. Mh.*, v.4, p.232 – 256.

DUNN, D.L. 1966. New Pennsylvanian platform conodonts from southwestern United States. *Journal of Paleontology*, v.40, n.6, p.1294-1303.

DUNN, D.L. 1970. Middle Carboniferous Conodonts from Western United States and Phylogeny of the Platform group. *Journal of Paleontology*, v.44, n.2, p.312-342.

DZIK, J. 1976. Remarks on the evolution of Ordovician conodonts. *Acta Paleontologica Polonica*, v.21, n.4, p.395-455.

EBNETH, S.; DIENER, A.; DIETER, B.; VEIZER, J. 1997. Strontium Isotope Systematics of Conodonts: Middle Devonian, Eiffel Mountains, Germany. *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology*, v.132, p.79-96.

ELLISON, S. 1941. Revision of the Pennsylvanian Conodonts. *Journal of Paleontology*, v.15, n.2, p.107-143.

ELLISON, S. 1972. Conodont taxonomy in the Pennsylvanian. *Geological Palaeontology*, v.1, p.127-146.

ELLISON, S.; GRAVES, R.W.Jr. 1941. Lower Pennsylvanian (Dimple Limestone) Conodonts of the Marathon Region, Texas. *The University of Missouri School of Mines and Metallurgy - Columbia*, v.14, n.3, p.1-21.

EPSTEIN, A.G.; EPSTEIN, J.G.; HARRIS, L.D. 1977. Conodont color alteration-an index to organic metamorphism. *U.S. Geological Survey Professional Paper*, v.995, p.27.

FREYDANK, H.G. 1957. Geology of the Rio Jatapu and Rio Capucapu: PETROBRÁS Internal Report n. 156A, Belém, Brazil.

FÚLFARO, V.J. 1965. Conodontes do Calcário Itaituba do Carbonífero do Rio Tapajós, Estado do Pará. *Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia*, SP, v.14, n1-2, p.29-40.

GONZAGA, F.G.; GONÇALVES, F.T.T.; COUTINHO, L.F.C. 2000. Petroleum Geology of the Amazon Basin , Brazil: Modeling of Hydrocarbon Generation and Migration, in M.R. Melo and B.J. Katz, eds., *Petroleum Systems of South Atlantic Margins: AAPG Memoir*, v.73, p.159-178.

GRAYSON, R.C., Jr. 1984. Morrowan and Atokan (Pennsylvanian) Conodonts from the Northeastern Margin of the Arbuckle Mountains Southern Oklahoma. *Oklahoma Geological Survey Bulletin*, v.136, p.41-63.

GRAYSON, R.C., Jr. 1990. Canyon Creek: A Significant Exposure of a Predominantly Mudrock Succession Recording Essentially Continuous Deposition from the Late Devonian through the Middle Pennsylvanian. *Oklahoma Geological Survey Guidebook*, v.27, p.85-114.

GRAYSON, R.C., Jr.; MERRILL, G.K.; LAMBERT, L.L.; TURNER, J. 1989. Phylogenetic Basis for Species Recognition within the Conodont Genus *Idiognathodus*: Applicability to Correlation and Boundary Placement. *In*: Boardman II, D.R., Barrick, J.E., Cocks, J. & Nestell, M.K. (eds.), *Middle and Late Pennsylvanian Chronostratigraphic boundaries in northcentral Texas*. Texas Tech University Studies in Geology, v.2, p.75-94.

GROVES, J.R.; GRAYSON, R.C. Jr. 1984. Calcareous foraminifers and conodonts from the Wapanucka Formation (lower-Middle Pennsylvanian), frontal Ouachita Mountains, southeastern Oklahoma, *In*: Sutherland, P.K. & Manger, W.L. (eds.), *The Atokan Series (Pennsylvanian) and its boundaries – A symposium*. *Oklahoma Geological Survey Bulletin*, v.136, p. 81-89.

GRUBBS, R.K. 1984. Conodont Platform Elements from the Wapanucka and Atoka Formations (Morrowan-Atokan) of the Mill Creek Syncline Central Arbuckle Mountains, Oklahoma. *Oklahoma Geological Survey Bulletin*, v.136, p.65-79.

GUNNELL, F.H. 1931. Conodonts from the Fort Scott Limestone of Missouri. *Journal of Paleontology*, v.5, n.3, p.244-252.

GUNNELL, F.H. 1933. Conodonts and Fish Remains from the Cherokee, Kansas City and Wabaunsee Groups of Missouri and Kansas. *Journal of Paleontology*, v.7, n.3, p.261-297.

HARRIS, R.W.; HOLLINGSWORTH, R.V. 1933. New Pennsylvanian Conodonts from Oklahoma. *American Journal of Science*, v.25, n.147, p.193-204.

HARTT, C.P. 1874. Report of a reconnaissance of the Lower Tapajós. *Bulletin Cornell University, (Science)*, v.1, p.1-37.

HARLTON, B. 1933. Micropaleontology of the Pennsylvanian Johns Valley Shale of the Ouachita Mountains, Oklahoma, and its relationship to the Mississippian Cancy Shale. *Journal of Paleontology*, v.7, n.1, p.3-29.

HECKEL, P.H. 1986. Sea-level curve for Pennsylvanian eustatic marine transgressive-regressive deposition cycles along midcontinent outcrop belt, North America. *Geology*, v.14, p.330-334.

HECKEL, P.H.; BOARDMAN, D.R.; BARRICK, J.E. 1999. Proposed Desmoinesian-Missourian Stage Boundary Stratotype. Middle and Upper Pennsylvanian (Upper Carboniferous) Cyclothem Succession in Midcontinent Basin, USA. Fieldtrip # 8, XIV *International Congress on the Carboniferous-Permian*. Kansas Geological Survey Open File Report, v.99, n.27, p.185-198.

HIGGINS, A.C.; BOUCKAERT, J. 1968. Conodont Stratigraphy and Palaeontology of the Namurian of Belgium. *Mémoire Service Géologique de Belgique - Bruxelles*, v.10, p. 1-64.

HÜNICKEN, M.A.; MELO, J.H.G. de.; LEMOS, V.B. 1987. Devonian Conodonts from the Upper Carboniferous of Amazon Basin, Northwestern Brazil. In: McMillan, N.J.; Embry, A.F.; Glass, D.J., eds., Devonian of the World. *Canadian Society of Petroleum Geologists, Memoir 14*. Calgary, v.3, p.479-483.

IGO, H.; KOIKE, T. 1964. Carboniferous Conodonts from the Omi Limestone, Niigata-Prefecture, Central Japan (Studies of Asian Conodonts, Part I). *Transaction and Proceedings Paleontological Society of Japan - Tokyo*, v. 53, p. 179-193.

KEYES, C.R. 1893. The geological formations of Iowa: *Iowa Geological Survey, first Annual Report*, 1892, v.1, p.13-144.

KOIKE, T. 1967. A carboniferous succession of conodont faunas from the Atetsu Limestone in southwest Japan (studies of Asiatic conodonts, part VI): *Tokio Kyoiku Daigaku Science Reports, section C, Geology, Mineralogy, and Geography*, v.9, n. 93, p. 279-318.

KOZUR, H. 1975. Beiträge zur conodontenfauna des Perm. *Geologisch-Paläontologische Mitteilungen*, v.5, n.4, p.1-44.

KOZUR, H.; MERRILL, G.K. 1975. Genus *Diplognathodus*, p.9, 10. In: Kozur, H., ed., Beiträge zur konodontenfauna des Perm. *Geologisch-Paläontologische Mitteilungen*, Innsbruck, v.5, 44 p.

LAMBERT, L.L.; BARRICK, J.E.; HECKEL, P.H. 2001. Provisional lower and middle Pennsylvanian conodont zonation in Midcontinent North America. *Newsletter on Carboniferous Stratigraphy*, v.19, p.50-55.

LANDING, E.; WARDLAW, B.R. 1981. Atokan Conodonts from the Pennsylvanian Outlier of the Michigan Basin. *Journal of Paleontology*, v. 55, n.6, p.1251-1269.

LANE, G. 1964. Inadunate crinoids from Pennsylvanian of Brazil. *Journal of Paleontology*, v.38, n.2, p.362-366.

LANE, G. 1967. Uppermost Mississippian and Lower Pennsylvanian Conodonts from the Type Morrowan Region, Arkansas. *Journal of Paleontology*, v.41, n.4, p.920-942.

LANE, H.R. 1977. Morrowan (Early Pennsylvanian) conodonts of northwestern Arkansas and northeastern Oklahoma, *In*: P.K. Sutherland & W.L. Manger (eds.), Upper Chesterian Morrowan stratigraphy and the Mississippian-Pennsylvanian boundary in Northeastern Oklahoma and northwestern Arkansas: Oklahoma Geological Survey Guidebook, v.18, p.177-180.

LANE, G.; MERRILL, G.K.; STRAKA, II. J.J.; WEBSTER, G.D. 1971. North American Pennsylvanian Conodont Biostratigraphy. Geological Society of America, *Memoir* 127, p.395-414.

LANE, G.; STRAKA II, J.J. 1974. Late Mississippian and Early Pennsylvanian Conodonts, Arkansas and Oklahoma. *Geological Society of America Special Paper*, v.152, 144p.

LEINZ, V.; LEONARDS, O.H. 1977. *Glossário Geológico*. Companhia Editora Nacional, v.33, 236p.

LEMOS, V.B. *Assembléia de Conodontes do Carbonífero da Bacia do Amazonas*. 1990. 259p. Tese de Doutorado em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 1990a.

LEMOS, V.B., 1990b, Upper Carboniferous Conodonts from the Amazon and Solimões Basins, Brazil: *in* Latin American Conodont Symposium, 1., *Project*.

LEMOS, V.B., 1992a, Conodontes do Carbonífero das Bacias do Amazonas e Solimões. *Taxonomia - Parte I: Pesquisas*, v.19, p.75-93.

LEMOS, V.B., 1992b, Conodontes do Carbonífero das Bacias do Amazonas e Solimões. *Taxonomia - Parte II: Pesquisas*, v.19, p.120-131.

LEMOS, V.B.; MEDEIROS, R.A. 1989. Transgressões e Regressões Cíclicas e Ocorrência de Conodontes no Morrowano e Atokano na Bacia do Amazonas. In: *Simpósio de Marcos Estratigráficos, 2.*, Curitiba, PR, 1989. *Anais...* Curitiba: SBP., v.2, p.961-969.

LEMOS, V.B.; MEDEIROS, R.A. 1996a. O Limite Morrowano/Atokano na Bacia do Amazonas, Brasil, com Base em Conodontes. *Boletim de Geociências da Petrobras*, v.10, n.1-4, p.165-173.

LEMOS, V.B.; MEDEIROS, R.A. 1996b. Conodontes do Carbonífero Inferior da Bacia do Amazonas. *Boletim de Geociências da PETROBRAS*, v.10, n.1-4, p.55-60.

LEMOS, V.B.; SILVA, O.B. 1996. Ciclos Sedimentares e Ocorrência de Conodontes e Fusulinídeos na Bacia do Acre- Plataforma Carbonática da Fm. Cruzeiro-Eirunepê, Permiano Inferior. In: *SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 5.*, Belém, PA, 1996. *Anais...* Belém: SBG., p. 188-191.

LEMOS, V.B.; SCOMAZZON, A.K. 2001. The Carboniferous biochronostratigraphy of the Amazonas Basin, Brazil based on conodonts. In: *Workshop Correlação de Seqüências Paleozóicas Sul-Americanas*, Melo, J.H.G. & Terra, G.S.T. (eds.). *Ciência Técnica Petróleo*. Seção: Exploração de Petróleo, n.20, p.131-138.

LEMOS, V.B.; SCOMAZZON, A.K. Conodont biostratigraphy of Pennsylvanian in the Amazonas Basin, Brazil. (em preparação).

MANGER, W.L.; SUTHERLAND, P. 1984. Preliminary conodont biostratigraphy on the Morrowan-Atokan Boundary (Pennsylvanian), Eastern Llano Uplift Central Texas. *Bulletin Oklahoma Geological Survey*, Norman, v.136, p.115-121.

MCLAUGHLIN, K.P. 1952. Microfauna of the Pennsylvanian Glen Eyrie Formation, Colorado. *Journal of Paleontology*, v.26, p.613-621.

MATSUDA, N.S. *Carbonate sedimentation cycle and origin of dolomite in the Lower Pennsylvanian intracratonic Amazon Basin – Northern, Brazil*. 2003. 231p. Ph.D. thesis -Department of Earth & Planetary Science. University of Tokyo, Tokyo, Japan, 2003.

MENDES, J.C. 1956. *Spiriferacea* carboníferos do Rio Tapajós (Série Itaituba), estado do Pará, Brasil: Boletim da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras da Universidade de São Paulo, São Paulo, v.193, *Geologia* n.13, p.23-81.

MENDEZ, C.A.; MENENDEZ-ALVAREZ, J.R. 1981. Conodontos del Bashkiriense superior y Moscoviense inferior en una Sección de la Cordillera Cantábrica (NW de España). *Trabajos de Geología*, Universidad de Oviedo, v.11, p.129-134.

MERRILL, G.K. 1972. Taxonomy, Phylogeny and Biostratigraphy of *Neognathodus* in Appalachian Pennsylvanian Rocks. *Journal of Paleontology*, v.46, n.6, p.817-829.

MERRILL, G.K. 1973. Pennsylvanian Nonplataform Conodont Genera, I: *Spathognathodus*. *Journal of Paleontology*, v.47, n.2, p.289-314.

MERRILL, G.K. 1975. Pennsylvanian Conodont Biostratigraphy and Paleoecology of Northwestern Illinois. Microform Publication, *Geological Society of America*, v.3, 130 p.

MERRILL, G.K. 1999. *Neognathodus* and the species concept in conodont paleontology. *Bolletino della Società Paleontologica Italiana*, v.37, p.465-473.

MERRILL, G.K.; KING, C.W. 1971. Platform Conodonts from the Lowest Pennsylvanian Rocks of Northwestern Illinois. *Journal of Paleontology*, v.45, n.4, p.645-664.

MERRILL, G.K.; POWELL, R. 1980. Paleobiology of juvenile (Nepionic?) Conodonts from the Drum Limestone (Pennsylvanian, Missourian-Kansas City Area) and its bearing of apparatus ontogeny. *Journal of Paleontology*, Tulsa, Okla., v.54, n.5, p.1058-1074.

MILANI, E.J.; ZALÁN, P.V. 1998. The Geology of Paleozoic Cratonic Basins and Mesozoic Interior Rifts of Brazil. (Brazilian Geology Part I): *AAPG International Conference & Exhibition*, 184p.

MOORE, R.C. 1931. Pennsylvanian cycles in the northern Midcontinent region: *Illinois State Geological Survey Bulletin*, v.60, p. 247-257.

MOORE, R.C.; THOMPSON, M.L. 1949. Main Divisions of Pennsylvanian Period and System: *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, v.33, p.275-302.

MOUTINHO, L.P.. *Estudo da Fauna de Invertebrados em Afloramentos da Região de Tapajós, Formação Itaituba – Pensilvaniano da Bacia do Amazonas*. 2002. 155f. Dissertação de mestrado- Instituto de Geociências. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.

MOUTINHO, L.P.; SCOMAZZON, A.K.; LEMOS, V.B. Taphonomy and Paleoecology of Invertebrates from the Carboniferous (Pennsylvanian) of the Itaituba Formation – Amazonas Basin, Brazil. *Palaios* (submetido).

MUNSELL - COLOR COMPANY, 1971. Munsell soil color chart: *Munsell Color Company*, Inc. (Baltimore, Maryland).

MURRAY, F.N.; CHRONIC, J. 1965. Pennsylvanian Conodonts and Other Fossils from Insoluble Residues of the Minturn Formation (Desmoinesian), Colorado. *Journal of Paleontology*, v.39, n.4, p.594-610.

NASCIMENTO, S.; SCOMAZZON, A.K.; M OUTINHO, L.P.; LEMOS, V.B.; MATSUDA, N.S. Conodont biostratigraphy of two calcareous quarries - lower Itaituba Formation, Atokan age, Amazonas Basin, Brazil. *Revista Brasileira de Paleontologia* (submetido).

NEIS, P.A. Resultados Biocronoestratigráficos das Associações de Conodontes da Formação Itaituba, Carbonífero Superior (Pensilvaniano), da Bacia do Amazonas. 1996. 138p. Dissertação de mestrado - Instituto de Geociências. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 1996.

NEMIROVSKAYA, T.I.; ALEKSEEV, A.S. 1994. The Bashkirian Conodonts of the Askyn Section, Bashkirian Mountains, Russia. *Bulletin de la Société belge de Géologie*, v.103, n.1-2, p.109-133

PANDER, C. H. 1856. *Monographie der fossilen Fische des silurische Systems der russisch-baltischen Gouvernements*. Saint Petersburg, 91p.

PEPPERS, R.A. 1996. Palynological Correlation of Major Pennsylvanian Chronostratigraphic Boundaries in the Illinois and other Coal Basins. *Geological Society of America Memoir*, 188.

PICARELLI, A.T.; QUADROS, L.P. 1991. Bioestratigrafia do Permiano e Carbonífero das Bacias do Solimões, Amazonas, Acre e Parnaíba com base em fusulinídeos, palinologia, conodontes. Rio de Janeiro, *PETROBRÁS*. Relatório Interno, 93p.

PINTO, I.D. 1966. Comunicação sobre corais carboníferos amazônicos. In: SIMÓRIO SOBRE A BIOTA AMAZÔNICA, Belém, 1967. *Actas...*Rio de Janeiro, CNP, 1.

Pinto, I.D. 1977. Corais Carboníferos da Bacia Amazônica. *Pesquisas*, Porto Alegre, v.8. p.59-132.

PINTO, I.D. 1977. Corais Carboníferos da Amazônia. *Pesquisas*, v.8, p.59-132.

PLAYFORD, G.B.; DINO, R. 2000. Palynostratigraphy of upper Palaeozoic strata (Tapajós Group), Amazonas Basin, Brazil: Part one. *Palaeontographica Abt. B. Bd.*, v.255, p.1-46.

PURPER, I. 1979. Ostracodes Cenozóicos da Amazônia Ocidental. Porto Alegre. 215 p. Tese de Doutorado em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

QING, H.; BARNES, C.R.; BUHL, D.; VEIZER, J. 1998. The strontium isotopic composition of Ordovician and Silurian brachiopods and conodonts: Relationships to geological events and implications for coeval seawater. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, v.62, n.10, p.1721-1733.

RATHBUN, R. 1878. The Devonian Brachiopoda of the Province of Pará, Brazil. *Proceedings of the Boston Society National History*, New York, v.11, n.63, p.519-537.

REJEBIAN, V.A.; HARRIS, A.G.; HUEBNER, J.S. 1987. Conodont color and textural alteration: An index to regional metamorphism, contact metamorphism, and hydrothermal alteration. *Geological Society of America Bulletin*, v.99, p.471-479.

REXROAD, C.B.; BROWN, L.M.; DEVERA, J.; SUMAN, R.J. 1998. Conodont Biostratigraphy and Paleoecology of the Perth Limestone Member, Stauton Formation (Pennsylvanian) of the Illinois Basin, U.S.A. *Paleontologia Polonica*, v.58, p.247-259.

REXROAD, C.B.; FURNISH, W.M. 1964. Conodonts from the Pella formation (Mississippian), south-central Iowa: *Journal of Paleontology*, v.38, p.667-676.

REXROAD, C.B.; WADE, J.A.; MERRILL, G.K.; BROWN, L.M.; PADGETT, P. 2001. Conodont Biostratigraphy and Depositional Environments of the Mecca Quarry Shale Member and the Velpen Limestone Member of the Linton Formation (Pennsylvanian, Desmoinesina) in the Eastern Part of the Illinois Basin, U.S.A. *Indiana Geological Survey, Special Report*, v. 63, 19 p.

RHODES, F.H.T. 1952. A classification of Pennsylvanian Conodont Assemblages. *Journal of Paleontology*, v.26, n. 6, p. 886-901.

RHODES, F.H.T. 1953. Some British Lower Palaeozoic conodont faunas: *Philosophical Transaction of Royal Society of London, Serie B*, v.237, p.261-334.

RITTER, S.M. 1986. Taxonomic revision and phylogeny of post-Early Permian crisis *bissellii-whitei* Zone conodonts with comments on late Paleozoic diversity. *Geologica et Paleontologica*, v.20, p.139-165.

ROBISON, R.A. 1981. Treatise on Invertebrate Paleontology. Lawrence, *Geological Society of America*. Part W, supplement 2, Conodonta.

ROCHA-CAMPOS, A.C.; ARCHANGELSKY, S. 1986. South America. In: Wagner, R.H.; Prins, W.; Granatos, J.F., eds., *The Carboniferous of the World II, Australia, Indian Subcontinent, South Africa, South America & North Africa. IUGS Publication*, Instituto Geológico y Marino de España, Madrid, v.20, p.175-272.

ROCHA-CAMPOS, A.C.; LEMOS, V.B. 1987. Assembléias de conodontes neopaleozóicos da América do Sul: Distribuição e significado bioestratigráfico. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PALEONTOLOGIA, 10 ., Rio de Janeiro, RJ, 1987. *Anais...* Rio de Janeiro: SBP., v.1, p.51-52.

ROCHA-CAMPOS, A.C.; Pedrão, E.; Lemos, V.B. 1988. Índices de Alteração de Cor (IAC) de Conodontes do Carbonífero da Bacia do Amazonas. In: CONGRESSO ARGENTINO DE PALEONTOLOGIA Y BIOESTRATIGRAFIA, 4., Mendoza, AR, 1986. *Resúmenes...* Mendoza: p.235-236.

RODRIGUES, R.; SOLIANI Jr, E.; TAKAKI, T.; SATO, K.; KAWASHITA, K. 1997. Indicação Cronoestratigráfica, com Base em Isótopos de Estrôncio ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$), das Formações Andirá (Bacia do Amazonas) e Cruzeiro do Sul (Bacia do Acre). *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v.69, n.2, p.173-178.

ROSS, C.A.; ROSS, J.R.P. 1985. Late Paleozoic depositional sequences are synchronous and worldwide. *Geology*, v.13, p. 194-197.

SAVINI, R.; ALTINER, D. 1989. A Fauna de Fusulinídeos do poço 1-NO-1-AM (Bacia do Amazonas): Implicações para um novo posicionamento cronoestratigráfico da Formação Itaituba. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PALEONTOLOGIA, 11., Curitiba, PR, 1989. *Anais...* Curitiba: SBG., p.107-124.

SCOMAZZON, A.K. Refinamento bioestratigráfico com base em conodontes, no Pensilvaniano da Bacia do Amazonas – Região do Tapajós. 1999. 142p. Dissertação de mestrado - Instituto de Geociências. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 1999.

SCOMAZZON, A.K.; KOESTER, E.; KAWASHITA, K.; MIZUSAKI, A.M.; LEMOS, V.B. Sr and Nd isotopic signatures of carbonates, conodonts and brachiopods of Carboniferous age (Morrowan-Atokan) of Amazonas Basin, Brazil: paleoseawater and paleotectonic constraints. *Journal of South American Earth Sciences*. (submetido B).

SCOMAZZON, A.K.; LEMOS, V.B. *Diplognathodus* occurrence in the Itaituba Formation, Amazonas Basin, Brazil. *Revista Brasileira de Paleontologia* (submetido).

SCOMAZZON, A.K.; LEMOS, V.B.; MOUTINHO, L.P.; MATSUDA, N.S.; NASCIMENTO, S. Conodont biostratigraphy and paleoecology of the marine sequence of the Tapajós Group (Pennsylvanian), Amazonas Basin, Brazil. *Revista Pesquisas em Geociências*. (submetido A).

SCOTese, C.R.; BAMBACH, R.K.; BARTON, C.; VAN Der VOO, R.; ZIEGLER, A.M. 1979. Paleozoic base maps: *Journal of Geology*, v.87, p. 217-277.

SCOTese, C.R.; MCKERROW, W.S. 1990. Revised World maps and introduction. In: Mckerrow, W.S & Scotese, C.R., eds., 1990, Palaeozoic Palaeogeography and Biogeography, *Geological Society Memoir*, v.12, p.1-21.

SILVA, O.B. *Ciclicidade Sedimentar no Pensilvaniano da Bacia do Amazonas e o Controle dos Ciclos de Sedimentação na Distribuição Estratigráfica dos Conodontes, Fusulinídeos e Palinomorfos*. 1996. 331p. Tese de Doutorado em Geociências – Instituto de Geociências. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1996.

SILVA, O.B.; LEMOS, V.B. 1996. Controle dos Ciclos Sedimentares na Distribuição Estratigráfica dos Conodontes do Pensilvaniano (Fm. Itaituba) - Bacia do Amazonas. In: Simpósio de Geologia da Amazônia, 5., Belém, PA, 1966. *Anais...* Belém: SBG., p.199-202.

SPIVEY, R.G.; ROBERTS, T.G. 1946. Lower Pennsylvanian terminology in central Texas. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, v.30, p.181-186.

STAUFFER, C.R.; PLUMMER, H.J. 1932. Texas Pennsylvanian Conodonts and Their Stratigraphic Relations. *Texas University Bulletin*, v.32, n.1, p.13-50.

STIBANE, F.R. 1967. Conodonten des Karbons aus den nördlichen Anden Südamerikas. *Neues Jahrbuch Geologische Paläontologische Abhandlungen*, v.128, n.3, p.329-340.

SUTHERLAND, P.K.; GRAYSON, R.C.Jr. 1992. Morrowan and Atokan (Pennsylvanian) Biostratigraphy in the Ardmore Basin, Oklahoma. *Oklahoma Geological Survey Circular*, v.94, p.81-99.

SUTHERLAND, P.K.; MANGER, W.I. 1984. The Atokan Series (Pennsylvanian) and its Boundaries – A Symposium. *Oklahoma Geological Survey Bulletin*, v.136, 198p.

SWEET, W.C. 1988. *The Conodonta, Morphology, Taxonomy, Palaeoecology and Evolutionary History of a Long-Extinct Animal Phylum*. Oxford Monographs on Geology and Geophysics, n.10, 212 p.

SWEET, W.C.; BERGSTRÖM, S.M. 1981. Biostratigraphy and evolution. *In*: Robison, R.A., (ed.). *Treatise on Invertebrate Paleontology, Part W, Miscellanea, Suppl. 2, Conodonta*. Lawrence, Geological Society of America, p.W92-W101.

SZATMARI, P.; CARVALHO, R.S.; SIMÕES.I.A. 1975. Evaporitos da Bacia do Amazonas. Rio de Janeiro: PETROBRÁS/DEPEX. Relatório Interno. 128p.

TASSINARI, C.C.G.; MACAMBIRA, J.B. 1999. Geochronological provinces of the Amazonian Craton. *Episodes*, v.22, p.174-182.

TENGAN, C.; SHIMABUKURU, S.; ROCHA-CAMPOS, A.C. 1976. Conodontes Carboníferos do poço FB-ST-1-AM Bacia do Amazonas, Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 29., Ouro Preto, MG, 1976. *Anais...* Ouro Preto: SBG., p.365.

TYNAN, M.C. 1980. Conodont biostratigraphy of the Mississippian Chainman Formation, Western Millard County, Utah. *Journal of Paleontology*, v.54, n.6, p.1282-1309.

VASCONCELLOS, A.C. 1992. Corais da Formação Itaituba-Aspectos Paleoecológicos: *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, Série Ciências da Terra*, v.4, p.35-43.

VON BITTER, P.H.; MERRILL, G.K. 1990. Effects of variation on the speciation and phylogeny of *Diplognathodus* – *Cour. Forsch.* – Inst. Senckenberg, v.118, p.105-129.

WANLESS, H.R.; SHEPARD, F.P. 1936. Sea Level and Climatic Changes Related to the late Paleozoic Cycles. *Geological Society of America Bulletin*, v.47, p.1177-1206.

WEBSTER, G.D. 1969. Chester Through Derry Conodonts and Stratigraphy of Northern Clark and Southern Lincoln Counties, Nevada. *University California Publications in Geological Sciences*, v.79, 121p.

WHITESIDE, J.R.; GRAYSON, R.C.Jr. 1990. Carboniferous Conodont Faunas, Northern Ouachita Mountains, Oklahoma. In: *Geology and Resources of the Frontal Belt of the Western Ouachita Mountains, Oklahoma*. Oklahoma Geological Survey. *Guidebook for Field Trip n. 2, AAPG, Midcontinent Section Meeting, Oklahoma City, Oklahoma*, p.149-167.

WINDLEY, B.F. 1984. *The evolving continents* (2nd ed.) Wiley, 399pp.

YOUNGQUIST, W.; DOWNS, R.H. 1949. Additional Conodonts from the Pennsylvanian of Iowa. *Journal of Paleontology*, v.23, n.2, p.161-171.

YOUNGQUIST, W; MILLER, A.K. 1949. Conodonts From the late Mississippian Pella beds of south-central Iowa. *Journal of Paleontology*, v.23, p.617-622