

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOTECNOLOGIA E
MONITORAMENTO AMBIENTAL

**TAFONOMIA EXPERIMENTAL SOBRE PEIXES:
GEOBIOLÓGICAS E ZOOARQUEOLÓGICAS**

Amanda Leopoldina Soares Gomes

Sorocaba
2018

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOTECNOLOGIA E
MONITORAMENTO AMBIENTAL

**TAFONOMIA EXPERIMENTAL SOBRE PEIXES:
GEOBIOLÓGICAS E ZOOARQUEOLÓGICAS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia e Monitoramento Ambiental, para obtenção do título de Mestre em Biotecnologia e Monitoramento Ambiental.

Orientação: Profa. Dra. Mírian Liza Alves Forancelli Pacheco

Sorocaba
2018

Leopoldina Soares Gomes, Amanda

TAFONOMIA EXPERIMENTAL SOBRE PEIXES: GEOBIOLÓGICAS
E ZOOARQUEOLÓGICAS / Amanda Leopoldina Soares Gomes. -- 2018.
55 f. : 30 cm.

Dissertação (mestrado)-Universidade Federal de São Carlos, campus
Sorocaba, Sorocaba

Orientador: Mírian Liza Alves Forancelli Pacheco

Banca examinadora: Arkley Marques Bandeira, George Mendes Taliaferro
Mattox

Bibliografia

1. Zooloquia. 2. Raman. 3. Manjuba. I. Orientador. II.
Universidade Federal de São Carlos. III. Título.

Ficha catalográfica elaborada pelo Programa de Geração Automática da Secretaria Geral de Informática (SIn).

DADOS FORNECIDOS PELO(A) AUTOR(A)

Bibliotecário(a) Responsável: Maria Aparecida de Lourdes Mariano – CRB/8 6979

AMANDA LEOPOLDINA SOARES GOMES

**TAFONOMIA EXPERIMENTAL SOBRE PEIXES:
GEOBIOLÓGICAS E ZOOARQUEOLÓGICAS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia e Monitoramento Ambiental, para obtenção do título de Mestre em Biotecnologia e Monitoramento Ambiental. Universidade Federal de São Carlos. Sorocaba, 12 de março de 2018.

Orientador(a)

Dr. (a) Mírian Liza Alves Forancelli Pacheco
UFSCar

Examinador(a)

Dr. (a) Arkley Marques Bandeira
UFMA

Examinador(a)

Dr.(a) George Mendes Taliaferro Mattox
UFSCAR

AGRADECIMENTOS

À minha orientadora Profa. Dra. Mírian Liza Alves Forancelli Pacheco, pela dedicação, paciência, clareza e segurança nas orientações durante todo o desenvolvimento da dissertação;

Agradeço ao auxílio financeiro fornecido pela CAPES, pela concessão da bolsa de mestrado do programa demanda social;

Ao Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia e Monitoramento Ambiental da UFSCar Sorocaba;

Agradecimentos especiais ao Laboratório Nacional de Luz Síncrotron (LNLS/CNPEM), em nome do Dr. Douglas Galante, por permitir a utilização de sua infraestrutura e demais dependências;

A Profa. Dra. Marcia A. Rizzutto por permitir a utilização de sua infraestrutura e demais dependências no IF- USP;

Ao Professor Dr. Fabio Yamaji do Programa de Pós-Graduação em Ciência dos materiais pela utilização do MEV/EDS;

A Profª Dra. Elidiane Cipriano Rangel, por permitir a utilização de sua infraestrutura e demais dependências n UNESP Sorocaba;

Agradeço a docentes, auxiliares docentes e funcionários administrativos pela paciência e disponibilidade da utilização dos laboratórios e equipamentos do Dep. De Biologia da UFSCar Sorocaba, em especial a Heide e Silas;

Agradeço aos companheiros de laboratório pela ajuda com discussões para o desenvolvimento da dissertação, Gabriel Osés, Bruno Becker, Estella Ferreira, Lorryne Freire, Melissa Tiyaky, Thaís Pansani e ao Gabriel Baréa que desenvolveu ilustrações para dissertação;

Agradeço aos meus amigos pela companhia e apoio, mesmo nos períodos de ausência, incluindo a Juviliana, Juliana, Janaina;

A minha família, pela paciência e compreensão.

GOMES, Amanda Leopoldina Soares. Tafonomia experimental sobre peixes: geobiológicas e zooarqueológicas. 2018. 055 f. Dissertação (Pós-Graduação em Biotecnologia e Monitoramento Ambiental) – Universidade Federal de São Carlos, campus Sorocaba, Sorocaba, 2018.

RESUMO

A Tafonomia experimental tem auxiliado na simulação e na compreensão de variáveis que afetam a fidelidade dos registros paleontológico e zooarqueológico. Neste estudo experimental foi testado o papel da ação térmica sobre a decomposição de *Anchoviella lepidentostole* “Manjuba”, em de diferentes substratos. Observou-se que o cozimento prévio de carcaças tende a potencializar a desarticulação inicial de suas partes, antes mesmo do enterramento. As taxas de decomposição e preservação também variaram em função dos substratos em que os peixes foram enterrados, implicando em transformações morfológicas e perdas de partes anatômicas. Em areia, a taxa de decomposição das carcaças foi maior quando comparada a outros substratos. Em argila, os espécimes sofreram compressão natural e acabaram por formar moldes. Neste substrato ocorreu a melhor preservação de estruturas morfológicas, ao longo de todo o experimento, em comparação aos demais. Em solo ocorreu a fragmentação dos espécimes. As alterações químicas e mineralógicas sobre musculatura e ossos foram avaliadas utilizando técnicas não destrutivas e/ou pouco invasivas. Análises espectroscópicas revelaram dados promissores para compreensão das alterações diagenéticas em ossos e musculatura de peixes. Espectros Raman apresentaram alterações em intensidades que podem ser indicativos de alterações na bioapatita óssea. Já, as análises elementares de EDS e XRF de fragmentos da musculatura indicaram variações de elementos químicos, incluindo elementos terra raras em concentrações baixas. Os sinais geobiológicos de biomineirais fornecem dados para reconstruções ambientais e indicar a extensão das alterações diagenéticas.

Palavra-chave: Tafonomia, Zooarqueologia, Raman, Manjuba.

ABSTRACT

Experimental taphonomy has assisted in the simulation and understanding of variables that affect the fidelity of paleontological and zooarchaeological records. In this experimental study was tested the role of thermal action on the decomposition of *Anchoviella lepidentostole* "Manjuba" in different substrates. It was observed that the precooking of carcasses tends to potentiate the initial disarticulation of their parts, even before being buried. The decomposition and preservation rates also varied according to the substrates in which the fish were buried, implying morphological transformations and loss of anatomical parts. In sand, the decomposition rate of the carcasses was higher when compared to other substrates. In clay, the specimens underwent natural compression and eventually formed molds. In this substrate, the best preservation of morphological structures occurred throughout the experiment, in comparison to the others. In soil the fragmentation of the specimens occurred. Chemical and mineralogical changes on musculature and bones were evaluated using non-destructive and / or non-invasive techniques. Spectroscopic analyzes revealed promising data for understanding diagenetic changes in bones and fish musculature. Raman spectra presented changes in intensities that may be indicative of changes in bone bioapatite. Already, elemental EDS and XRF analyzes of muscle fragments indicated variations of chemical elements, including rare earth elements at low concentrations. Geobiological signs of biomineirais provide data for environmental reconstructions and indicate the extent of diagenetic changes.

Keywords: Taphonomy, Zooarchaeology, Raman, Manjuba.

*“A sabedoria é um paradoxo. O
homem que mais sabe é aquele
que mais reconhece a vastidão
da sua ignorância.”*

Friedrich Nietzsche

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Morfologia da Manjuba.....	20
Figura 2. Modelo esquemático do experimento	21
Figura 3. Efeitos da ação térmica nas carcaças. a) peixes frescos, e peixes submetidos a temperaturas de b)100°C, c)150°C, d)180°C	25
Figura 4. Decomposição de Manjuba em diferentes substratos – a) carcaça enterrada em areia; b) carcaça enterrada em argila; c) carcaça enterrada em solo.	26
Figura 5. Decomposição do crânio de manjubas em diferentes substratos – a) carcaça enterrada em areia; b) carcaça enterrada em argila; c) carcaça enterrada em solo.....	28
Figura 6. Decomposição do corpo de manjubas em diferentes substratos – a) carcaça enterrada em areia; b) carcaça enterrada em argila; c) carcaça enterrada em solo.....	29
Figura 7 Análises de EDS. a) areia; b) argila; c) solo.	32
Figura 8. Espectros de fluorescência de raios-X em musculatura de manjuba fresca. a) Resultados de XRF dos sedimentos, b) Areia, c) Argila, d) Solo	33
Figura 9. Espectros de fluorescência de raios-X em musculatura de manjuba submetidos a ação térmica. a) Composição sedimentar b) resgatados da areia, c) resgatados da argila, d) resgatados do solo.	34
Figura 10. Espectros Raman de ossos. a) fresco, b) Início experimento, c) meio, d) fim.	36
Figura 11. Grau de maturidade. a) Início experimental, b) final do experimento tafonômico.	37
Figura 12. Análises estatísticas de Raman	38

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

CNPEM - Centro Nacional de Pesquisa em Energia e Materiais

EDS - Espectroscopia de raios X por dispersão em energia

FWHM - Largura à meia altura

IR – Intensidade Relativa

LNLS - Laboratório Nacional de Luz Sincrotron

MEV – Microscopia eletrônica de varredura

PPGCM – Programa de pós-graduação em Ciência dos materiais

USP – Universidade de São Paulo

XRF – Espectroscopia de fluorescência de raios-X

Sumário

1. INTRODUÇÃO	12
1.1 OBJETIVOS	14
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
2.1 CONCEITOS FUNDAMENTAIS	15
2.1.1 Bioestratinomia	15
2.1.2 Diagênese	16
2.2 O ESTUDO DO REGISTRO FÓSSIL DOS PEIXES	16
2.3 REGISTRO ZOOARQUEOLÓGICO	17
3. MATERIAIS E MÉTODOS	20
3.1. ORGANISMO EXPERIMENTAL	20
3.2. DELINEAMENTO EXPERIMENTAL	21
3.3. CARACTERIZAÇÃO MINERALÓGICA	22
3.3.1. Esteromicroscopia e imagens digitais	22
3.3.2. Espectroscopia de Energia Dispersiva (MEV-EDS)	22
3.3.3 Análises de fluorescência de raios X (EDXRF)	22
3.3.4 Espectroscopia Raman	23
3.3.5. Processamentos dos dados	23
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	24
4.1 TAFONOMIA EXPERIMENTAL DE PEIXES	24
4.1.1 Ação térmica	24
4.1.2 Decomposição de <i>Anchoiella lepidentostole</i> e alteração/perda de estruturas morfológicas	26
4.2 ASPECTOS QUÍMICOS E MINERALÓGICOS	31
4.2.1 EDS e XRF	31
4.2.2 Espectroscopia Raman	35
5. CONCLUSÕES	40
6. REFERÊNCIAS	41

1. INTRODUÇÃO

A definição mais amplamente utilizada para “Tafonomia” foi cunhada por Behrensmeyer e Kidwell (1985), como “o estudo de processos de preservação e como eles afetam as informações no registro fóssil”. Desde então, as influências tafonômicas sobre a qualidade do registro fóssil passaram a ser (re)consideradas em diversos estudos sobre paleoecologia, paleoambiente e taxonomia (BEHRENSMEYER, 1978; ELDER; SMITH, 1984; BEHRENSMEYER; KIDWELL, 1985; BEHRENSMEYER et al., 2000). Além disso, outras áreas também passaram a se beneficiar dos pressupostos teórico-metodológicos da Tafonomia, tais como a Arqueologia e as Ciências Forenses (LYMAN, 1994; SORG; HAGLUND, 2002)

Um dos desdobramentos mais profícuos da Tafonomia é a Tafonomia experimental, que desenvolve estudos comparativos entre registros fósseis e resultados de experimentos sobre preservação/decomposição de carcaças animais e vegetais (BRIGGS, 1995; BRIGGS; MCMAHON, 2016; INIESTO et al., 2016a). As investigações experimentais consideram variáveis individuais e/ou controladas em diferentes ambientes. Esta área tem contribuído para a interpretação de processos e mecanismos envolvidos em eventos bem-sucedidos de preservação de organismos, assim como para o estabelecimento de relações entre processos tafonômicos e a fidelidade do registro fóssil (ANDREWS, 1995; BRIGGS, 2003a; BRIGGS; MCMAHON, 2016).

Visto que a fossilização resulta de um conjunto de processos tafonômicos complexos, a qualidade dos registros fóssil e zooarqueológico está associada a dois fatores principais: extrínsecos (*e.g.* ambientes de deposição, ação humana) e a intrínsecos (*e.g.* potencial de preservação do organismo) (BEHRENSMEYER, 1978; LYMAN, 1987; O’CONNOR, 1996).

No caso dos organismos (ou partes destes) com baixo potencial de fossilização, as condições de preservação tendem a ser peculiares e extrínsecas (*e.g.* soterramento rápido e baixos teores de oxigênio no meio) (BRIGGS; KEAR, 1993; WEINER, 2008; INIESTO et al., 2016b). Quando preservados, esses organismos acabam por conferir alta fidelidade ao registro fóssil, sendo definidos como janelas tafonômicas ou *Fossil Konservat Lagerstätten*¹ (SEILACHER et al., 1985). Por outro lado, carapaças e ossos, são mais propícios a se fossilizar do que tecidos orgânicos não biomineralizados condição¹ intrínseca ao organismo (WEINER, 2003, 2008; TRUEMAN, 2013).

¹ Fossil Konservat Lagerstätten (palavra alemã) designação dada a depósitos sedimentares que apresentam fósseis com preservação excepcional, incluindo tecidos moles como coração e fibras musculares.

Contribuições recentes, considerando técnicas paleométricas de alta resolução, revelaram diferentes vias tafonômicas de preservação de tecidos moles em peixes (e.g. músculos, olhos) por piritização e querogenização, em uma mesma unidade da Formação Santana, o Membro Crato (DELGADO et al., 2014; OSÉS et al., 2017). Estudos experimentais, ainda incipientes, têm corroborado o papel da oferta de sedimentos no processo de fossilização e na qualidade do registro de peixes (e.g. BARROS et al., 2016).

Assim como as contribuições para compreensão da natureza do registro paleontológico, a Tafonomia experimental sobre peixes tem contribuído para a reconstrução ambiental e cultural de sítios pré-históricos (ZOHAR et al., 2001). Alguns trabalhos considerando as variáveis ambientais de domínios biogeográficos brasileiros, como o Cerrado, revelaram a maior resistência ao ataque de microrganismos do solo em ossos de aves em comparação aos de mamíferos (embora esses sejam mecanicamente mais resistente a outros fatores, como pisoteamento e ação de bioturbadores) (FORANCELLI PACHECO; VILLAGRAN; MARTINS, 2012a). Este e outros trabalhos também revelaram que o processamento de carcaças para alimentação, por exemplo, pode implicar em diferentes taxas de decomposição dos restos faunísticos (FORANCELLI PACHECO; VILLAGRAN; MARTINS, 2012b; SOLARI et al., 2015).

Os sambaquis preservados ao longo da costa brasileira são bons exemplos de sítios arqueológicos/zooarqueológico (SOUZA et al., 2010; WAGNER et al., 2011). Trabalhos clássicos e consagrados têm revelado o importante papel dos peixes na alimentação de algumas sociedades humanas pretéritas (FIGUTI, 1993, 1999; GASPAR et al., 2008). Em alguns casos, a exemplo de alguns sambaquis do Maranhão, a tafonomia tem se mostrado importante na detecção de processos de preservação diferencial entre táxons (BANDEIRA et al., 2016), relevando que alguns aspectos já considerados como padrões de subsistência humana, na verdade refletem um viés do próprio registro. Contudo, a zooarqueologia brasileira ainda carece de trabalhos experimentais relacionados à preservação das carcaças de peixes.

Diante do exposto, essa contribuição visa simular algumas variáveis ambientais, em laboratório, e compreender sua relação com possíveis fatores intrínsecos de carcaças de peixes, relacionados a processos de decomposição/preservação. Os resultados deste estudo poderão ajudar a compor uma melhor compreensão dos processos de formação do registro fóssil e zooarqueológico.

1.1 OBJETIVOS

Diante do exposto, este trabalho tem por objetivos:

- Comparar a taxa de decomposição de peixes manjuba (submetidos e não submetidos à ação térmica), em três ambientes deposicionais (solo, areia, argila).
- Caracterizar a composição mineralógica e química (elementar e molecular) de ossos e musculatura dos peixes.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 CONCEITOS FUNDAMENTAIS

O Termo Tafonomia (origem grega: *tafos*=sepultamento; *nomos*=leis) foi introduzido pelo paleontólogo russo Ivan Efremov (1940) para designar o “estudo das leis que governam a transição dos restos orgânicos da biosfera para litosfera”. Em 1970, com o crescimento de novas áreas de estudos, entre estas a paleoecologia, os estudos tafonômicos começam a ganhar maior destaque. Behrensmeyer (1978, 1986) foi uma das pioneiras em estudos observacionais de ossos fósseis e atuais. O conceito de Tafonomia mudou ao longo do tempo, sendo designado por Behrensmeyer e Kidwell (1985) como “o estudo de processos de preservação e como eles afetam as informações no registro fóssil” (BEHRENSMEYER, 1978; BEHRENSMEYER; KIDWELL, 1985).

No início da década de 1980, Gifford (1981), seguindo a definição de Efremov (1940), atribui a Tafonomia e a Paleoecologia a disciplinas irmãs da Arqueologia, sendo esta área de conhecimento dedicada ao estudo de elementos materiais da cultura humana. Neste contexto, a Tafonomia passou a ser ferramenta complementar em estudos zooarqueológico, visando à avaliação de como a interação entre agentes e processos tafonômicos pode afetar o registro arqueológico (GIFFORD, 1981).

Grosso modo, a Tafonomia fundamenta-se nos processos *post-mortem* de organismos, que se subdividem em duas áreas apresentadas a seguir: a bioestratinomia e a diagênese (LAWRENCE, 1971).

2.1.1 Bioestratinomia

A bioestratinomia engloba um conjunto de processos tafonômicos que se iniciam com a morte do organismo. As causas da morte podem ser naturais (*e.g.* predação, doença, idade) ou catastróficas (*e.g.* terremotos, vulcões, mudanças climáticas). Após a morte, inicia-se a necrólise, processo de decomposição dos tecidos moles por organismos decompositores e ação enzimática da própria carcaça em decomposição. A decomposição é resultado da biodegradação dos tecidos moles por bactérias e fungos, que resulta na desarticulação inicial dos organismos, um dos principais fatores de perda de informação no registro fóssil. Outros processos destrutivos (*e.g.* fragmentação, abrasão, bioerosão e dissolução) podem variar em função do ambiente sedimentar. O transporte e o soterramento são as etapas finais dos processos bioestratinômicos, fatores importantes para determinar lugar de origem da morte e preservação dos restos orgânicos no registro geológico (CARVALHO, 2010).

2.1.2 Diagênese

A diagênese envolve um conjunto de processos químicos e físicos que atuam na matriz sedimentar e nos restos orgânicos, resultando ou não na fossilização. Desta forma a matriz sedimentar após a deposição pode sofrer uma série de transformações (*e.g.* pH, temperatura, pressão), os vários processos diagenéticos (*e.g.* mineralização, incrustação, permineralização) podem gerar mudanças morfológicas e químicas no organismo diferentes dos originais. A seguir, destacamos dois processos de fossilização que podem ocorrer em diferentes ambientes sedimentares, a permineralização e a mineralização. A permineralização é um processo em que íons são transportados em solução, gerando minerais que preenchem os espaços no interior dos tecidos orgânicos. Já a mineralização é um processo frequentemente induzido pela decomposição de tecidos orgânicos mediada por atividade bacteriana (BRIGGS et al., 1997; MARTIN; BRIGGS; PARKES, 2005). O mineral precipitado depende da composição química do sedimento e das condições geoquímicas do paleoambiente, do sedimento e aquelas geradas durante a decomposição (BRIGGS, 2003).

2.2 O ESTUDO DO REGISTRO FÓSSIL DOS PEIXES

O registro fóssil pode se mostrar rico em informações. Porém, devido a ação de diferentes filtros tafonômicos esta informação pode se tornar enviesada e incompleta. Os estudos tafonômicos sobre decomposição de carcaças de peixes podem estimar o que tende a ser modificado, além da quantidade de informações originais que podem ser perdidas. Estes estudos podem auxiliar em reconstituições paleoecológicas (*e.g.* relacionadas à composição taxonômica e dados sobre paleobiodiversidade) e paleoambientais (*e.g.* salinidade, temperatura, nível de oxigênio).

Os estudos tafonômicos com peixes baseiam-se principalmente em assembleias ósseas associadas a perda de fidelidade esquelética (ou seja, esqueleto completo e articulado) pode ser avaliada com base na presença ou ausência de elementos do esqueleto e se os elementos presentes estão na posição de vida ou não (articulados) (MANCUSO, 2012). Estudos paleoambientais demonstram que a diversidade de peixes e os processos tafonômicos também são dependentes do habitat. O destino das carcaças depende de fatores que incluem: profundidade da água, pressão, salinidade, nível de oxigênio, taxa de sedimentação e temperatura da água (ZOHAR et al., 2008). Assim como, também é possível inferir e relacionar os efeitos ambientais na especiação em ambientes lacustres.

Os depósitos Konservat-Lagerstatte caracterizam-se por apresentarem fosseis de grande diversidade taxonômica e de preservação excepcional, estes ocorrem no mundo todo, Formação Shanwang no Leste da China (Mioceno)(YANG; YANG, 1994); Emu Bay Shale (Cambriano) na Austrália(PATERSON et al., 2016), entre outros, assim como no Brasil as Formações Santana e Tremembé(TORRES-RIBEIRO; BORGHI, 2007; CHAGAS et al., 2009).

A Formação Tremembé pertence ao Grupo Taubaté. A bacia Taubaté localiza-se na porção leste do estado de São Paulo, está e composta por argilitos e folhetos de idade Oligocênica. A formação possui fosseis de plantas, invertebrados, vertebrados e icofósseis. A qualidade e excepcional preservação podem ser atribuídas ao paleoambiente lacustre e de águas calmas (TORRES-RIBEIRO; BORGHI, 2007; CHAGAS et al., 2009).

No Nordeste do Brasil, a Formação Santana apresenta fósseis de preservação excepcional, entre registros de plantas, vertebrados e invertebrados. A paleoictiofauna é composto por mais de 19 gêneros pertencentes a diversas famílias. Apesar da grande riqueza e qualidade do registro, as variações e padrões de abundância na Bacia do Arararipe ainda são em grande parte desconhecidas (MARTILL; BRITO; WASHINGTON-EVANS, 2008).

2.3 REGISTRO ZOOARQUEOLÓGICO

O registro zoorqueológico é capaz de revelar os mais diversos contextos culturais ao longo do tempo, assim como reconstruções paleoambientais e paleoecológicas. Alguns sítios arqueológicos evidenciam a presença de antigos caçadores-coletores (KIPINIS, 2002; VILHENA-VIALOU, 2005), voltados para obtenção de pequenos a médios mamíferos (PACHECO, 2009), enquanto outros refletem atividades de pesca e coleta massiva de moluscos, com caça incipiente (FIGUTI 1993, DE MASI 2001).

A ocorrência de sambaquis ao longo da costa brasileira (*e.g.* Santa Catarina, Paraná, São Paulo e Rio de Janeiro) remonta os padrões de subsistência de populações humanas pré-históricas que viviam na costa brasileira entre 8.000 a 2.000 anos (FIGUTI 1993, Lima et al. 2002; 2003). Os sambaquis são formações constituídas de aglomerado de conchas, ossos de mamíferos, artefatos, sepultamento humanos e restos de alimentos (FIGUTI, 1993; LIMA, 2000; BARBOSA et al., 2004).

Estudos de caso brasileiros demonstram que as populações sambaqueiras se estabeleceram em regiões costeiras e ou fluviais, e a pesca teve papel importante como principal forma de obtenção de recursos alimentares entre os seres humanos (FIGUTI, 1993; DE MASI, 2001). Estudos considerando os remanescentes arqueofaunísticos coletados em

sambaquis evidenciam a predominância de vestígios ósseos de peixes (LYMAN, 1996; COSTA et al., 2012; PAVEI et al., 2015). Diferentes espécies foram relatadas em estudos zooarqueológicos. Porém, observa-se pouca incidência da família Engraulidae nos remanescentes de sítios arqueológicos costeiros (GUIMARÃES, 2007; CHAIRI; REBORDINOS, 2014; MARRAMÀ; CARNEVALE, 2016).

Muitos sítios arqueológicos costeiros apresentam solo arenoso de alta permeabilidade, o que influencia em diferentes processos tafonômicos. Assim como, Manjubas (Família Engraulidae) peixes de pequeno porte podem ser consumidos inteiros, estas seriam explicações alternativas para baixa incidência de registro fóssil desta família. Desta forma, estudos zooarqueológicos e tafonômicos são complementares e têm contribuído para reconstruções paleoecológica em contextos culturais de sociedades humanas pretérita. (VANDERWARKER; PERES, 2010; BETTS et al., 2014).

2.4 CONTRIBUIÇÕES DA PALEOMETRIA E ARQUEOMETRIA

O desenvolvimento de diferentes técnicas analíticas em escala atômica, tem contribuído para os estudos em Paleometria e Arqueometria. Atualmente, esses estudos utilizam combinações de técnicas não invasivas ou minimamente destrutivas de análise (*e.g.* espectroscopia e microtomografia), que, de modo complementar fornecem dados desde a composição elementar até características morfológicas e ultraestruturais de fósseis, materiais arqueológicos e de arte (SILVA et al., 2004; CESAREO et al., 2010; DELGADO et al., 2014; RENAN; BANTIM, 2015; IKEOKA et al., 2018).

Na última década muitos estudos vêm utilizando esses métodos de alta resolução para a análise de fósseis. No exterior, a Paleometria já é consagrada na caracterização de microfósseis paradigmáticos (como os embriões de animais mais antigos do mundo) (XIAO; KNOLL, 2000; XIAO et al., 2007), e no esforço para a detecção de bioassinaturas em Marte (SCHOPF, 2012), por exemplo. Recentemente, essas técnicas têm sido aplicadas com sucesso ao estudo de fósseis do Pré-Cambriano (BIDOLA et al., 2015; PACHECO et al., 2015), do Devoniano (BECKER-KERBER et al., 2017) e do Cretáceo brasileiros (OSÉS et al., 2016), revelando dados importantes sobre paleoambiente, geobiologia e taxonomia de alguns grupos.

Em estudos sobre fósseis de peixes do Membro Crato, Brasil, a utilização de diferentes técnicas analíticas (*e.g.* MEV, EDXRF, EDS, Raman) auxiliaram na interpretação das vias de fossilização organismos preservados em três dimensões (OSÉS et al., 2017) As análises geoquímicas em fósseis de peixes primitivos *Dastilbe crandalli* indicaram dois

processos de preservação excepcional mediados por bactérias em uma mesma unidade geológica (OSÉS et al., 2016). Em outro estudo, com a aplicação de técnicas de tomografia por raios-X foi possível caracterizar corações fósseis do peixe *R. buccalis* também do Cretáceo a 113 Ma. Esses dados são essenciais para compreensão dos processos e padrões evolutivos deste órgão entre peixes e outros vertebrados (LONG, 2016; MALDANIS et al., 2016).

Já o emprego de técnicas arqueométricas tem se revelado eficaz para o estudo de artefatos cerâmicos, como meios de documentar e explicar os processos tecnológicos durante o processo e produção desses materiais (BASTOS, 2011). Em investigações para determinação elementar em matérias cerâmicos compostos de argila utilizando a técnica de (EDXRF) observou-se argilas diferenciadas. Com estes resultados foi possível inferir que os grupos mesmo de regiões semelhantes possuíam processos tecnológicos diferentes, que vão desde a seleção da matéria prima ao acabamento dos materiais (SILVA et al., 2004).

Sendo assim, essas novas técnicas possuem diversas vantagens e também de serem técnicas não destrutivas, característica importante em estudo de fósseis. As técnicas fornecem dados geoquímicos, estudos moleculares e estruturais. Em Tafonomia, as análises geoquímicas podem contribuir no entendimento das diagêneses e das vias de fossilização.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. ORGANISMO EXPERIMENTAL

Anchoviella, gênero Engraulinae, pertence ao grupo de manjubas. Seu tamanho (3 a 16 cm de comprimento), distribuição (Américas do Sul, Central, do Norte e nas costas do Pacífico e Atlântico destes continentes) e características morfológicas bem conspícuas, viabilizam o delineamento de um experimento tafonômico, no que concerne a amostragem e o reconhecimento de informações (perdidas ou modificadas) durante as sequências de decomposição da carcaça.

Os indivíduos da espécie (Figura 1) se destacam por possuírem focinho proeminente e articulação mandibular localizada posteriormente em relação aos olhos. O corpo é coberto por escamas de tamanho moderado que se destacam facilmente. A linha lateral está ausente e as nadadeiras não apresentam espinhos (LOEB, 2009, 2012).

Figura 1. Manjuba

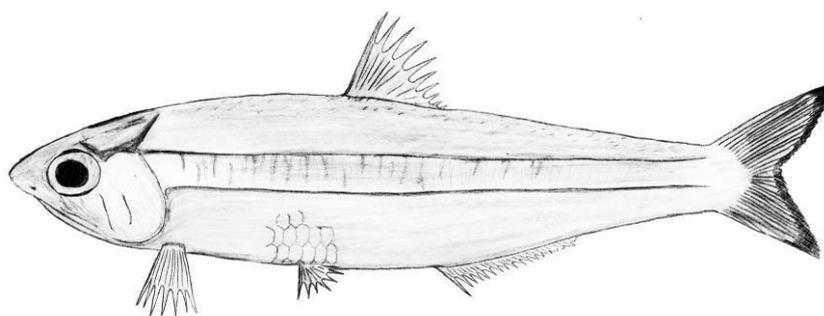


Ilustração de Gabriel Eduardo Baréa de Barros

Manjubas são abundantes e estão entre os mais importantes peixes comerciais da atualidade. Porém, Grande & Nelson (1985) relacionam a escassez de fósseis desse gênero a habitats restritivos, com menos probabilidade de fossilização, como fator principal da incompletude de seu registro (GRANDE, 1985).

3.2. DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

O desenvolvimento metodológico proposto foi inspirado em trabalhos clássicos em tafonomia experimental (BRIGGS; KEAR, 1993; SAGEMANN et al., 1999; BRIGGS, 2003b). O delineamento proposto visa explorar fatores individuais que podem levar a fossilização, as alterações diagenéticas e as taxas de decomposição em escala laboratorial, utilizando-se de um representante dos vertebrados (Manjubas). Amostras de solo², areia e argila foram distribuídas em 72 recipientes de polietileno de 500ml com tampa, cada um contendo três espécimes de manjuba adquiridas em mercado, totalizando 216 espécimes compradas em peixaria. Os recipientes foram selados para limitar a difusão de oxigênio, simulando, dentro do possível, um ambiente euxínico/anóxico (e.g. fundos de lago, substrato de manguezais etc). A figura 2 apresenta um modelo esquemático da metodologia.

Figura 2. Modelo esquemático do experimento

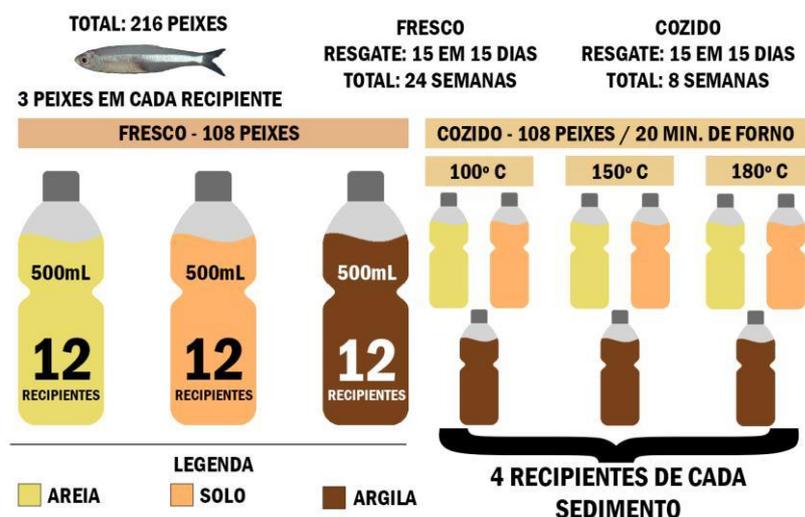


Ilustração de Gabriel Eduardo Baréa de Barros

Do total, 108 espécimes frescos foram depositados em três grupos de 12 recipientes, cada grupo contendo um tipo sedimento (solo, areia ou argila). A abertura dos recipientes e resgate dos peixes foi realizada em intervalos de 15 dias, totalizando 24 semanas de experimento. Os outros 108 indivíduos foram submetidos à ação térmica, sendo cada 36 espécimes submetidos a uma temperatura específica (forno - 100° C, 150° C, 180° C), por 20

² Solo - “produto do intemperismo, do remanejamento e da reorganização das camadas superiores da crosta terrestre, sob ação da atmosfera, da hidrosfera, da biosfera e das trocas de energia envolvidas”

minutos, cada três foram depositados em 12 recipientes contendo solo, areia ou argila. A abertura dos recipientes e resgate dos peixes foi realizada em intervalos de 15 dias, totalizando oito semanas de experimento.

3.3. CARACTERIZAÇÃO MINERALÓGICA

3.3.1. Esteromicroscopia e imagens digitais

Após serem retirados dos recipientes, os peixes foram analisados, sempre comparando com espécimes-controle frescos (não foram submetidos à experimentação), para investigação de partes alteradas e/ou faltantes na morfologia dos animais submetidos ao experimento. Os espécimes foram observados sob estereomicroscópio para caracterização micro morfológica e fotografados por meio de câmera digital.

3.3.2. Espectroscopia de Energia Dispersiva (MEV-EDS)

As análises que investigaram a composição elementar, foram realizadas em Microscopia Eletrônica de Varredura - Energia Dispersiva de raios X (MEV-EDS), no Laboratório de Ciência dos Materiais (PPGCM), sob a coordenação do Dr. Prof. Minoru Yamaji na Universidade Federal de São Carlos - UFSCar (*campus* Sorocaba). As análises foram realizadas sob MEV de bancada (Hitachi TM3000), acoplado a equipamento de EDS, com tensão de operação em 15 kV, baixo vácuo.

3.3.3 Análises de fluorescência de raios X (EDXRF)

As análises de EDXRF foram realizadas no Instituto de Física da Universidade de São Paulo (USP), em colaboração com a Profa. Dra. Márcia Rizzuto. O equipamento portátil EDXRF consiste em um mini tubo Amptek de raios X de ânodo Ag e um detector de tração de silício (SDD - detector de semicondutores de raios X) de 125 eV FWHM para a linha de 5,9 keV de Mn. As medições foram realizadas com tensão de 30 kV e 10 μ A de corrente de tubo e com um tempo de excitação/deteção de 600 s. A caracterização elementar foi realizada na musculatura de peixes resgatados dos recipientes, quinzenalmente, ao longo do experimento tafonomico.

3.3.4 Espectroscopia Raman

A composição mineralógica dos ossos de peixes fresco depositados em argila, areia e solo foi analisada por espectroscopia Raman, em um equipamento confocal micro Raman inVia Renishaw, acoplado a um laser com um comprimento de onda de 785 nm e potência de 300 mW. Foi empregado detector CCD. Os espectros Raman foram analisados no software Origen 8®. O uso desse equipamento e a ajuda na interpretação dos espectros foi viabilizada pela colaboração estabelecida com o Dr. Douglas Galante, CNPEM.

3.3.5. Processamentos dos dados

As análises espectroscópicas acima mencionadas obedeceram a parâmetros consagrados para a análise de fósseis, em um esforço interdisciplinar denominado Paleometria (RIQUELME; RUVALCABA-SIL; ALVARADO-ORTEGA, 2009). Conforme supra descrito, esta área de conhecimentos tem se aperfeiçoado no desenvolvimento de técnicas não destrutivas e/ou pouco invasivas para a caracterização de detalhe dos fósseis (DELGADO et al., 2014; BIDOLA et al., 2015; OSÉS et al., 2017) (DELGADO et al., 2014; BIDOLA et al., 2015; OSÉS et al., 2016). Na medida do possível, as análises realizadas nesta contribuição seguiram os critérios e pressupostos metodológicos estabelecidos no estudo de Osés *et al.*, 2017, para caracterização diagenética dos peixes do Membro Crato. Gabriel L. Osés (doutorando, PPGERN) também contribuiu ativamente durante o delineamento dos experimentos tafonômicos aqui discutidos.

Os espectros Raman foram processados no programa Raman Environment (WiRE™) a partir da determinação de linha base, e o processo de normalização pelo método de máxima intensidade. Os dados estatísticos foram realizados por cálculos de intensidade relativa (IR_{Raman}) e de medições de largura meia altura das bandas de fosfato (FWHM) pelo método “curve fit”, que permite a construção da curva que se adapte aos dados espectrais obtidos.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 TAFONOMIA EXPERIMENTAL DE PEIXES

4.1.1 Ação térmica

A caracterização das implicações dos processos de cozimento de carcaças é importante para estabelecer os agentes tafonômicos, culturais ou naturais responsáveis pelas alterações na musculatura e nos ossos. O cozimento em contextos culturais pode estar associado a dois processos de exposição indireta ao fogo: grelhar (quando osso está protegido apenas pelos tecidos moles) ou ferver (quando os tecidos e os ossos são aquecidos em água) (SOLARI et al., 2015).

Em nossas condições experimentais simulamos o ato de grelhar. Neste, foi possível observar que a ação térmica favoreceu a fragmentação inicial após estes serem assados por 20 minutos em forno com diferentes temperaturas, previamente ao enterramento das carcaças. Em temperatura de 100°C (Figura 3b) verificou-se o rompimento da superfície ventral dos espécimes, com exposição das vísceras. Com o aumento da temperatura para 150°C (Figura 3c), ocorreu a desarticulação do crânio e pequenas rupturas musculares visíveis. Finalmente, em temperatura de 180°C (Figura 3d), ocorreu a cocção total de toda a musculatura, o que enrijeceu a carcaça e culminou no aumento de rupturas musculares.

Figura 3. Efeitos da ação térmica nas carcaças. a) peixes frescos, e peixes submetidos a temperaturas de b)100°C, c)150°C, d)180°C



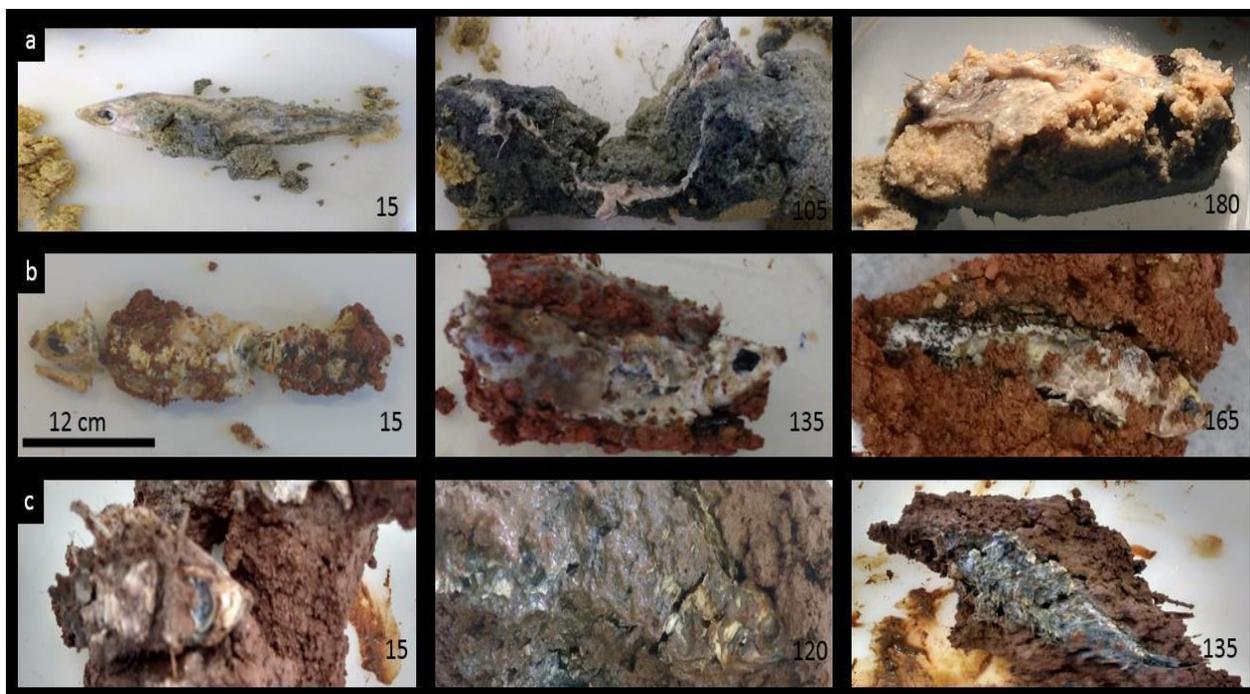
Fonte: Autora.

Os resultados dessa contribuição corroboram que a fragmentação e a desarticulação de carcaças nem sempre resultam de processos puramente ambientais (*e.g.* energia do ambiente), uma vez que esses padrões de alterações/transformações podem ser causados pela ação humana antes da incorporação ao registro (DENYS, 2002; ROBERTS et al., 2002). Isto posto, os dados aqui apresentados fornecem subsídios para compreensão dos processos pré-depositacionais que implicam em modificações pós-soterramento aos quais as carcaças são submetidas.

4.1.2 Decomposição de *Anchoviella lepidentostole* e alteração/perda de estruturas morfológicas

De modo geral, em areia foi verificada maior taxa de decomposição da carcaça em relação aos outros substratos (Figura 4a), incluindo decomposição total ao final do experimento. Em argila (Figura 4b) ocorreu a melhor preservação de estruturas morfológicas. Porém, inicialmente, a compactação da argila favoreceu a desarticulação. Em solo (Figura 4c) houve pronunciada desarticulação e perda de apêndices.

Figura 4. Decomposição de Manjuba em diferentes substratos – a) carcaça enterrada em areia; b) carcaça enterrada em argila; c) carcaça enterrada em solo.



Fonte: Autora

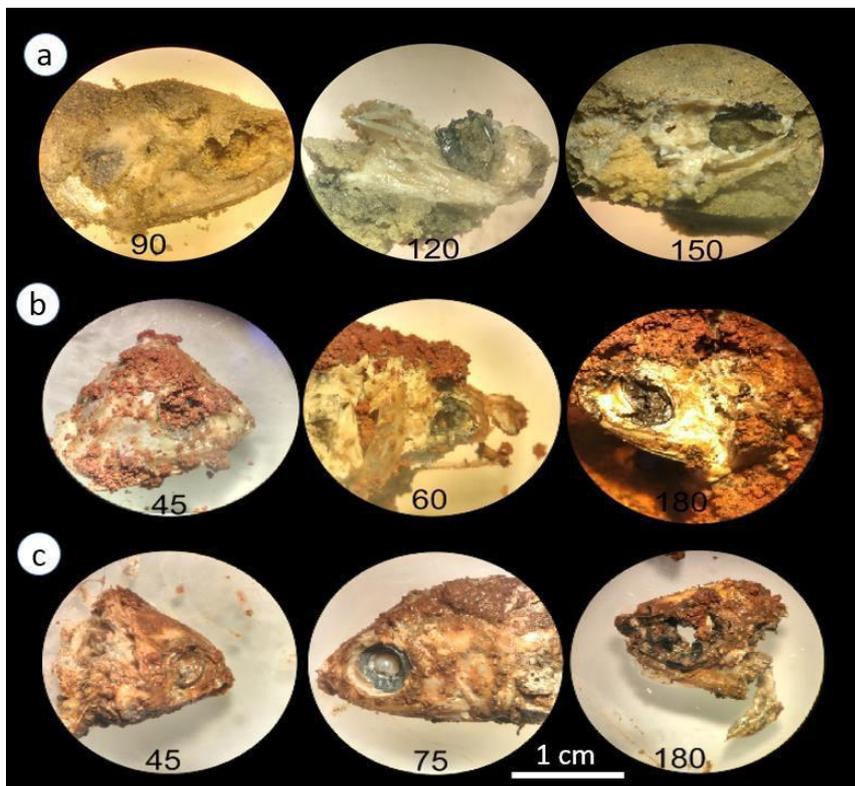
Os peixes são basicamente divididos em crânio, tronco e apêndices. Os ensaios experimentais revelaram sequências de decomposição e perda ou alteração de partes da morfologia, conforme os diferentes substratos, os resultados são apresentados na (Tabela 1).

Tabela 1 - Decomposição de peixes

Anatomia		Fresco	Ação térmica
Areia			
Crânio	<i>Olho</i> <i>Opérculo</i> <i>Boca (mandíbula e maxila)</i>	Decomposição acelerada a partir de 45 dias; Olho desaparece após 90 dias.	Preservação melhor do globo ocular em 180°C em relação a 100°C.
Corpo	<i>Músculo</i> <i>Tegumento (faixa lateral)</i>	Faixa lateral evidenciada até 75 dias, após esse período, não é possível observar e diferenciar musculatura de tegumento.	A partir de 45 dias, intensifica a decomposição e a musculatura torna-se mais friável.
Apêndices	<i>Nadadeira (pélvica e peitoral)</i> <i>Nadadeira Caudal</i>	Nadadeiras presentes até 45 dias. São as primeiras estruturas a serem perdidas.	Ação térmica favorece a ruptura e perda de nadadeiras
Solo			
Crânio	<i>Olho</i> <i>Opérculo</i> <i>Boca (mandíbula e maxila)</i>	Perda de olho após 120 dias	Preservação melhor do globo ocular em 180°C em relação a 100°C.
Corpo	<i>Músculo</i> <i>Tegumento (faixa lateral)</i>	Não é possível diferenciar tegumento de musculatura a partir de 15 dias	Desarticulação, propicia exposição da coluna.
Apêndices	<i>Nadadeira (pélvica e peitoral)</i> <i>Nadadeira Caudal</i>	Nadadeiras se desarticulam em 15 dias, porém permanecem dispersas no sedimento	Ação térmica favorece a ruptura e perda de nadadeiras
Argila			
Crânio	<i>Olho</i> <i>Opérculo</i> <i>Boca (mandíbula e maxila)</i>	Opérculo é perdido inicialmente devido a compactação do sedimento, que resulta também na desarticulação da mandíbula.	A compactação inicial do sedimento favorece a desarticulação da mandíbula. Deformidade do olho.
Corpo	<i>Músculo</i> <i>Tegumento (faixa lateral)</i>	Após 75 dias, fungos envolvem a musculatura.	Músculos desidratados e com fungos.
Apêndices	<i>Nadadeira (pélvica e peitoral)</i> <i>Nadadeira Caudal</i>	Inicialmente, são preservadas em forma de moldes e, após 45 dias, não são mais visíveis.	Ocorrências de moldes da nadadeira caudal.

Ao longo do experimento, a região da cabeça dos peixes apresentou padrões de decomposição semelhantes em todos os substratos, diferindo apenas no tempo do processo. Em argila (Figura 5b) foi formado um invólucro em torno da carcaça, devido a compactação e características sedimentares, que resultou principalmente em deformações no crânio e desarticulação da mandíbula. Esse padrão deve ter sido ocasionado pela compressão inicial. Em solo (Figura 5c) observou-se melhor preservação em comparação à areia e os elementos ósseos do crânio apresentaram maior resistência à fragmentação. Em areia, a preservação inicial foi bem efetiva. Porém, após 45 dias iniciou-se processo de decomposição mais pronunciada (Figura 5a), que resultou na completa degradação das estruturas morfológicas ao fim do experimento, após 180 dias. Sansom et al, 2013 observaram que o crânio de vertebrados sofre padrões de mudanças relativamente recorrentes durante a decomposição: tecidos moles de ligação são perdidos inicialmente. (SANSOM; GABBOTT; PURNELL, 2013). A mandíbula possui características de focinho proeminente projetado além da ponta anterior do maxilar inferior e grande região orbital (DI DARIO, 2009; MARRAMÀ; CARNEVALE, 2016). Entretanto, apesar das alterações ao fim de 180 dias, em solo e argila ainda foi possível reconhecer a mandíbula com base na morfologia craniana.

Figura 5. Decomposição do crânio de manjubas em diferentes substratos – a) carcaça enterrada em areia; b) carcaça enterrada em argila; c) carcaça enterrada em solo.

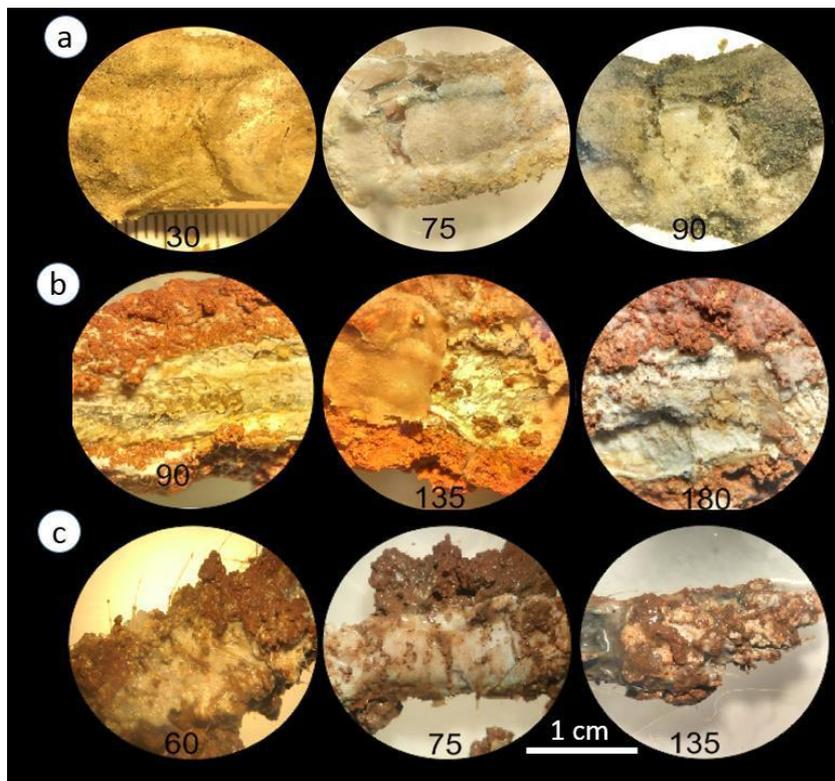


Fonte: Autora

Em areia (Figura 6a), no dia 15^o dia, a carcaça estava inchada. Após 45 dias, o corpo tornou-se mais friável ao toque. A faixa lateral ficou visível até 75 dias, e a partir de 105 dias ocorreu a decomposição completa do corpo. Em argila (Figura 6b), a compressão inicial do sedimento dividiu o corpo em seções partes longitudinais. Foi possível observar a coluna vertebral dos espécimes até 90 dias após o início dos experimentos. Após 135 dias, os fungos desenvolveram uma película que recobriu o tegumento dos peixes e os destacou do sedimento. Ao final de 180 dias, o corpo apesentou aspecto opaco e desidratado. Em solo (Figura 6c) houve fragmentação do corpo. A superfície das carcaças deteriorou-se rapidamente e, após 75 dias, uma película acinzentada se estabeleceu sobre os fragmentos do corpo, que persistiu até 180 dias após o início do estudo.

Os apêndices foram as primeiras partes perdidas em todos os substratos. Em areia, as nadadeiras foram preservadas até 30 dias após o início do experimento. Em argila, as nadadeiras foram inicialmente preservadas também como moldes devido à compactação. Em solo, os apêndices se fragmentam nos primeiros 15 dias e permaneceram dispersos no sedimento.

Figura 6. Decomposição do corpo de manjubas em diferentes substratos – a) carcaça enterrada em areia; b) carcaça enterrada em argila; c) carcaça enterrada em solo.



Fonte: Autora

A decomposição de partes diagnósticas é um dos principais fatores de perda de informação do registro fóssil, pois gera deformação, desarticulação e fragmentação. Entretanto, já foi verificado que certo grau de decomposição é necessário para replicação de tecidos moles por minerais autigênicos, processo responsável pela preservação de diferentes estruturas anatômicas, resultando em implicações diretas na interpretação taxonômica e filogenética dos restos fósseis (ELDER; SMITH, 1988; SANSOM; GABBOTT; PURNELL, 2011; BRIGGS; MCMAHON, 2016).

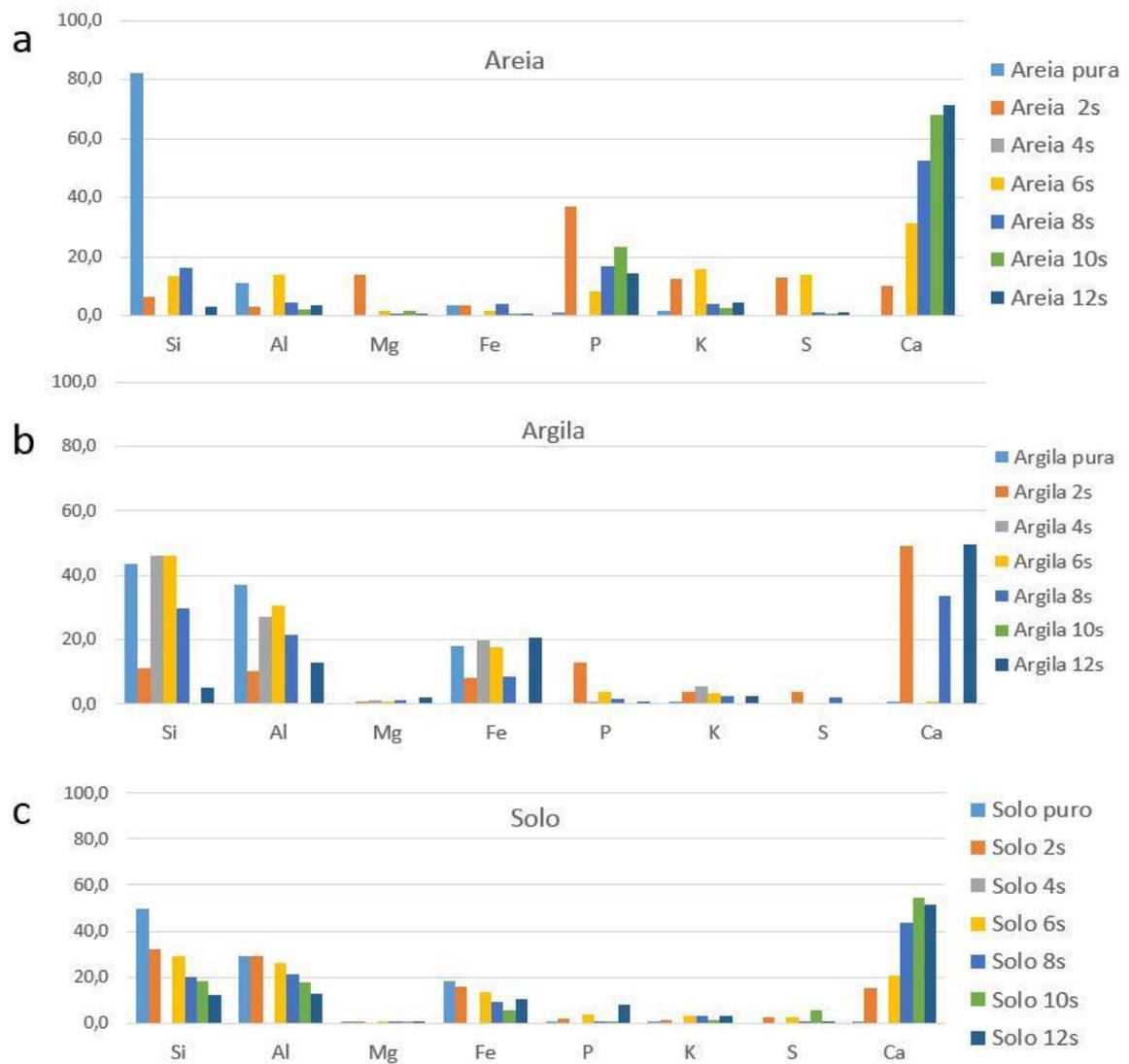
4.2 ASPECTOS QUÍMICOS E MINERALÓGICOS

4.2.1 EDS e XRF

Os resultados de (EDS) sobre partes da musculatura mostraram que a abundância relativa de elementos químicos variou em espécimes frescos nos diferentes substratos ao longo do experimento (Figura 7). As variações de Ca podem indicar mineralização por calcita ou fosfato de cálcio. A fosfatização pode ser originada devido a decomposição de partes da carcaça, ou seja, partes do organismo em decomposição geram fontes de fosforo pra o microambiente o que favorece a replicação mineral, umas das principais formas de fossilização de tecidos moles e por replicação de fosfatos (BRIGGS et al., 1993; BRIGGS; WILBY, 1996; WILBY et al., 1996).

A mineralização de tecidos moles requer um equilíbrio entre as taxas de decomposição e de difusão de íons. Estudos demonstram que o crescimento de minerais autigênicos em associação com a matéria orgânica em decomposição é um processo rápido (SAGEMANN et al., 1999; DARROCH et al., 2012; HIPPLER et al., 2012). Os minerais autigênicos (como carbonato de cálcio e fosfato de cálcio) precipitaram-se em associação com a matéria orgânica em decomposição em 2 a 4 semanas, o fosfato pode se precipitar na forma de apatita ou fosfato férrico.

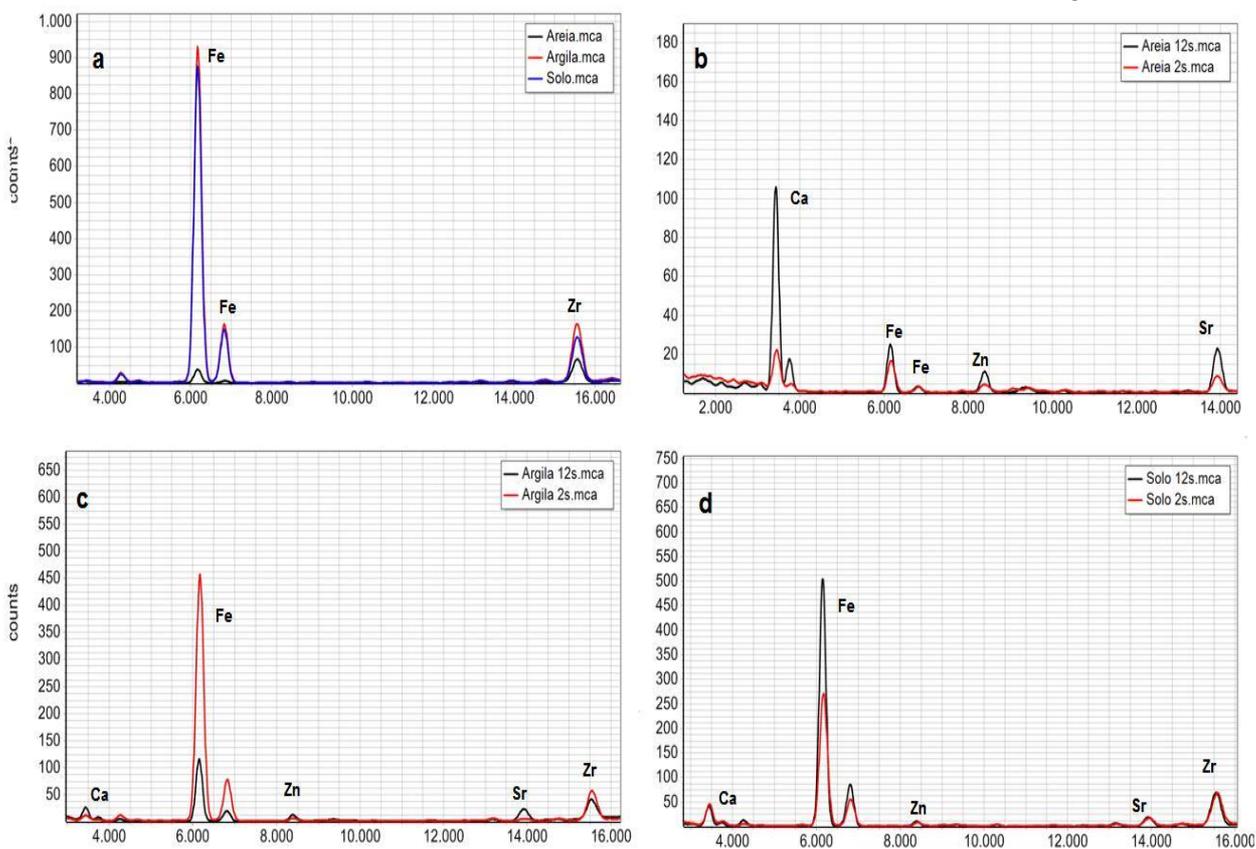
Figura 7 Análises de EDS. a) areia; b) argila; c) solo.



A preservação de tecidos moles pode ocorrer por diferentes processos, mas os processos de preservação por fosfatização é reconhecido em fósseis pela preservação de diferentes estruturas, dentre essas os tecidos musculares. No Brasil, a formação Santana possui peixes preservados por fosfatização de tecido moles a nível celular (OSÉS et al., 2017). Muitos outros organismos e estruturas são preservados por fosfatização como os embriões de Dushantuo (Ediacariano da China) (XIAO et al., 2007). No Brasil, alguns invertebrados do Devoniano da Bacia do Paraná também se preservaram em concreções de fosfato de cálcio (BECKER-KERBER et al., 2017).

Em análises de XRF (com filtro) sobre fragmentos da musculatura dos peixes, foi possível observar a variação de elementos traços e nos diferentes substratos. A análise elementar demonstrou que musculatura de peixe exposto à argila possui maiores intensidades de Ferro em relação ao enterrados em areia e solo, nos 30 primeiros dias de decomposição. Porém, nas semanas seguintes há diminuição da intensidade de Fe da musculatura exposta à argila; já em musculatura exposta em solo, no fim do experimento houve aumento da intensidade Fe do início ao fim do experimento (Figura 8).

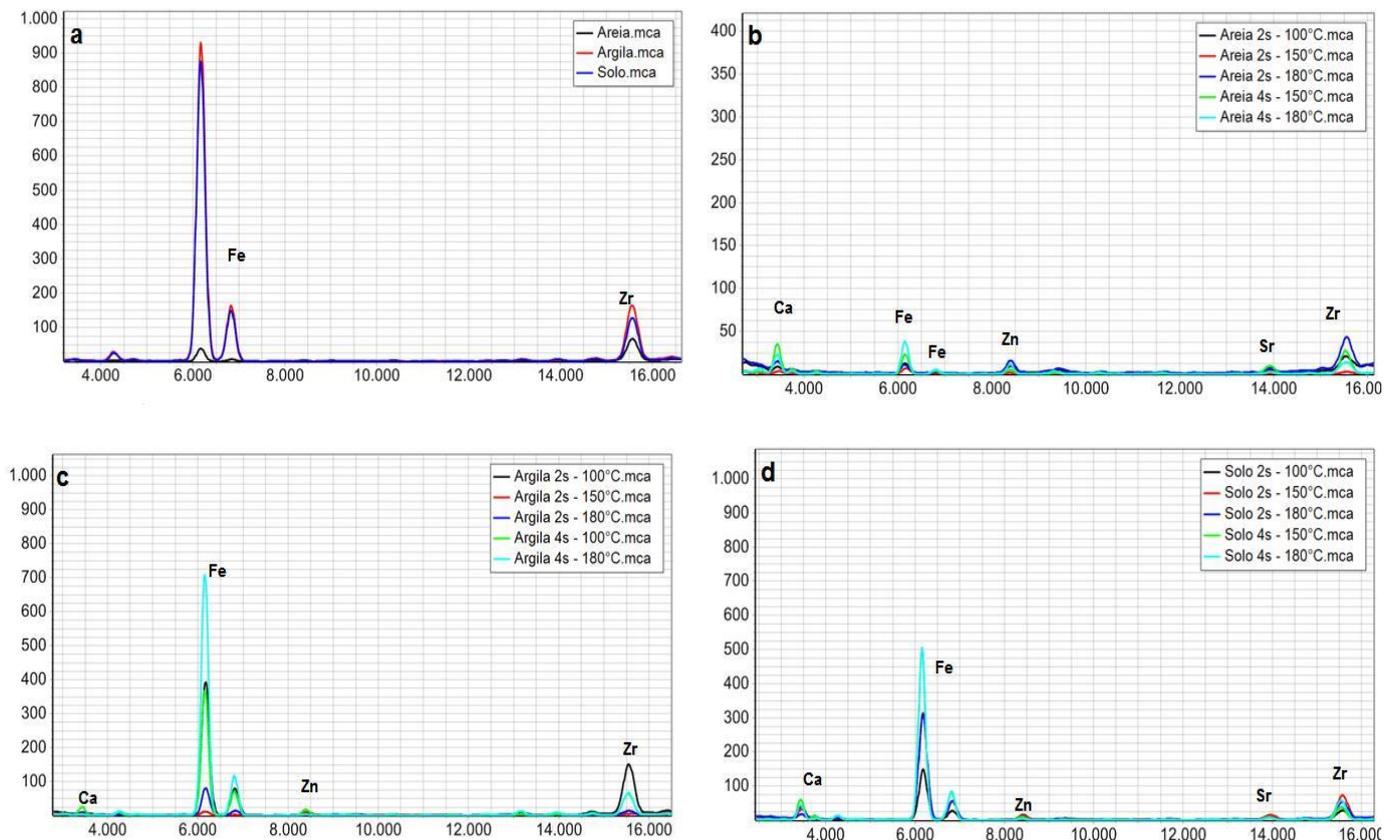
Figura 8. Espectros de fluorescência de raios-X em musculatura de manjuba fresca. a) Resultados de XRF dos sedimentos, b) Areia, c) Argila, d) Solo



Nas análises de XRF dos fragmentos de musculatura das carcaças submetidas à ação térmica e expostas a diferentes substratos, observou-se que as diferentes temperaturas pouco influenciaram na absorção mineral no caso da areia, enquanto houve variação da abundância relativa de Fe, nas carcaças resgatadas de argila e solo (Figura 9).

Porém, não parece haver correlação positiva entre a variação do Fe e as mudanças de temperatura. O Fe parece aumentar em seus picos de intensidade, com o tempo de decomposição, o que pode ser explicado pela contaminação de argila e solo no fragmento de musculatura analisado.

Figura 9. Espectros de fluorescência de raios-X em musculatura de manjuba submetidos a ação térmica. a) Composição sedimentar b) resgatados da areia, c) resgatados da argila, d) resgatados do solo.



A decomposição de tecidos moles por bactérias pode gerar uma série de compostos quimicamente reativos que ao reagirem com íons metálicos produzem diferentes minerais. Assim, o estudo dos efeitos da mineralogia sobre a decomposição e a diagênese de organismos fornecem dados para estudos sobre acumulações e quantificações sobre o viés de preservação (BRIGGS; KEAR, 1993; BRIGGS; MCMAHON, 2016; INIESTO et al., 2016a, 2017). As variações de intensidade nos picos obtidos por XRF observados em nossos experimentos podem ser influenciadas tanto pela proporção e disponibilidade de elementos durante a decomposição, quanto pelas condições ambientais.

4.2.2 Espectroscopia Raman

Os espectros Raman obtidos de mandíbula e maxila dos espécimes de peixes frescos, enterrados em areia, argila, e solo, foram identificados nos intervalos de 400-1800cm⁻¹ (bandas atribuídas à matriz óssea) e 2800-3100cm⁻¹ (região de estiramento CH, indicador de conteúdo orgânico).

Os ossos possuem dois constituintes principais, a matriz mineral constituída por cristais de biapatita e a parte orgânica, composta em grande parte de colágeno tipo I (WEINER, 2008; MORRIS; MANDAIR, 2011). Os espectros obtidos nesse estudo apresentam bandas características de um osso original, porém observam-se as variações na intensidade relativa (IR) das bandas em relação ao ambiente sedimentar onde foram expostos, os dados espectrais são apresentados na tabela 2.

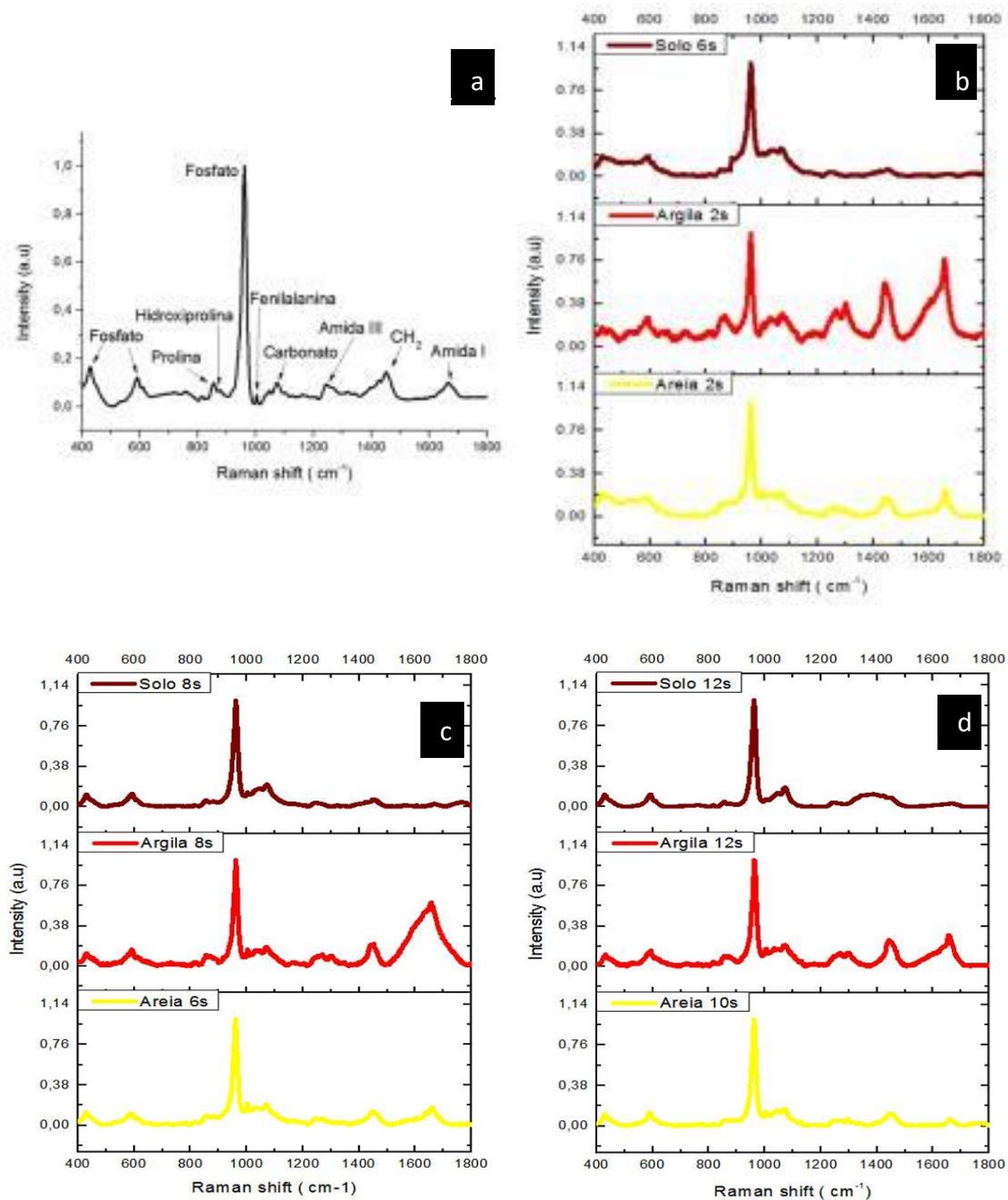
Tabela 2. Atribuição de bandas de Raman

Bandas	Modo de vibração	Atribuição	IR Solo	IR argila	IR areia
430	$\nu_2 \text{PO}_4^{3-}$	Banda forte	Fraco	Fraco	Fraco
584-590	$\nu_4 \text{PO}_4^{3-}$	Múltiplos componentes parcialmente resolvidos	Fraco	Fraco	Fraco
853	ν (C-C)	A prolina do colágeno, pode incluir contribuição δ (C-C-H) da tirosina	Fraco	Fraco	Fraco
872	ν (C-C)	Principalmente colágeno hidroxiprolina	Fraco	Fraco	Fraco
959-962	$\nu_1 \text{PO}_4^{3-}$	Mineral ósseo, maduro	Forte	Forte	Forte
1048	$\nu_3 \text{PO}_4^{3-}$	Mineral ósseo	Fraco	Fraco	Fraco
1076	$\nu_3 \text{PO}_4^{3-}$	Sobreposições com componente de $\nu_1 \text{CO}_3^{2-}$	Fraco	Fraco	Fraco
1242	Amida III	Proteína de folha β e bobinas aleatórias	Fraco	Médio	Fraco
1446	δ (CH ₂)	Deformação da Proteína CH ₂	Fraco	Fraco	Fraco
1660	Amida I	Componente amida I ν (C = O) mais forte	Fraco	Médio	Fraco

A Figura 10 apresenta os espectros Raman sobre ossos resgatados de diferentes substratos. Existe pequena variabilidade na posição das bandas principais de PO₄³⁻. Porém todos os espectros contêm quatro bandas correspondentes a vibrações de PO₄³⁻ dentro do intervalo da apatita (V1, V2, V3, V4). A vibração em 960 cm⁻¹, a mais intensa, é atribuída ao PO₄³⁻ alongamento simétrico (V1). Os picos de PO₄³⁻ observados, correspondentes à apatita, apresentam intensidades diferentes nos diferentes substratos ao longo do tempo

experimental. A determinação de variações espectrais do estiramento simétrico de fosfato (PO_4^{3-}) podem determinar se ocorreu mudanças na composição da apatita biogênica (TÜTKEN; VENNEMANN; PFRETZSCHNER, 2011) (TÜTKEN; VENNEMANN, 2011). Porém, as bandas Amida III, CH₂ e Amida I são mais intensas e definidas em argila em relação à areia. Em solo, as bandas aparecem mal definidas e pouco intensas, o que pode ser um indicativo de perda de proteínas (colágeno ósseo) (MORRIS; MANDAIR, 2011; MANDAIR; MORRIS, 2015).

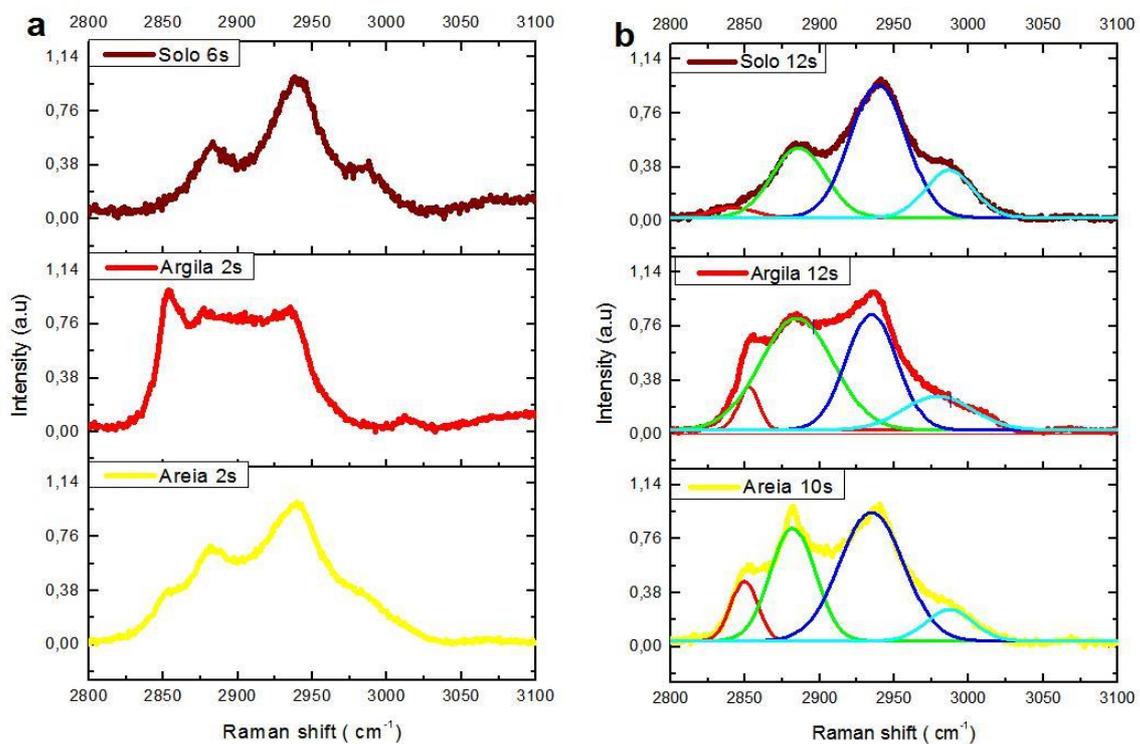
Figura 10. Espectros raman de ossos. a) fresco, b) Início experimento, c) meio, d) fim.



Nossos resultados espectrais na região de alta frequência apresentaram bandas sobrepostas (4 bandas identificadas) nas diferentes condições experimentais. Os resultados da região de 2800 cm^{-1} a 3100 cm^{-1} apresentaram quatro bandas: 2850 cm^{-1} (CH_3), 2880 cm^{-1} (CH_3), 2930 cm^{-1} (CH_3) e 2980 cm^{-1} (CH). As bandas são indicativas de lipídios e proteínas. Com base nesses resultados é possível inferir que matéria orgânica dos ossos está presente e ainda preservada após o fim das análises experimentais (24 semanas), uma vez que durante a diagênese os lipídios são os primeiros a se decompor (SAAGER et al., 2015) (SAAGER et al., 2015). Durante a diagênese o colágeno ósseo é o primeiro a desaparecer. Essas alterações resultam em material orgânico maturo, que se relaciona com a perda de heteroátomos (N, S e O) e de carbono alifático (ricos em hidrogênio).

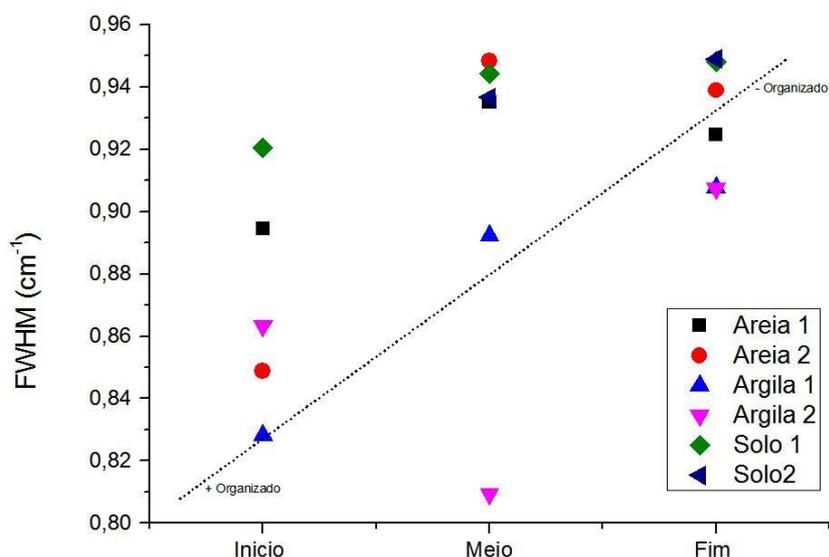
Portanto nossos resultados demonstram preservação de bandas características de carbonos alifáticos, o que se caracteriza por matéria orgânica imatura sendo este colágeno ósseo que se manteve preservado (SAAGER et al., 2015).

Figura 11. Grau de maturidade. a) Início experimental, b) final do experimento tafonômico.



O cálculo de largura meia altura (FWHM) foi realizado nas bandas de biopatita, com picos na posição na região de 959-962 cm^{-1} . A normalização foi realizada pelo método de máxima intensidade. A medida de cristalinidade mineral é refletida pela largura (FWHM) da faixa de fosfato na região de 959 cm^{-1} . O aumento da cristalinidade proporciona uma largura de banda de fosfato mais estreita (PUCÉAT; REYNARD; LÉCUYER, 2004; MANDAIR; MORRIS, 2015). A figura 12 demonstra a variação de FWHM de ossos de peixes regatados em três períodos diferentes enterrados nos diferentes ambientes sedimentares.

Figura 12. Análise estatísticas de Raman



A decomposição ou a preservação óssea pode ser modificada e/ou influenciada por diversos fatores ambientais. Além disso, a decomposição promovida pelos microrganismos possui papel fundamental nas alterações ósseas devido a degradação do colágeno (TUROSS, 2002; GUPTA et al., 2006; MANDAIR; MORRIS, 2015). A degradação e perda de colágeno resultam em desequilíbrio termodinâmicos, que levam à recristalização de cristais de apatita. Adicionalmente, a perda de colágeno também favorece o aumento da porosidade dos ossos, favorecendo a fragmentação óssea (GUPTA et al., 2006; THOMAS et al., 2011; MANDAIR; MORRIS, 2015).

Nossos resultados demonstram variação pouco significativa no aumento do FWHM. Porém, há diferença relativa entre as medidas de cristalinidade. Esses resultados demonstram que houve variações relativas na cristalinidade o que ajuda a quantificar a extensão dessas alterações e na reorganização desses minerais (TRUEMAN, 2013; NIELSEN-MARSH; HEDGES, 2000; BEASLEY et al., 2014). Nielsen-Marsh & Hedges, (2000) em estudo relacionam aumento da cristalinidade em ossos com a recristalização (NIELSEN-MARSH; HEDGES, 2000). O aumento relativo na cristalinidade em nossos resultados pode indicar a extensão da diagênese, ou seja, a preservação da matéria orgânica reafirma pequenas alterações ou ainda estas alterações não atingiram os componentes ósseos das carcaças de peixes.

5. CONCLUSÕES

- A ação térmica favoreceu a fragmentação e a desarticulação das carcaças de manjubas antes do soterramento;
- As experiências tafonômicas demonstraram padrões de decomposição semelhantes nos diferentes substratos;
- O crânio apresentou padrões de desarticulação e preservação, a variação na preservação visualmente devido a diferentes colorações e dureza óssea;
- As análises de XRF apresentaram variações de elementos na musculatura nos diferentes ambientes sedimentares, estas alterações são decorrentes da composição do sedimento, ou seja, a incorporação de elementos terra raras, são indicativos paleoambientais que podem favorecer /discernir o processo de fossilização que a carcaça será submetida;
- A Cristalinidade através dos resultados de Raman demonstra uma desordem de cristais, estas alterações indicam a extensão das alterações diagenéticas nos ossos, ou seja, durante os processos tafonômicos experimentais a diagênese/decomposição não atingiu os ossos, a variação observada é normal durante a diagênese;
- As intensidades relativas das bandas de fosfato e amida variaram nos diferentes ambientes, porem essa variação é normal, está maior ou menor intensidade das bandas estão associadas a fluorescência obtidas nas análises de ossos.

6. REFERÊNCIAS

ANDREWS, P. Experiments in Taphonomy. **Journal of Archaeological Science**, v. 22, n. April 1994, p. 147–153, 1995.

BANDEIRA, A. M.; CHAHUD, A.; FERREIRA, I. C. P.; PACHECO, M. L. A. F. Mobilidade, subsistência e apropriação do ambiente: contribuições da zooarqueologia sobre o Sambaqui do Bacanga, São Luís, Maranhão. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Humanas**, v. 11, n. 2, p. 467–480, ago. 2016. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1981-81222016000200467&lng=pt&tlng=pt>. Acesso em: 26 out. 2017.

BARBOSA, M.; BUARQUE, A.; GASPAR, M. D.; MACARIO, K. D.; ANJOS, R. M.; GOMES, P. R. S.; COIMBRA, M. M.; ELMORE, D. Intermittent occupation of the sambaqui builder settlements in Rio de Janeiro State, Brazil. **Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms**, v. 223–224, p. 695–699, ago. 2004. Disponível em: <<file://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168583X04006548>>.

BASTOS, R. L. Registro arqueológico. 2011.

BEASLEY, M. M.; BARTELINK, E. J.; TAYLOR, L.; MILLER, R. M. Comparison of transmission FTIR, ATR, and DRIFT spectra: Implications for assessment of bone bioapatite diagenesis. **Journal of Archaeological Science**, v. 46, n. 1, p. 16–22, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jas.2014.03.008>>.

BECKER-KERBER, B.; OSÉS, G. L.; CURADO, J. F.; DE ALMEIDA RIZZUTTO, M.; RUDNITZKI, I. D.; ROMERO, G. R.; ONARY-ALVES, S. Y.; BENINI, V. G.; GALANTE, D.; RODRIGUES, F.; BUCK, P. V.; RANGEL, E. C.; GHILARDI, R. P.; PACHECO, M. L. A. F. Geobiological and Diagenetic insights from malvinokaffric devonian biota (Chapada Group, Paraná Basin, Brazil): Paleobiological and paleoenvironmental implications devonian Invertebrates of Paraná Basinb. BECKER-KERBER ET AL. **PALAIOS**, v. 32, n. 4, p. 238–249.

BEHRENSMEYER, A. K. Taphonomic and ecologic information from bone weathering. **Paleobiology**, v. 4, n. 2, p. 150–162, 1978.

BEHRENSMEYER, A. K.; KIDWELL, S. M. Taphonomy's Contributions to Paleobiology. **Paleobiology**, v. 11, n. 1, p. 105–119, 1985.

BEHRENSMEYER, A. K.; KIDWELL, S. M.; GASTALDO, R. A.; BEHRENSMEYER, A. K.; KIDWELL, S. M.; GASTALDO, R. A. Taphonomy and paleobiology. **Paleobiology**, v. 26, n. 4, p. 103–147, 2000.

BETTS, M. W.; NOËL, S.; TOURIGNY, E.; BURNS, M.; POPE, P. .; CUMBAA, S. . Zooarchaeology of the Historic Cod Fishery in Newfoundland and Labrador, Canada. **Journal of the North Atlantic**, n. 24, p. 1–21, 2014.

BIDOLA, P.; STOCKMAR, M.; ACHTERHOLD, K.; PFEIFFER, F.; PACHECO, M. L. a. F.; SORIANO, C.; BECKMANN, F.; HERZEN, J. Absorption and Phase Contrast X-Ray Imaging in Paleontology Using Laboratory and Synchrotron Sources. **Microscopy and Microanalysis**, p. 1–8, 2015.

BRIGGS, D. E. G. Experimental taphonomy. **Palaios**, v. 10, n. 6, p. 539–550, 1995.

BRIGGS, D. E. G. THE ROLE OF DECAY AND MINERALIZATION IN THE PRESERVATION OF SOFT-BODIED FOSSILS. **Annu. Rev. Earth Planet. Sci**, v. 31, p. 275–301, 2003a.

BRIGGS, D. E. G.; KEAR, A. J. Fossilization of soft tissue in the laboratory. **Science (New York, N.Y.)**, v. 259, n. 5100, p. 1439–1442, 1993.

BRIGGS, D. E. G.; KEAR, a. J.; MARTILL, D. M.; WILBY, P. R. Phosphatization of soft-tissue in experiments and fossils. **Journal of the Geological Society**, v. 150, n. 6, p. 1035–1038, 1993.

BRIGGS, D. E. G.; MCMAHON, S. The role of experiments in investigating the taphonomy of exceptional preservation. **Palaeontology**, v. 59, n. 1, p. 1–11, 2016.

BRIGGS, D. E. G.; WILBY, P. R. The role of the calcium carbonate-calcium phosphate switch in the mineralization of soft-bodied fossils. **Journal of the Geological Society**, v. 153, n. 5, p. 665–668, 1996.

- BRIGGS, D. E. G.; WILBY, P. R.; PEREZ-MORENO, B. P.; SANZ, J. L.; FREGENAL-MARTINEZ, M. The mineralization of dinosaur soft tissue in the Lower Cretaceous of Las Hoyas, Spain. **Journal of the Geological Society**, v. 154, n. 4, p. 587–588, 1997.
- CESAREO, R.; BUSTAMANTE, A.; FABIAN, J.; CALZA, C.; DOS ANJOS, M.; LOPES, R. T.; ELERA, C.; SHIMADA, I.; CURAY, V.; RIZZUTTO, M. A. Energy-dispersive X-ray fluorescence analysis of a pre-Columbian funerary gold mask from the Museum of Sicán, Peru. **X-Ray Spectrometry**, v. 39, n. 2, p. 122–126, 2010.
- CHAGAS, R.; MENDONÇA FILHO, J. G.; MENDONÇA, J.; MENEZES, T. Caracterização palinofaciológica de uma sucessão sedimentar oligocênica da Formação Tremembé, bacia de Taubaté. **Revista Brasileira de Paleontologia**, v. 12, n. 3, p. 257–266, 2009. Disponível em: <http://www.sbpbrasil.org/revista/edicoes/12_3/Artigo_8_Chagas.pdf>.
- CHAIRI, H.; REBORDINOS, L. A rapid method for differentiating four species of the Engraulidae (anchovy) family. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 62, n. 13, p. 2803–2808, 2014.
- COSTA, S. A. R. F. da; LUZ, Z. A. S.; SILVEIRA, M. I. da; MORAES-SANTOS, H. M. Contribuição à zooarqueologia do Sambaqui do Moa: novos vestígios ictiológicos. **Revista do Museu de Arqueologia e Etnologia**, v. 0, n. 22, p. 51–65, 2012.
- DARROCH, S. A. F.; LAFLAMME, M.; SCHIFFBAUER, J. D.; BRIGGS, D. E. G. Experimental Formation of a Microbial Death Mask. **Palaios**, v. 27, n. 5, p. 293–303, 2012.
- DE MASI, M. A. N. Pescadores coletores da costa sul do Brasil. **Pesquisas (Antropologia)**, v. 57, p. 1–136, 2001.
- DELGADO, A. de O.; BUCK, P. V.; OSÉS, G. L.; GHILARDI, R. P.; RANGEL, E. C.; PACHECO, M. L. A. F. Paleometry: A brand new area in Brazilian science. **Materials Research**, v. 17, n. 6, p. 1434–1441, dez. 2014.
- DENYS, C. Taphonomy and experimentation. **Archaeometry**, v. 44, n. 3, p. 469–484, 2002.
- DI DARIO, F. Chirocentrids as engrauloids: Evidence from suspensorium, branchial arches, and infraorbital bones (Clupeomorpha, Teleostei). **Zoological Journal of the Linnean Society**, v. 156, n. 2, p. 363–383, 2009.
- ELDER, R. L.; SMITH, G. R. Fish taphonomy and paleoecology. **Geobios**, v. 17, n. SUPPL. 1, p. 287–291, 1984.

ELDER, R. L.; SMITH, G. R. Fish taphonomy and environmental inference in paleolimnology. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 62, n. 1–4, p. 577–592, 1988.

FIGUTI, L. O homem pré-histórico, o molusco e o sambaqui: considerações sobre a subsistência dos povos sambaquieiros. **Revista do Museu de Arqueologia e Etnologia (USP)**, v. 3, p. 67–80, 1993.

FIGUTI, L. 5,000 {Years}, before the {Portuguese}, before the {Tupinamba}: {The} first inhabitants of the {Brazilian} shores. **Ciencia e Cultura (Sao Paulo)**, v. 51, n. 3–4, p. 236–244, 1999.

FORANCELLI PACHECO, M. L. A.; VILLAGRAN, X. S.; MARTINS, G. R. Macroscopic and microbiological alterations of bird and small mammal bones buried in a Cerrado biome (south western Brazil). **Journal of Archaeological Science**, v. 39, n. 5, p. 1394–1400, 2012a.

FORANCELLI PACHECO, M. L. A.; VILLAGRAN, X. S.; MARTINS, G. R. Macroscopic and microbiological alterations of bird and small mammal bones buried in a Cerrado biome (south western Brazil). **Journal of Archaeological Science**, v. 39, n. 5, p. 1394–1400, 2012b.

GASPAR, M. D.; DEBLASIS, P.; FISH, S. K.; FISH, P. R. Sambaqui (Shell Mound) Societies of Coastal Brazil. In: **The Handbook of South American Archaeology**. [s.l.: s.n.]p. 319–335.

GIFFORD, D. P. Taphonomy and Paleoecology: A Critical Review of Archaeology's Sister Disciplines. **Source**, v. 4, p. 365–438, 1981.

GRANDE, L. Interrelationships of fossil and recent anchovies (Teleostei, Engrauloidea) and description of a new species from the Miocene of Cyprus. **AmMusNov**, n. 2826, 1985.

GUIMARÃES, M. B. a Ocupação Pré-Colonial Da Região Dos Lagos, Rj: Sistema De Assentamento E Relações Intersocietais Entre Grupos Sambaquianos E Grupos Ceramistas Tupinambá E Da Tradição Una. p. 382, 2007.

GUPTA, H. S.; SETO, J.; WAGERMAIER, W.; ZASLANSKY, P.; BOESECKE, P.; FRATZL, P. Cooperative deformation of mineral and collagen in bone at the nanoscale. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 103, n. 47, p. 17741–17746, 2006.

HIPPLER, D.; HU, N.; STEINER, M.; SCHOLTZ, G.; FRANZ, G. Experimental mineralization of crustacean eggs: New implications for the fossilization of Precambrian-Cambrian embryos. **Biogeosciences**, v. 9, n. 5, p. 1765–1775, 2012.

IKEOKA, R. A.; APPOLONI, C. R.; RIZZUTTO, M. A.; BANDEIRA, A. M. Computed Radiography, PIXE and XRF analysis of pre-colonial pottery from Maranhão, Brazil. **Microchemical Journal**, v. 138, p. 384–389, 2018.

INIESTO, M.; BUSCALIONI, Á. D.; CARMEN GUERRERO, M.; BENZERARA, K.; MOREIRA, D.; LÓPEZ-ARCHILLA, A. I. Involvement of microbial mats in early fossilization by decay delay and formation of impressions and replicas of vertebrates and invertebrates. **Scientific Reports**, v. 6, n. April, p. 25716, 2016a.

INIESTO, M.; BUSCALIONI, Á. D.; CARMEN GUERRERO, M.; BENZERARA, K.; MOREIRA, D.; LÓPEZ-ARCHILLA, A. I. Involvement of microbial mats in early fossilization by decay delay and formation of impressions and replicas of vertebrates and invertebrates. **Scientific Reports**, v. 6, p. 25716, 10 maio 2016b.

INIESTO, M.; BUSCALIONI, Á. D.; GUERRERO, M. C.; BENZERARA, K.; MOREIRA, D.; LÓPEZ, A. I. Envolvimento de esteiras microbianas em fossilização precoce por atraso de decaimento e formação de impressões e réplicas de vertebrados e invertebrados. Abstrato. p. 1–13, 2017.

LAWRENCE, D. R. The nature and structure of paleoecology. **Journal of Paleontology**, v. 45, n. 4, p. 593 LP-607, 1 jul. 1971.

LIMA, T. A. Em busca dos frutos do mar: os pescadores-coletores do litoral centro-sul do Brasil. **REVISTA USP, São Paulo**, n. 44, p. 270–327, 2000.

LOEB, M. V. Revisão taxonômica das espécies do gênero *Anchoviella* Fowler, 1911 (Clupeiformes, Engraulidae) das bacias Amazônica e do São Francisco. v. 1911, 2009.

LOEB, M. V. A new species of *Anchoviella* Fowler, 1911 (Clupeiformes: Engraulidae) from the Amazon Basin, Brazil. **Neotropical Ichthyology**, v. 10, n. 1, p. 13–18, 2012.

LONG, J. A. Getting to the heart of a good fossil. **eLife**, v. 5, p. e16207, 2016.

LYMAN, R. L. Archaeofaunas and butchery studies: a taphonomic perspective. **Advances in archaeological method and theory**, v. 10, n. 1987, p. 249–337, 1987.

LYMAN, R. L. **Vertebrate Taphonomy**. [s.l.: s.n.]

LYMAN, R. L. Applied zooarchaeology: The relevance of faunal analysis to wildlife management. **World Archaeology**, v. 28, n. 1, p. 110–125, 1996.

MALDANIS, L.; CARVALHO, M.; RAMOS ALMEIDA, M.; FREITAS, F. I.; DE ANDRADE, J. A. F. G.; NUNES, R. S.; ROCHITTE, C. E.; POPPI, R. J.; FREITAS, R. O.; RODRIGUES, F.; SILJESTRÖM, S.; ALVES LIMA, F.; GALANTE, D.; CARVALHO, I. S.; PEREZ, C. A.; DE CARVALHO, M. R.; BETTINI, J.; FERNANDEZ, V.; XAVIER-NETO, J. Heart fossilization is possible and informs the evolution of cardiac outflow tract in vertebrates. **eLife**, v. 5, n. APRIL2016, 2016.

MANCUSO, A. C. Taphonomic analysis of fish in rift lacustrine systems: Environmental indicators and implications for fish speciation. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 339–341, p. 121–131, 2012.

MANDAIR, G. S.; MORRIS, M. D. Contributions of Raman spectroscopy to the understanding of bone strength. **BoneKEY Rep**, v. 4, 7 jan. 2015.

MARRAMÀ, G.; CARNEVALE, G. An Eocene anchovy from Monte Bolca, Italy: The earliest known record for the family Engraulidae. **Geological Magazine**, v. 153, n. 1, p. 84–94, 2016.

MARTILL, D. M.; BRITO, P. M.; WASHINGTON-EVANS, J. Mass mortality of fishes in the Santana Formation (Lower Cretaceous, ?Albian) of northeast Brazil. **Cretaceous Research**, v. 29, n. 4, p. 649–658, 2008.

MARTIN, D.; BRIGGS, D. E. g.; PARKES, R. J. Decay and Mineralization of Invertebrate Eggs. **Palaios**, v. 20, n. 6, p. 562–572, 2005.

MORRIS, M. D.; MANDAIR, G. S. Raman assessment of bone quality. **Clinical Orthopaedics and Related Research**, v. 469, n. 8, p. 2160–2169, 2011.

NIELSEN-MARSH, C. M.; HEDGES, R. E. Patterns of Diagenesis in Bone I: The Effects of Site Environments. **Journal of Archaeological Science**, v. 27, n. 12, p. 1139–1150, 2000.

O’CONNOR, T. P. A critical overview of archaeological animal bone studies. **World Archaeology**, v. 28, n. 1, p. 5–19, 1996.

OSÉS, G. L.; PETRI, S.; BECKER-KERBER, B.; ROMERO, G. R.; RIZZUTTO, M. de A.; RODRIGUES, F.; GALANTE, D.; DA SILVA, T. F.; CURADO, J. F.; RANGEL, E. C.;

RIBEIRO, R. P.; PACHECO, M. L. A. F. Deciphering the preservation of fossil insects: a case study from the Crato Member, Early Cretaceous of Brazil. **PeerJ**, v. 4, p. e2756, 2016.

OSÉS, G. L.; PETRI, S.; VOLTANI, C. G.; PRADO, G. M. E. M.; GALANTE, D.; RIZZUTTO, M. A.; RUDNITZKI, I. D.; DA SILVA, E. P.; RODRIGUES, F.; RANGEL, E. C.; SUCERQUIA, P. A.; PACHECO, M. L. A. F. Deciphering pyritization-kerogenization gradient for fish soft-tissue preservation. **Scientific Reports**, v. 7, n. 1, p. 1468, 2017.

PATERSON, J. R.; GARCÍA-BELLIDO, D. C.; JAGO, J. B.; GEHLING, J. G.; LEE, M. S. Y.; EDGEcombe, G. D. The Emu Bay Shale Konservat-Lagerstätte: a view of Cambrian life from East Gondwana. **Journal of the Geological Society**, v. 173, n. 1, p. 1 LP-11, 1 jan. 2016.

PAVEL, D. D.; CAMPOS, J. B.; ZOCHE, J. J.; SANTOS, M. C. P. Zooarqueologia De Vertebrados Do Sambaqui Do Papagaio, Bombinhas, Santa Catarina. **Tecnologia e Ambiente**, v. 21, p. 70–89, 2015.

PUCÉAT, E.; REYNARD, B.; LÉCUYER, C. Can crystallinity be used to determine the degree of chemical alteration of biogenic apatites? **Chemical Geology**, v. 205, n. 1–2, p. 83–97, 2004.

RENAN, J. M. S.; BANTIM, A. M. A paleontologia no século XXI: novas técnicas e interpretações. **Ciência e Cultura**, v. 67, n. 4, p. 45–49, 2015.

RIQUELME, F.; RUVALCABA-SIL, J. L.; ALVARADO-ORTEGA, J. Palaeometry : Non-destructive analysis of fossil materials. **Boletín De La Sociedad Geológica Mexicana**, v. 61, n. 2, p. 177–183, 2009.

ROBERTS, S. J.; SMITH, C. I.; MILLARD, A.; COLLINS, M. J. The taphonomy of cooked bone: characterizing boiling and its physico-chemical effects. **Archaeometry**, v. 44, n. 3, p. 485–494, ago. 2002.

SAAGER, R. B.; DURKIN, A. J.; KELLY, K. M.; TROMBERG, B. J. In vivo measurements of cutaneous melanin across spatial scales : using multiphoton microscopy and spatial frequency domain spectroscopy spatial scales : using multiphoton microscopy and. **Biomedical Optics (BiOS) 2008iomedicaloptics**, v. 20, p. 066005(1)-066005(10), 2015.

SAGEMANN, J.; BALE, S. J.; BRIGGS, D. E. G.; PARKES, R. J. Controls on the formation of authigenic minerals in association with decaying organic matter: An experimental approach. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, v. 63, n. 7–8, p. 1083–1095, 1999.

SANSOM, R. S.; GABBOTT, S. E.; PURNELL, M. A. Decay of vertebrate characters in hagfish and lamprey (Cyclostomata) and the implications for the vertebrate fossil record. **Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 278, n. 1709, p. 1150 LP-1157, 11 mar. 2011.

SANSOM, R. S.; GABBOTT, S. E.; PURNELL, M. A. Atlas of vertebrate decay: a visual and taphonomic guide to fossil interpretation. **Palaeontology**, v. 56, n. 3, p. 457–474, 27 maio 2013.

SEILACHER, A.; REIF, W.-E.; WESTPHAL, F.; RIDING, R.; CLARKSON, E. N. K.; WHITTINGTON, H. B. Sedimentological, Ecological and Temporal Patterns of Fossil Lagerstätten [and Discussion]. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 311, n. 1148, p. 5–24, 1985.

SILVA, F. A.; APPOLONI, C. R.; QUIÑONES, F. R. E.; SANTOS, A. O.; SILVA, L. M. da; BARBIERI, P. F.; NASCIMENTO FILHO, V. F. A arqueometria e a análise de artefatos cerâmicos: um estudo de fragmentos cerâmicos etnográficos e arqueológicos por fluorescência de Raios X (EDXRF) e transmissão Gama. **Revista de Arqueologia**, v. 17, p. 41–61, 2004.

SOLARI, A.; OLIVERA, D.; GORDILLO, I.; BOSCH, P.; FETTER, G.; LARA, V. H.; NOVELO, O. Cooked Bones? Method and Practice for Identifying Bones Treated at Low Temperature. **International Journal of Osteoarchaeology**, v. 25, n. 4, p. 426–440, 21 jul.

2015. Disponível em: <<http://doi.wiley.com/10.1002/oa.2311>>. Acesso em: 13 set. 2016.

SORG, M. H.; HAGLUND, W. D. Advancing Forensic Taphonomy: Purpose, Theory, and Process. In: **Advances in forensic taphonomy: Method, theory, and archaeological perspectives**. [s.l: s.n.]p. 4–29.

SOUZA, R. C. C. L. de; TRINDADE, D. C.; DECCO, J. de; LIMA, T. A.; SILVA, E. P. **Archaeozoology of marine mollusks from Sambaqui da Tarioba, Rio das Ostras, Rio de Janeiro, Brazil Zoologia (Curitiba)** scielo, 2010. .

THOMAS, D. B.; MCGOVERIN, C. M.; FORDYCE, R. E.; FREW, R. D.; GORDON, K. C. Raman spectroscopy of fossil bioapatite - A proxy for diagenetic alteration of the oxygen isotope composition. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 310, n. 1–2, p. 62–70, 2011.

TORRES-RIBEIRO, M.; BORGHI, L. O uso de microfácies sedimentares na caracterização de potenciais rochas selantes e geradoras de um sistema lacustre Paleogênico na Bacia de Taubaté. **4th Congresso Brasileiro de pesquisa e desenvolvimento em petróleo & gás**, n. Figura 1, p. 6pp, 2007.

TRUEMAN, C. N. Chemical taphonomy of biomineralized tissues. **Palaeontology**, v. 56, n. 3, p. 475–486, 2013.

TUROSS, N. Alterations in fossil collagen. **Archaeometry**, v. 44, n. 3, p. 427–434, 2002.

TÜTKEN, T.; VENNEMANN, T. W. Fossil bones and teeth: Preservation or alteration of biogenic compositions? **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 310, n. 1–2, p. 1–8, 2011.

TÜTKEN, T.; VENNEMANN, T. W.; PFRETZSCHNER, H. U. Nd and Sr isotope compositions in modern and fossil bones - Proxies for vertebrate provenance and taphonomy. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, v. 75, n. 20, p. 5951–5970, 2011.

VANDERWARKER, A. M.; PERES, T. M. Integrating Zooarchaeology and Paleoethnobotany. **New York**, p. 65–74, 2010.

WAGNER, G.; HILBERT, K.; BANDEIRA, D.; TENÓRIO, M. C.; OKUMURA, M. M. Sambaquis (shell mounds) of the Brazilian coast. **Quaternary International**, v. 239, n. 1–

2, p. 51–60, 1 jul. 2011.

WEINER, S. An Overview of Biomineralization Processes and the Problem of the Vital Effect. **Reviews in Mineralogy and Geochemistry**, v. 54, n. 1, p. 1–29, 2003.

WEINER, S. Biomineralization: A structural perspective. **Journal of Structural Biology**, v. 163, n. 3, p. 229–234, 2008.

WILBY, P. R.; BRIGGS, D. E. G.; BERNIER, P.; GAILLARD, C. Role of microbial mats in the fossilization of soft tissues. **Geology**, v. 24, n. 9, p. 787–790, 1996.

XIAO, S.; HAGADORN, J. W.; ZHOU, C.; YUAN, X. Rare helical spheroidal fossils from the Doushantuo Lagerstätte: Ediacaran animal embryos come of age? **Geology**, v. 35, n. 2, p. 115–118, 2007.

XIAO, S.; KNOLL, A. H. Phosphatized Animal Embryos from the Neoproterozoic Doushantuo Formation at Weng'an, Guizhou, South China. **Journal of Paleontology**, v. 74, n. 5, p. 767–788, 2000.

YANG, H.; YANG, S. The Shanwang fossil biota in eastern China: a Miocene Konservat-Lagerstätte in lacustrine deposits. **Lethaia**, v. 27, n. 4, p. 345–354, 1994.

ZOHAR, I.; BELMAKER, M.; NADEL, D.; GAFNY, S.; GOREN, M.; HERSHKOVITZ, I.; DAYAN, T. The living and the dead: How do taphonomic processes modify relative abundance and skeletal completeness of freshwater fish? **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 258, n. 4, p. 292–316, 2008.

ZOHAR, I.; DAYAN, T.; GALILI, E.; SPANIER, E. Fish Processing During the Early Holocene: A Taphonomic Case Study from Coastal Israel. **Journal of Archaeological Science**, v. 28, p. 1041–1053, 2001.

ANEXO

Anexo A – Tabela com dados de perda de caracteres morfológicos de peixes frescos, durante o experimento tafonomico.

Anexo B - Tabela com dados de perda de caracteres morfológicos submetidos a ação térmica, durante o experimento tafonomico.

Anexo C - Tabela Raman.

Anexo D - Dados de XRF obtidos em musculatura de Peixes frescos e submetidos a ação térmica.

Anexo A – Tabela com dados de perda de caracteres morfológicos de peixes frescos, durante o experimento tafonomico.

Morfologia	Tempo (dias)												Observações	
	100°C				150°C				180°C					
	15	30	45	60	15	30	45	60	15	30	45	60		
Areia														
Crânio	<i>Olho</i>	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	Quando cozido, o globo ocular é preservado até o final do experimento. Contudo, a melhor preservação se dá em 180°C em relação a 100°C.
	<i>Opérculo</i>	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	
	<i>Boca (mandíbula e maxila)</i>	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	
Corpo	<i>Músculo</i>	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	A partir de 45 dias, intensifica a decomposição e a musculatura torna-se mais friável.
	<i>Tegumento (faixa prateada)</i>	P	P	A	A	P	P	A	A	P	P	A	A	
Apêndices	<i>Nadadeiras (pélvicas e peitorais)</i>	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	Ação térmica favorece a ruptura e perda de nadadeiras (em 15 dias).
	<i>Nadadeiras Caudal</i>	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	
Solo														
Crânio	<i>Olho</i>	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	Quando assado, o globo ocular é preservado até o final do experimento. Contudo, a melhor preservação se dá em 180°C em relação a 100°C
	<i>Opérculo</i>	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	
	<i>Boca (mandíbula e maxila)</i>	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	
Corpo	<i>Músculo</i>	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	Desarticulação, propicia exposição da coluna.
	<i>Tegumento (faixa prateada)</i>	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	
Apêndices	<i>Nadadeiras (pélvicas e peitorais)</i>	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	Ação térmica favorece a ruptura e perda de nadadeiras (em 15 dias)
	<i>Nadadeiras Caudal</i>	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	
Argila														
Crânio	<i>Olho</i>	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	A compactação inicial (em 15 dias) do sedimento favorece a desarticulação da mandíbula. Deformação do olho.
	<i>Opérculo</i>	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	
	<i>Boca (mandíbula e maxila)</i>	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	
Corpo	<i>Músculo</i>	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	Músculos desidratados e com fungos.
	<i>Tegumento (aixa prateada)</i>	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	
Apêndices	<i>Nadadeiras (pélvicas e peitorais)</i>	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	Formação moldes da nadadeira caudal.
	<i>Nadadeiras Caudal</i>	N/V	N/V	N/V	N/V	N/V	N/V	N/V	N/V	N/V	N/V	N/V	N/V	

***Legendas:** A= Ausente/ P= Presente/ N/V= Não visível

Anexo B - Tabela com dados de perda de caracteres morfológicos submetidos a ação térmica, durante o experimento tafonômico.

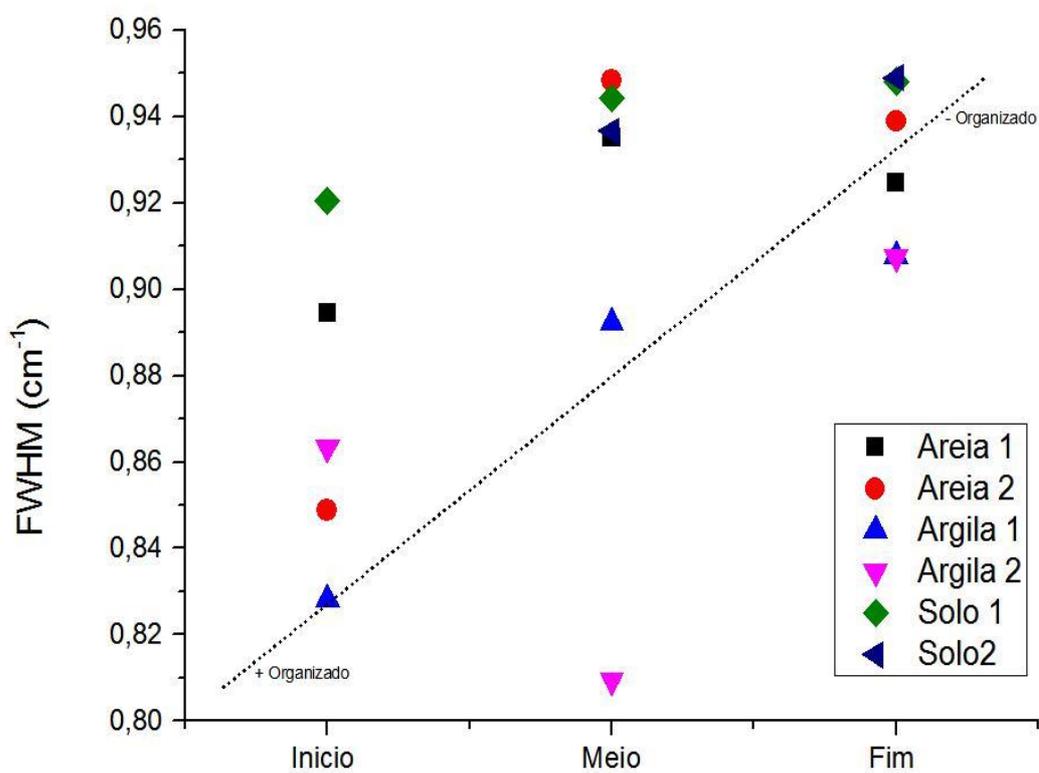
Morfologia		Tempo (dias)												Observações
		15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180	
Areia														
Crânio	<i>Olho</i>	P	P	P	P	P	P	A	A	A	A	A	A	Decomposição acelerada a partir de 45 dias; Olho desaparece após 90 dias.
	<i>Opérculo</i>	P	P	P	P	P	P	N/V	A	A	A	A	A	
	<i>Boca (mandíbula e maxila)</i>	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	A	A	
Corpo	<i>Músculo</i>	P	P	P	P	P	P	A	A	A	A	A	A	Faixa lateral evidenciada até 75 dias, após esse período não é possível observar e diferenciar musculatura de tegumento.
	<i>Tegumento (faixa prateada)</i>	P	P	P	P	P	A	A	A	A	A	A	A	
Apêndices	<i>Nadadeiras (pélvicas e peitorais)</i>	P	P	P	A	A	A	A	A	A	A	A	A	Nadadeiras presentes até 45 dias. São as primeiras estruturas a serem perdidas.
	<i>Nadadeiras Caudal</i>	P	P	N/V	A	A	A	A	A	A	A	A	A	
Solo														
Crânio	<i>Olho</i>	P	P	P	P	P	P	P	A	A	A	A	A	Perda de olho após 120 dias.
	<i>Opérculo</i>	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	
	<i>Boca (mandíbula e maxila)</i>	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	
Corpo	<i>Músculo</i>	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	Não é possível diferenciar tegumento de musculatura a partir de 15 dias.
	<i>Tegumento (faixa prateada)</i>	N/V	N/V	N/V	N/V	N/V	N/V	N/V	N/V	N/V	N/V	N/V	N/V	
Apêndices	<i>Nadadeiras (pélvicas e peitorais)</i>	N/V	N/V	N/V	N/V	N/V	N/V	N/V	N/V	N/V	N/V	N/V	N/V	Nadadeiras se desarticulam em 15 dias, porém permanecem dispersas no sedimento.
	<i>Nadadeiras Caudal</i>	N/V	N/V	N/V	N/V	N/V	N/V	N/V	N/V	N/V	N/V	N/V	N/V	
Argila														
Crânio	<i>Olho</i>	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	Opérculo é perdido (entre 15 e 45 dias) devido a compactação do sedimento, que resulta também na desarticulação da mandíbula.
	<i>Opérculo</i>	A	A	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	
	<i>Boca (mandíbula e maxila)</i>	P	P	P	P	P	A	P	P	P	P	P	P	
Corpo	<i>Músculo</i>	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	Após 75 dias, fungos envolvem a musculatura.
	<i>Tegumento (faixa prateada)</i>	P	P	P	A	A	A	A	A	A	A	A	A	
Apêndices	<i>Nadadeiras (pélvicas e peitorais)</i>	N/V	N/V	N/V	N/V	N/V	N/V	N/V	N/V	N/V	N/V	N/V	N/V	Inicialmente, são preservadas em forma de moldes e, após 45 dias, não são mais visíveis.
	<i>Nadadeiras Caudal</i>	P	P	P	N/V									

***Legenda:** A= Ausente/ P= Presente/ N/V= Não visível

ANEXO C – Tabela Raman

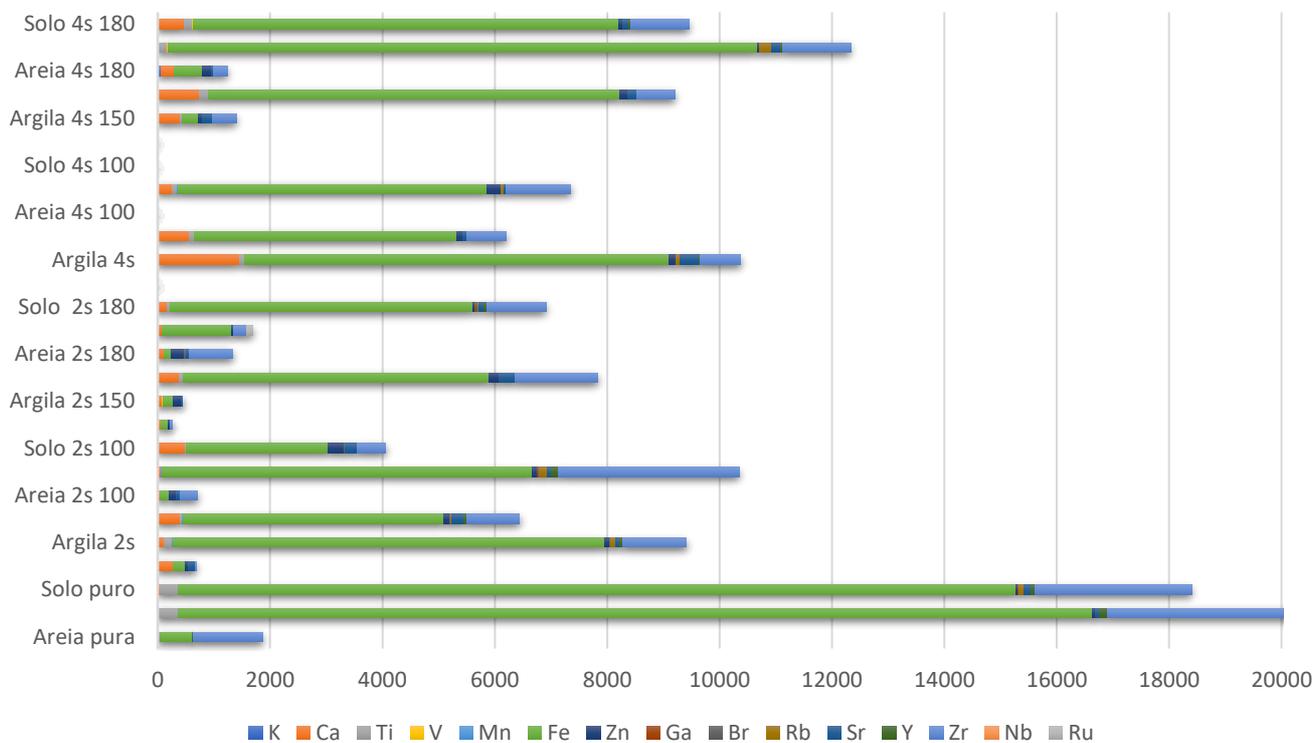
Índice de Cristalinidade - FWHM

FWHM	Areia		Argila		Solo	
	P1	P2	P1	P2	P1	P2
Início	0,89458	0,84883	0,82826	0,86342	0,92045	--
Meio	0,93527	0,94845	0,89249	0,80946	0,9443	0,9367
Fim	0,92467	0,93905	0,90772	0,90748	0,94823	0,94911



ANEXO D - Dados de XRF obtidos em musculatura de Peixes frescos e submetidos a ação térmica.

Peixes submetidos a ação térmica



Peixes frescos

