

VARIAÇÕES DO NÍVEL DE ACIDEZ DE SOLO E SUAS IMPLICAÇÕES NA CONSERVAÇÃO DE MATERIAL BIOARQUEOLÓGICO: UMA SÍNTESE A PARTIR DA MEDIÇÃO DE PH DE UMA AMOSTRA COLETADA NO SÍTIO CARIRI SERROTE DOS OSSOS, REGIÃO DE CARAÚBAS – PB

VARIATIONS IN SOIL ACIDITY LEVEL AND THEIR IMPLICATIONS ON THE CONSERVATION OF BIOARCHAEOLOGICAL MATERIAL: A SYNTHESIS BASED ON THE PH MEASUREMENT OF A SAMPLE COLLECTED AT THE CARIRI SERROTE DOS OSSOS SITE, CARAÚBAS REGION – PB

 <https://doi.org/10.63330/armv1n7-013>

Submetido em: 01/10/2025 e Publicado em: 03/10/2025

Marcos Tadeu Ellery Frota

Doutorando em Medicina Translacional pelo PPGMDT/PDM, Universidade Federal do Ceará – UFC
Pesquisador do Laboratório de Bioarqueologia Translacional (LABBAT) do NPDM/UFC
ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-6711-3140>

Sebastião Lacerda de Lima Filho

Doutorando em Medicina Translacional pelo PPGMDT/PDM, Universidade Federal do Ceará – UFC
Pesquisador do Laboratório de Bioarqueologia Translacional (LABBAT) do NPDM/UFC
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9218-8615>

Islay Lima Magalhães

Mestra em Química

Técnica do Laboratório de Química Medicinal (LQM) e colaboradora do Laboratório de Bioarqueologia Translacional (LABBAT) do NPDM/UFC
LATTES: <http://lattes.cnpq.br/4948864943757907>

Pedro Henrique Santos Gaspar de Melo

Doutorando em Medicina Translacional pelo PPGMDT/PDM, Universidade Federal do Ceará – UFC
Pesquisador do Laboratório de Bioarqueologia Translacional (LABBAT) do NPDM/UFC
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4547-9206>

Antônio Sílvia Teixeira dos Santos

Doutorando em Medicina Translacional pelo PPGMDT/PDM, Universidade Federal do Ceará – UFC
Pesquisador do Laboratório de Bioarqueologia Translacional (LABBAT) do NPDM/UFC
ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-2360-4907>

Lucas Ramon Porto de Assis

Mestrando em Medicina Translacional pelo PPGMDT/PDM, Universidade Federal do Ceará – UFC
Pesquisador do Laboratório de Bioarqueologia Translacional (LABBAT) do NPDM/UFC
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6081-7707>



Allysson Allan de Farias

Professor do Programa de Pós-Graduação em Medicina Translacional (PPGMDT), Universidade Federal do Ceará – UFC
Pesquisador do Laboratório de Bioarqueologia Translacional (LABBAT) do NPDM/UFC
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5322-1785>

Juvandi de Souza Santos

Professor do Programa de Pós-Graduação em Medicina Translacional (PPGMDT), Universidade Federal do Ceará – UFC
Pesquisador do Laboratório de Bioarqueologia Translacional (LABBAT) do NPDM/UFC
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1480-3993>

Manoel Odorico de Moraes Filho

Coordenador do Núcleo de Pesquisa e Desenvolvimento de Medicamentos (NPDM)
Professor e Vice-Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Medicina Translacional (PPGMDT), Universidade Federal do Ceará – UFC
Pesquisador do Laboratório de Bioarqueologia Translacional (LABBAT) do NPDM/UFC
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3378-8722>

RESUMO

O texto supracitado resume o método de tratamento e análise de uma amostra de solo arqueológico coletada no abrigo sobrocha Serrote dos Ossos, localizado na região de Caraúbas, na Paraíba. As atividades foram desenvolvidas na cavidade em questão ao longo de 2022, durante duas expedições. Ao medir o pH, que apresenta valor 7 (pH ~7) indicando um nível neutro, obtêm-se dados que ajudam a entender a composição do solo local, incluindo sua alcalinidade. Assim, o objetivo principal é realizar análises em laboratório e, em seguida, comparar amostras de diversos contextos, profundidades de solo das escavações e escalas de pH, buscando identificar os efeitos dessas características no registro e nas amostras bioarqueológicas analisadas.

Palavras-chave: Sítio Serrote dos Ossos; Amostra de solo; Verificação de pH; Vestígios bioarqueológicos; Conservação e/ou degradação de material.

ABSTRACT

The aforementioned text summarizes the method of treatment and analysis of an archaeological soil sample collected from the Serrote dos Ossos rock shelter, located in the Caraúbas region of Paraíba. The activities were carried out in the cave in question throughout 2022, during two expeditions. By measuring the pH, which presents a value of 7 (pH ~7), indicating a neutral level, data are obtained that help understand the composition of the local soil, including its alkalinity. Thus, the main objective is to conduct laboratory analyses and then compare samples from different contexts, soil depths from the excavations, and pH scales, seeking to identify the effects of these characteristics on the bioarchaeological record and samples analyzed.

Keywords: Serrote dos Ossos Site; Soil sample; pH Verification; Bioarchaeological remains; Material preservation and/or degradation.



1 INTRODUÇÃO

Uma variedade de dados de diferentes disciplinas pode ser reunida para compreender um determinado local e seu contexto arqueológico, bem como os processos que afetam a constituição do registro estratigráfico (Schiffer, 1987; Butzer, 1971). A formação do registro arqueológico identificado nas escavações está, por sua vez, dotado de diversas características e fatores ligados ao ambiente, que estão interligados com as informações coletadas durante análises geoarqueológicas (Bicho, 2006). Nas pesquisas sobre as camadas do solo, os perfis estratigráficos e os processos de deposição, assim como os fenômenos que se seguem a essa deposição (pós-deposicionais), além da constituição do contexto material e social desses ambientes, fica claro a importância de explorar e entender, por exemplo, a tafonomia desses espaços e os elementos que afetam a diagênese nesse processo dinâmico (Nielsen-Marsh & Hedges, 2000; Hedges, 2002).

Nas investigações arqueológicas voltadas à compreensão das camadas do solo, dos perfis estratigráficos e dos processos de deposição, bem como dos fenômenos pós-deposicionais que afetam esses depósitos, torna-se evidente a necessidade de uma abordagem integrada que considere tanto os aspectos materiais quanto os contextos sociais associados. Nesse sentido, compreender a tafonomia dos espaços arqueológicos, ou seja, os processos que afetam os vestígios após seu descarte ou sepultamento; e os fatores que influenciam a diagênese, especialmente a química e biológica, ajudam a interpretar corretamente a formação e transformação dos registros arqueológicos ao longo do tempo (Nielsen-Marsh & Hedges, 2000; Hedges, 2002).

A relação entre a arqueologia e o pH do solo é de grande relevância para a compreensão tanto dos processos de formação dos sítios quanto da preservação dos vestígios neles contidos. A variabilidade do pH em sítios arqueológicos pode estar diretamente associada à profundidade do solo, à composição química dos sedimentos e à presença de restos humanos ou materiais orgânicos (Seccatto et al. 2022). Solos antropogênicos, como as terras pretas da Amazônia, frequentemente apresentam valores elevados de pH, maior teor de carbono orgânico e níveis superiores de fertilidade em comparação aos solos naturais adjacentes, refletindo práticas humanas antigas que modificaram profundamente a composição edáfica (Campos et al. 2012).

O sítio conhecido como Serrote dos Ossos, situado em Caraúbas, é classificado como um abrigo sob rocha na zona rural do município. Dados coletados durante as inspeções no local indicam que se trata de um cemitério associado à etnia Cariri (Santos, 2022). Nas primeiras investigações conduzidas pela equipe do LABAP/UEPB, sob a liderança do Professor Juvandi Santos, foram identificados fragmentos de cerâmica e materiais líticos, além de restos de ossos humanos na superfície, bem como outros vestígios orgânicos. Este abrigo é composto por rochas graníticas que se apoiam sobre o solo e possui uma abertura



de cerca de 3,40 metros de largura e aproximadamente 4 metros de profundidade (Santos, 2022; Frota et al., 2024; Cavalcante et al., 2023).

Ainda a respeito de dados que colaborem para compreensão do sítio Serrote dos Ossos, Cavalcante et al. (2023, p.05) nos diz que

(...) O sítio arqueológico Serrote dos Ossos localizado na comunidade de Curimatãs, abriga um local de sepultamento Cariri, cujos achados são de extrema importância para entender o povoamento pré-colonial. O Serrote dos Ossos é composto por um abrigo rochoso e em seu interior existem pedras que contornam o cemitério de maneira circular, algo que pode ter sido propositalmente organizado dessa forma em frente aos locais de sepultamentos com objetivo ritualístico (Cavalcante et al., 2023, p. 05).

As atividades de pesquisa e escavações executadas em duas etapas ao longo do ano de 2022, possibilitaram a recuperação de uma quantidade relevante de artefatos arqueológicos, totalizando um montante de 8.225 vestígios materiais de diferentes tipos. Foi possível verificar a dominância de materiais bioarqueológicos, incluindo numerosos restos humanos (inteiros e fragmentados) que, acredita-se, pertencerem à etnia cariri, que habitou e construiu variadas interações nos sertões da Paraíba (Santos, 2022) (Fig. 1).

Figura 1: Vista parcial frontal do abrigo sobrocha sítio arqueológico Serrote dos Ossos, Paraíba.



Crédito da imagem: Prof. Odorico de Moraes, 2022)

Quais fatores geológicos ou antrópicos explicam o pH neutro dos solos no sítio Serrote dos Ossos e de que forma essa neutralidade química influencia os processos de diagênese óssea e preservação de materiais orgânicos em comparação com sítios de ambientes semiáridos com solos ácidos ou alcalinos? Essa questão busca elucidar se o pH do Serrote dos Ossos resulta em uma vantagem preservacional mensurável e quais mecanismos estão por trás disso, contribuindo para o entendimento da interação entre a química do solo e o destino dos vestígios bioarqueológicos em climas semiáridos.



2 INFLUÊNCIA DO pH NA PRESERVAÇÃO DE REMANESCENTES BIOARQUEOLÓGICOS

2.1 SOLOS ÁCIDOS (PH < 6) E SEUS EFEITOS TAFONÔMICOS

Solos com pH ácido tendem a ser altamente prejudiciais à preservação de restos ósseos e outros materiais bioarqueológicos. A acidez do solo promove a dissolução da hidroxiapatita óssea (fosfato de cálcio), que é o principal componente mineral dos ossos (Williams et al. 2025). Em ambientes ácidos, os íons H^+ em excesso atacam a estrutura mineral, liberando cálcio e fosfato e provocando a desmineralização contínua do osso (Williams et al. 2025). Em solos muito ácidos (pH ~5,3 ou menor), a decomposição óssea é muito rápida, levando à deterioração severa ou mesmo à ausência de ossos preservados em sítios arqueológicos (Gordon and Buikstra 1981). Gordon & Buikstra (1981), por exemplo, constataram uma correlação significativa entre alta acidez do solo e forte deterioração de ossos humanos em contextos mortuários, o que indica viés de preservação onde ossos em solos ácidos dificilmente sobrevivem a longos períodos.

Tafonomicamente, solos ácidos favorecem a atividade de fungos degradadores nos ossos: é comum observar túneis de fungos microscópicos perfurando a matriz óssea em ambientes ácidos (Williams et al. 2025). Essas hifas penetram após a dissolução parcial do mineral, consumindo o colágeno e enfraquecendo ainda mais a integridade do resto ósseo. Em casos extremos – como turfeiras anaeróbicas altamente ácidas – a acidez combinada com a falta de oxigênio inibe bactérias e pode preservar tecidos moles (pele, cabelos etc.), enquanto os ossos perdem todo o mineral e amolecem ou desaparecem (Williams et al. 2025). Contudo, em solos tropicais bem drenados (oxidantes), a acidez usualmente resulta em ossos muito fragmentados ou ausentes. No sítio Toca do Gongo III (Parque Nacional Serra da Capivara, Piauí), por exemplo, os pesquisadores relataram preservação óssea precária atribuída à acidez do solo local, que impediu a escavação completa de um esqueleto ali depositado (Solari et al. 2018).

Os materiais orgânicos não mineralizados (como madeira, fibras ou artefatos vegetais) também sofrem em solos ácidos, pois a hidrólise ácida quebra macromoléculas. Entretanto, alguns ácidos orgânicos do solo podem curtir certos tecidos (como couro ou musgos em turfas), demonstrando que a influência do pH pode variar conforme o tipo de resíduo orgânico. No geral, a reação acidificante do solo é uma das mais destrutivas para materiais orgânicos em sítios arqueológicos (Oghenemavwe, Orupabo e Horsfall 2022).

2.2 SOLOS NEUTROS (PH ~ 7) E CONDIÇÕES DE PRESERVAÇÃO

Solos neutros apresentam um pH próximo a 7, o que significa menor excesso de H^+ ou OH^- disponível para reagir quimicamente com os vestígios. Em princípio, um pH neutro não causa a rápida dissolução da fração mineral dos ossos como ocorre em meios ácidos, resultando em preservação mineral moderada. De fato, em climas secos, solos pouco intemperizados tendem a permanecer neutros ou levemente alcalinos (Oghenemavwe, Orupabo, and Horsfall 2022), criando ambientes menos agressivos



quimicamente (Cornwall, 1960). No sítio Serrote dos Ossos (semiárido do Nordeste do Brasil), as análises indicaram pH neutro no solo, possivelmente devido ao baixo lixiviamento de bases no clima árido e à presença de minerais carbonáticos que tamponam a acidez. Essa neutralidade pode ajudar a evitar a dissolução imediata dos ossos, contribuindo para que os restos mantivessem boa parte de sua estrutura original após o enterramento.

Por outro lado, um solo neutro proporciona condições ótimas para a atividade microbiana decompositora. Estudos experimentais de tafonomia microbiana indicam que em pH inicial neutro ocorre intensa proliferação de bactérias e fungos no solo, que por sua vez produzem ácidos orgânicos durante a decomposição da matéria orgânica (Lavalle Sullasi, Santos e da Silva, 2018). Esses ácidos gerados localmente podem baixar o pH microambiental nas proximidades do osso para valores em torno de 4, criando bolsões ácidos mesmo em solo globalmente neutro (Lavalle Sullasi, Santos e da Silva 2018). Assim, embora o solo seja neutro, a degradação do colágeno e da mineralização óssea pode ocorrer de forma significativa devido a essa ação microbiana. Sullasi et al. (2018), estudando sepultamentos em um sítio semiárido do Nordeste brasileiro, observaram justamente que a acidez resultante do microambiente deposicional acelerou a hidrólise do colágeno em comparação com situações de pH mais alcalino (Sullasi, Santos e da Silva, 2018). Em solos neutros, desenvolve-se um consórcio microbiano diverso que inclui tanto fungos quanto bactérias atuando na decomposição óssea (Lavalle Sullasi, Santos e da Silva, 2018). Evidências microscópicas em ossos de sítios de pH ~ 7 frequentemente revelam tanto tunnelling fúngico quanto micrítica bacteriana (micro-focal destruction), ilustrando a ação combinada desses agentes.

Portanto, a estabilidade tafonômica em solo neutro depende fortemente de outros fatores como a disponibilidade de água e matéria orgânica: em condições áridas, mesmo com pH neutro, a baixa umidade pode restringir a atividade microbiana e favorecer a preservação; já em condições mais úmidas, um pH neutro permite rápida colonização microbiana e potencial degradação dos vestígios. No caso do Serrote dos Ossos, o clima seco da Caatinga possivelmente limita a degradação biológica apesar do pH neutro, contribuindo para a manutenção dos ossos enterrados. Esse balanço delicado entre química neutra e biologia ativa torna ambientes de pH ~ 7 um caso intermediário, onde a preservação pode ser boa, mas não garantida – requerendo avaliação caso a caso da dinâmica de solo e restos.

2.3 SOLOS ALCALINOS (PH > 7) E IMPACTOS NA PRESERVAÇÃO

Solos alcalinos (pH acima de 7) tendem a ser mais favoráveis à preservação dos componentes minerais dos vestígios arqueológicos. Em meio alcalino há escassez de íons H^+ livres, de modo que a hidroxiapatita dos ossos não sofre dissolução significativa; pelo contrário, pode ocorrer precipitação de carbonato de cálcio nos poros ósseos, aumentando a estabilidade estrutural do osso ao longo do tempo (Trovillo 2015). Diversos estudos apontam que ossos, dentes e conchas se preservam melhor em solos



básicos, enquanto em solos ácidos sua degradação é muito mais rápida (Kibblewhite, Tóth e Hermann 2015). Por exemplo, Cornwall já observava desde a década de 1960 que solos alcalinos ou ricos em cálcio são propícios à conservação de ossos humanos em sítios arqueológicos. Em ambientes desérticos ou semiáridos com pH elevado, é comum encontrar esqueletos bem preservados mesmo após milhares de anos. Um caso ilustrativo é o de um sepultamento infantil reportado com solo alcalino e baixa umidade, no qual o esqueleto estava notavelmente bem preservado devido a essas condições favoráveis (Baxter 2004; Cornwall, 1960).

Entretanto, a alcalinidade traz seus próprios efeitos diagenéticos. Em pH muito alto, embora o mineral ósseo permaneça, o colágeno (fração orgânica) pode degradar-se por hidrólise básica. Experimentos forenses mostraram que a adição de cal (óxido de cálcio, fortemente alcalino) a corpos acelera a decomposição dos tecidos e do colágeno (Williams et al. 2025). Ou seja, um pH elevado pode acelerar a perda de colágeno e outros materiais orgânicos, mesmo enquanto o esqueleto conserva sua forma geral. Microbiologicamente, solos alcalinos favorecem populações bacterianas específicas em detrimento de fungos (Williams et al. 2025). Observam-se com frequência sinais de bioerosão por bactérias (canais microscópicos conhecidos como micro-focal destruction) em ossos enterrados em solos básicos, ao invés dos extensos túneis fúngicos típicos de solos ácidos (Williams et al. 2025). Apesar de a atividade microbiana aeróbica tender a ser menor em extremos de pH muito alto (condições muito básicas podem inibir alguns microrganismos) (Williams et al. 2025), no intervalo alcalino moderado (pH ~8) ainda atuam decompositores suficientes para consumir matéria orgânica, embora possivelmente em ritmo mais lento que em pH neutro.

Solos levemente alcalinos, combinados com clima seco, representam frequentemente o cenário de melhor preservação óssea: o mineral permanece estável e uma parte do colágeno pode persistir tempo suficiente para estudos, já que a atividade microbiana é limitada tanto pela aridez quanto por condições químicas menos favoráveis a fungos (Williams et al. 2025). Além disso, a precipitação de minerais (carbonatos) nesses ossos pode protegê-los adicionalmente, "fossilizando" os restos. Deve-se notar, porém, que se houver umidade significativa, a alcalinidade pode levar à formação de adipocera (saponificação de gorduras) em corpos e à perda de tecidos moles não protegidos – como observado em alguns contextos funerários com formação de adipocera e preservação esquelética, mas degradação de materiais como vestimentas em solos de pH ~7,8 (Manifold 2015). Assim, a alcalinidade beneficia os restos duros (ossos, dentes), mas nem sempre preserva outros materiais orgânicos delicados (por exemplo, madeira ou tecidos vegetais podem decompor-se em bases fortes).



3 METODOLOGIA

Em se tratando dos procedimentos operacionais e das etapas realizadas, seja no preparo das amostras, seja na realização das análises e medição do pH, consideramos: a. Preparo da solução de CaCl_2 0,01 M; b. Procedimento Experimental: Preparo de amostra com solução de CaCl_2 0,01 M e leitura do potencial hidrogeniônico em pHmetro e em tira universal de pH; c. Preparo de amostra; d. Leitura do pH em pHmetro; e. Leitura do pH em tira universal de pH; f. sistematização e discussão dos dados coletados¹ (Fig. 2a-e).

Figura 2: Etapas do preparo e análise de amostra para caracterização físico-química em laboratório. (a) Amostra de solo acondicionada em embalagem plástica devidamente rotulada, contendo informações como identificação, data de coleta e local de origem, antes do início do processo analítico. (b) Início do preparo da amostra em bancada de laboratório, com a manipulação segura de reagentes e soluções em conformidade com as boas práticas laboratoriais. (c) Materiais e reagentes utilizados na preparação da solução extrativa da amostra, incluindo balões volumétricos, pipetas graduadas, bastão de vidro, água destilada e solução de hidróxido de sódio (NaOH), todos organizados sobre superfície forrada com material refletivo para controle de contaminações. (d) Pesagem precisa da amostra em balança analítica. (e) Filtração da solução obtida após homogeneização da amostra com o solvente, realizada com o auxílio de papel de filtro e funil, visando à separação de resíduos sólidos e obtenção de extrato líquido para análise. (f) Determinação do pH da amostra líquida utilizando fita indicadora universal, com comparação visual imediata da coloração obtida com a escala cromática de referência, fornecendo uma estimativa qualitativa do caráter ácido ou básico da solução.

¹ Para outras informações específicas relacionadas aos procedimentos realizados, favor verificar o documento de protocolo padrão (DPP), intitulado “**Análise do pH de Amostras de Solos Provenientes de Escavações Arqueológicas**”, disponível no Laboratório de Química Medicinal (LQM) e no Laboratório de Bioarqueologia Translacional (LABBAT) do NPDM/UFC. Informações complementares relacionadas ao referencial teórico e demais elementos metodológicos também podem ser observados nesse documento.



Figura 2



Crédito das imagens: Lima Filho e Magalhães, 2025.

Todos os procedimentos técnicos operacionais seguiram rigorosamente o protocolo elaborado para medição do pH de amostras de solo.

4 RESULTADOS

Em se tratando da amostra analisada nesta pesquisa e que se configurou como escala 7 (pH ~7/neutra), é possível discutir que existe menos dissolução mineral associada à hidroxiapatita em valores de pH neutros semelhantes (Holliday & Gartner, 2007; Hedges, 2002). Entretanto, mesmo em valores de pH neutros, eventos de deposição orgânica e deposição de água podem ocorrer a decomposição orgânica, exigindo uma avaliação integrada do contexto arqueológico, conforme sugere Vasconcelos e colaboradores (2013), Seccatto (2022); Hedges (2002) e Holliday & Gartner (2007).

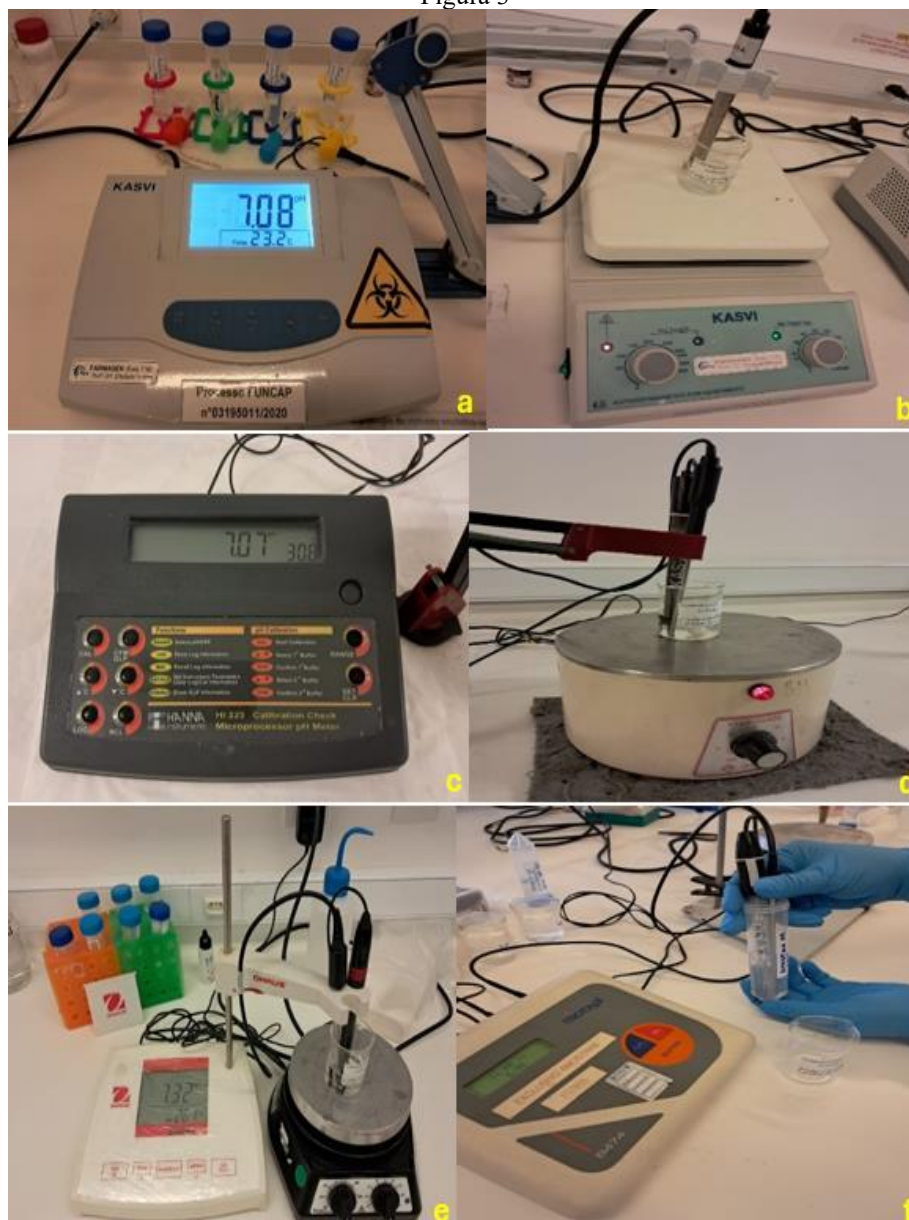


Em se tratando dos valores observados após os procedimentos de verificação em 4 (quatro) aparelhos distintos, foi observado que todos apresentaram o mesmo teor na escala de pH, ou seja, variando entre 6,9 e 7,8. A verificação pela fita de pH de forma manual também apresentou cores compatíveis com a escala 7 (pH $\sim$ 7) de coloração da amostra analisada. Todos estes aparelhos pertencem aos distintos laboratórios de pesquisa que formam o NPDM/UFC. A título ilustrativo, as imagens abaixo explicam parte desses resultados obtidos em diferentes pHmetros e fornecem, assim, dados para se pensar na possibilidade de aquisição de outras amostras e análises comparativas em outros setores do sítio em questão ou em áreas adjacentes (Fig. 03 a-f).

Figura 3: Diferentes etapas e equipamentos utilizados na caracterização físico-química de soluções aquosas, com foco na determinação do pH, condutividade elétrica e temperatura, sob condições controladas de laboratório. (a) Medição do pH utilizando um pHmetro digital da marca Kasvi, calibrado com solução padrão e com temperatura ambiente registrada simultaneamente. (b) Agitação constante da amostra em um agitador magnético, enquanto o eletrodo de pH permanece imerso na solução, favorecendo a homogeneização. (c) pHmetro digital (HANNA Instruments) é utilizado, também evidenciando calibração apropriada com aferição da temperatura da amostra. (d) Banho termostatzado com controle de temperatura, no qual a amostra é submetida a uma condição térmica constante durante a análise com o eletrodo. (e) Agitador com controle digital de temperatura e eletrodo acoplado, permitindo o monitoramento simultâneo da condutividade e do pH em uma solução preparada com reagentes previamente organizados em tubos coloridos para controle experimental. (f) Medição da condutividade elétrica com auxílio de um condutivímetro portátil, demonstrando a etapa final de caracterização eletroquímica da solução em análise.



Figura 3



Crédito das imagens: Lima Filho e Magalhães, 2025.

5 DISCUSSÃO

A análise do pH da amostra coletada durante as escavações no sítio Serrote dos Ossos apresentou uma escala de valor 7 (pH ~7), sendo, portanto, considerada neutra. Tal identificação e medição realizadas usando para isso 4 pHmetros e uma fita de identificação manual de pH, permitem que algumas discussões possam ser levantadas: 1º. Por se tratar de um contexto neutro e não com acidez considerada, termina por atuar na conservação, por exemplo, de vestígios bioarqueológicos (ossos humanos e materiais orgânicos). A literatura considera que solos que apresentam pH próximo a esse valor tendem a demonstrar uma atividade microbiana e química reduzida, o que favorece a preservação de ossos e outros vestígios dessa natureza (Holliday & Gartner, 2007). 2º Tal neutralidade pode ser um indicativo de um ambiente estável, caracterizado pela ausência de grandes flutuações de acidez ou alcalinidade ao longo do tempo, algo



frequentemente observado em contextos arqueológicos que se encontram bem preservados (Holliday & Gartner, 2007; Hedges, 2002).

Também, a verificação de um pH de nível 7 (pH ~7) pode estar associado a fenômenos de mineralização ou à existência de carbonatos resultantes da decomposição de ossos, os quais costumam atuar na neutralização da acidez do solo (Hedges, 2002). Quer dizer, tal constatação não elimina a possibilidade de que alterações ambientais ao longo do tempo, como variações no uso do solo ou na dinâmica sedimentar, tenham impactado a composição química do ambiente e por sua vez tenham favorecido esse contexto deposicional, conservando-o, conforme é verificado no sítio Cariri Serrote dos Ossos (Tab. 1, Fig. 4).

Tabela 1: Apresentação dos resultados a partir da medição do pH em diferentes pHmetros.

AMOSTRA SASO - 01: SEDIMENTO COLETADO NA QUAD. 3B – ESCAVAÇÃO DO SÍTIO SERROTE DOS OSSOS - PB		
pHmetro de bancada (pH/mV/°C): Hanna Instruments, modelo 223. Laboratório de Química Medicinal / NPDM – UFC		
Data	Sensor de temperatura do equipamento	Valor medido
28/03/2025	30,8 °C	pH 7,07
pHmetro de bancada (pH/mV/°C): OHAUS, modelo STARTER 2100. Laboratório de Cicatrização da Pele da Tilápia / NPDM – UFC		
Data	Sensor de temperatura do equipamento	Valor medido
01/04/2025	26,1 °C	pH 7,32
pHmetro de bancada (pH/mV/°C): KASVI, modelo K39-1420A. Laboratório de Farmacogenética / NPDM – UFC		
Data	Sensor de temperatura do equipamento	Valor medido
27/03/2025	23,3 °C	pH 7,08
pHmetro de bancada (pH/mV/°C): microNal, modelo B474. Laboratório de Bioprospecção e Biotecnologia Marinha (LABBMAR)/ NPDM – UFC		
Data	Sensor de temperatura do equipamento	Valor medido
04/04/2025	29,0 °C	pH 6,99
Tira Universal de pH: MACHEREY-NAGEL – MN, modelo Papel Indicador Universal pH 0-14. Laboratório de Química Medicinal / NPDM – UFC		
Data	Sensor de temperatura do equipamento	Valor medido
27/03/2025	30,8 °C	pH 7,00

Elaboração: Magalhães e Lima Filho, 2025.

Em regiões semiáridas, como o Nordeste brasileiro, o pH do solo varia conforme a geologia local e a história deposicional, influenciando diretamente a conservação dos vestígios arqueológicos. De modo geral, solos da Caatinga tendem a ser pouco lixiviados pela chuva (devido à escassez hídrica) e podem reter bases, apresentando pH neutro a ligeiramente alcalino em áreas próximas a calcários ou onde houve uso do fogo (cinzas) (Oghenemavwe, Orupabo e Horsfall 2022). Por outro lado, certas formações superficiais são silicáticas e pobres em bases, podendo ainda assim ser ácidas (p.ex., Latossolos com matéria orgânica acumulada podem ter pH em torno de 5-6). Essa diversidade reflete-se nos sítios arqueológicos da região.



No sítio Toca do Gongo III (Piauí), inserido em solo arenoso e ácido, os ossos apresentaram conservação muito limitada, ao ponto de alguns sepultamentos estarem representados apenas por fragmentos devido à corrosão ácida. Solari et al. (2018) notam que a forte acidez do solo naquele abrigo rochoso contribuiu para a decomposição acelerada dos ossos, criando um viés tafonômico em que indivíduos sub-representados podem refletir perdas pós-deposicionais e não padrões culturais originais. Já no sítio Pedra do Alexandre (Rio Grande do Norte), também em contexto semiárido, análises químicas e experimentos de diagênese óssea foram realizados por Sullasi et al. (2018). Eles constataram pH inicial levemente ácido nos sedimentos e observaram que, ao enterrar ossos nesses solos, ocorreu intensa atividade microbiana que baixou ainda mais o pH local e promoveu rápida degradação colagênica. Interessantemente, esse estudo inferiu que em solos do semiárido nordestino, mesmo começando neutros, processos diagenéticos podem acidificar microambientes de sepultamento, levando a efeitos semelhantes aos de solos originalmente ácidos (dissolução mineral seguida de colapso estrutural do osso). Isso sugere que a causa da neutralidade ou alcalinidade de um solo (por exemplo, presença de calcário vs. cinzas vs. baixa pluviosidade) pode resultar em implicações diferentes na interação com restos orgânicos: se o tampão alcalino for forte o bastante para neutralizar ácidos produzidos pela decomposição, o osso terá melhor chance de se preservar; caso contrário, a neutralidade inicial pode ser transitória.

No caso do sítio Serrote dos Ossos, localizado em área semiárida, as análises de solo revelaram um pH aproximadamente neutro, o que é compatível com a geoquímica regional se houver influência de material calcário no substrato ou pouca lavagem de bases. Uma hipótese para a neutralidade do Serrote dos Ossos é a possível presença de carbonato de cálcio natural no solo (seja por proximidade de rochas calcárias ou acumulação de conchas/fragmentos ósseos ao longo do tempo), atuando como tampão que impede a acidificação. Outra possibilidade é a contribuição de cinzas de fogueiras ou queima da vegetação local ao longo dos séculos, já que cinzas vegetais conferem alcalinidade aos sedimentos. As implicações tafonômicas dessa neutralidade são potencialmente positivas: espera-se uma preservação óssea superior à observada em solos muito ácidos da região (permitindo recuperar ossos mais íntegros e em maior quantidade). Com efeito, muitos dos ossos no Serrote dos Ossos aparentam estar relativamente bem preservados, corroborando a influência benigna do pH neutro. Por outro lado, deve-se investigar se a neutralidade do solo possibilitou maior atividade de decompositores no passado, decomposição de tecidos moles, por exemplo, do que ocorreria em um solo naturalmente básico; ou seja, alguns materiais orgânicos mais delicados podem não ter sobrevivido apesar do pH neutro, devido à ação biológica.

Os contextos semiáridos nordestinos oferecem um laboratório natural sobre os efeitos do pH. Sítios em solo ácido tendem a carecer de material ósseo bem preservado, exigindo análises alternativas, como do solo em si ou de microvestígios; enquanto sítios de solo neutro a alcalino, como possivelmente o Serrote dos Ossos, têm potencial para conservar ossos e até resíduos orgânicos associados, a título de



exemplificação, fitólitos, tramas vegetais carbonizadas ou coprólitos, que seriam destruídos em acidez. Entender as causas dessa neutralidade e suas consequências para a diagênese permite delinear estratégias de conservação e orientar escavações (priorizando, por exemplo, coleta de amostras de solo para avaliar se foram envolvidas por cinzas ou carbonatos. Isso conduz à necessidade de pesquisas direcionadas, para experimentação de correção da acidez do solo a partir de atividades antropogênicas em distintas janelas temporais.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para comparar solos arqueológicos neutros com solos ácidos e alcalinos, é essencial analisar parâmetros como pH, composição química, mineralogia e matéria orgânica. Solos neutros (pH ~7) geralmente preservam melhor materiais orgânicos e certos artefatos, enquanto solos ácidos (pH <7) podem degradar ossos e conchas, mas conservam melhor materiais como cerâmicas. Solos alcalinos (pH >7) tendem a preservar matéria orgânica e ossos, mas podem corroer metais e vidros. Técnicas como espectrometria, análise de fosfatos e difração de raios-X ajudam a identificar diferenças na composição, enquanto a estratigrafia e datação contextualizam os processos de formação do sítio arqueológico. A comparação deve considerar também fatores como clima, atividade biológica e deposição sedimentar para interpretar corretamente os vestígios materiais escavados, documentados e transferidos para laboratório.

A medição do pH da amostra de solo coletada no sítio Serrote dos Ossos a partir dos diferentes pHmetros disponíveis no NPDM/UFC – seguindo rigorosamente o protocolo de preparação e análise do material – permitiu considerar que solos de sítios arqueológicos com características neutras oferecem dados pertinente e atuais para ampliação do campo de pesquisa bioarqueológica, além de auxiliar na conservação de vestígios ósseos e orgânicos, diferentemente do que temos verificados em contextos onde a acidez é evidente (<6).

Também, é importante esclarecer que isso ocorre porque condições neutras favorecem a manutenção de materiais biológicos, reduzindo a degradação tanto por processos químicos quanto microbiológicos. Por fim, consideramos que pesquisas complementarem poderão ampliar o quadro de informações aqui apresentados, tendo como foco um universo amostral maior e mais diversificado.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem aos seguintes laboratórios de pesquisa do NPDM/UFC: Laboratório de Bioprospecção e Biotecnologia Marinha (LABBMAR), Laboratório de Cicatrização da Pele da Tilápia, Laboratório de Farmacogenética, Laboratório de Química Medicinal e Laboratório de Bioarqueologia Translacional (LABBAT), assim como a sua Reserva Técnica Arqueológica (RTA). Por fim, se agradece à FUNCAP pela bolsa de fomento de doutorado concedida ao 2º autor dessa pesquisa.



REFERÊNCIAS

- BAXTER, Kyle. **Extrinsic factors that effect the preservation of bone**. Nebraska Anthropologist, . <https://digitalcommons.unl.edu/nebanthro/62>. 2004.
- BICHO, N. F. **Manual de Arqueologia Pré-Histórica**. Lisboa: Edições 70, 2006.
- BUTZER, K. W. **Environment and Archaeology: An Ecological Approach to Prehistory**. 2nd ed. Chicago: Aldine-Atherton, 1971.
- CAVALCANTE, T. S.; LIMEIRA, V. S.; SANTOS, J. S. **O sítio arqueológico Serrote dos Ossos, Caraúbas – PB e um breve estudo a partir do contexto fúnebre dos povos Cariri**. Revista Tarairiú, Campina Grande - PB, Volume 1 - Número 22 – 2023
- CORNWALL, I.W. Soil investigations in the service of Archaeology. In R.F. Heizer, & S.F. Cook (Eds.), **The Application of Quantitative Methods in Archaeology** (pp. 265–299), 1960. New York: Viking Fund Publications in Anthropology, n° 28. Disponível em: https://link.springer.com/chapter/10.1007/1-4020-2597-1_1. Acesso em: 20 de novembro de 2024.
- HEDGES, R. E. M. **Bone Diagenesis: An Overview of Processes**. Archaeometry, v. 44, n. 3, p. 319-328, 2002.
- HOLLIDAY, V. T.; GARTNER, W. G. **Methods of Soil P Analysis in Archaeology**. *Journal of Archaeological Science*, v. 34, n. 2, 2007, p. 301-333.
- GOLDBERG, P.; MACPHAIL, R. I. **Practical and Theoretical Geoarchaeology**. Blackwell Publishing, 2006.
- GORDON, Claire C., and BUIKSTRA, Jane E. **Soil pH, Bone Preservation, and Sampling Bias at Mortuary Sites**. *American Antiquity* 46 (3): 566–71, 1981.
- KIBBLEWHITE, Mark, GERGELY Tóth, and TAMÁS, Hermann. 2015. **Predicting the Preservation of Cultural Artefacts and Buried Materials in Soil**. *The Science of the Total Environment* 529 (October):249–63, 2015.
- LAVALLE SULLASI, Henry Socrates, SANTOS, André Luiz Campelo, DA SILVA, Sérgio Francisco Serafim Monteiro. **Bone Diagenesis Study of the Burials from the Pedra do Alexandre Archaeological Site, Carnaúba Dos Dantas, RN**. *Cadernos Do LEPAARQ (UFPEL)* 15 (30): 162, 2013.
- NIELSEN-MARSH, C. M.; HEDGES, R. E. M. **Patterns of Diagenesis in Bone I: The Effects of Site Environments**. *Journal of Archaeological Science*, v. 27, n. 12, p. 1139-1150, 2000.
- SANTOS, Juvandi de Souza. **Relatório final das atividades de escavação arqueológica do Sítio Cemitério Serrote dos Ossos, Caraúbas, Paraíba. (Período: Campanha N° 1 = 19 a 23/03/ 2022 – Campanha N° 2 = 29 a 31/07/2022)**. Processo no IPHAN: 01408.000.45/2022-88. LABAP/UEPB, 2022.
- SECCATTO, C. P.; **Antracologia no Sítio Arqueológico ‘Templo dos Pilares’ de Alcinópolis/MS – Estudos de Solos e Carvão Vegetal**. Tese de doutorado do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental da Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD), 2022.



SCHIFFER, M. B. **Formation Processes of the Archaeological Record**. University of Utah Press, 1987.

SOLARI, Ana, PESSIS, Anne Marie; MARTIN, Gabriela,; GUIDON, Niède. **Funerary Practices at the Toca Do Gongo III Site during the Late Holocene in Serra Da Capivara (Piauí, Brazil)**. *Bioarchaeology International* 2 (3): 165–81, 2018.

TROVILLO, Kirby Alyssa. 2015. **Bone Degradation under Differing Environments**. University of Tennessee, Knoxville. https://trace.tennessee.edu/utk_chanhonoproj/1862. 2015.

OGHENEMAVWE, Loveday Esse; ORUPABO, Clinton David,; HORSFALL, Teke Jemina Horsfall. **Soil pH Effect on Bone Degradation**. *Advances in Biomedical and Health Sciences* 1 (3): 156–61, 2022.

WILLIAMS, Rhys; Thompson, Tim,; ORR, Caroline; TAYLOR, Gillian. 2025. **Bone Diagenesis and Extremes of Preservation in Forensic Science**. *Humans* 5 (1): 2, 2025.

VASCONCELOS, Bruno Nery Fernandes; KER, João Carlos; SCHAEFER, Carlos Ernesto Gonçalves Reynaud; POIRIER, André Pierre Prous; POIRIER, Felipe Vaz Andrade. **Antropossolos em sítios arqueológicos de ambiente cárstico no norte de Minas Gerais**. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, 37 (4): 2013.