

Classificação dos terrenos tecnogênicos e da forma de relevo antropogênico do Aterro de Resíduos Sólidos de Manaus (AM)

Classification of technogenic terrains and anthropogenic relief forms of the Manaus Solid Waste Landfill (AM)

Clasificación de terrenos tecnogénicos y formas de relieve antropogénicas del Relleno Sanitario de Residuos Sólidos de Manaus (AM)

Danielson Pereira de Souza

Universidade Federal do Amazonas (UFAM)

danpsouza13@gmail.com

Mircia Ribeiro Fortes

Universidade Federal do Amazonas (UFAM)

mirciafortes@ufam.edu.br

Resumo

O relevo antropogênico é formado por terrenos tecnogênicos depositados sobre uma superfície terrestre que sofreu influência humana em sua modificação, a partir das ações de agradação e degradação do relevo. Podemos observar essa ação geomórfica humana, no relevo do Aterro de Resíduos Sólidos de Manaus (AM), um aterro controlado responsável pela deposição dos resíduos sólidos produzidos no perímetro urbano do município. Este complexo iniciou suas atividades como um lixão a céu aberto em 1986, e em 2006, por meio de um Termo de Ajustamento de Conduta, a Prefeitura de Manaus deu início aos trabalhos de intervenção na área. Diante desse contexto, este trabalho tem por objetivo classificar os terrenos tecnogênicos e o relevo antropogênico formado por esses depósitos no Aterro de Resíduos Sólidos de Manaus, além classificá-lo, a partir da macroforma resultante da deposição dessas camadas no relevo do aterro. Através deste trabalho, ressalta-se a capacidade do ser humano de transformar o relevo, no tempo histórico, em formas que demorariam milhares de anos na escala geológica, deixando seu registro na superfície terrestre

Palavras-chave: Relevo antropogênico. Terrenos tecnogênicos. Aterro de Resíduos Sólidos de Manaus. Ação geomórfica humana.

Abstract

The anthropogenic relief is formed by technogenic terrain deposited on a terrestrial surface that is subject to human influence in its modification, from the actions of aggradation and degradation of the relief. We can observe this human geomorphic action in the relief of the Manaus Solid Waste Landfill (AM), a controlled landfill responsible for the disposal of solid waste produced in the urban perimeter of Manaus (AM). This complex began its activities as an open-air dump in 1986, and in 2006, through a Conduct Adjustment Term, the City of Manaus began the remediation work of the area. Given this context, this work aims to classify the technogenic terrains and the anthropogenic relief formed by these deposits in the Manaus Solid Waste Landfill, in addition to classifying it, based on the macroform resulting from the deposition of these layers in the relief of the landfill. This work highlights the human capacity to transform relief, in historical time, into forms that would take thousands of years on a geological scale, leaving its mark on the earth's surface.

Keywords: Anthropogenic relief. Technogenic terrain. Manaus Solid Waste Landfill. Human geomorphic action.

Resumen

El relieve antropogénico se forma por terreno tecnogénico depositado sobre una superficie terrestre sujeta a la influencia humana en su modificación, a partir de las acciones de agradación y degradación del relieve. Podemos observar esta acción geomórfica humana en el relieve del Relleno Sanitario de Residuos Sólidos de Manaus (AM), un vertedero controlado responsable de la disposición de residuos sólidos producidos en el perímetro urbano de Manaus (AM). Este complejo inició sus actividades como vertedero a cielo abierto en 1986, y en 2006, mediante un Término de Ajuste de Conducta, la Ciudad de Manaus inició los trabajos de remediación del área. En este contexto, este trabajo tiene como objetivo clasificar los terrenos tecnogénicos y el relieve antropogénico formado por estos depósitos en el Relleno Sanitario de Residuos Sólidos de Manaus, además de clasificarlo, con base en la macroforma resultante de la deposición de estas capas en el relieve del vertedero. Este trabajo destaca la capacidad humana para transformar el relieve, en tiempo histórico, en formas que tomarían miles de años a escala geológica, dejando su huella en la superficie de la terra.

Palabras clave: Relieve antropogénico. Terreno tecnogénico. Relleno Sanitario de Residuos Sólidos de Manaus. Acción geomórfica humana.

Introdução

O relevo é resultado da interação entre as forças endógenas (aspectos tecnogenéticos) e as forças exógenas (mecanismos morfodinâmicos). No que tange às forças exógenas, destaca-se o papel do ser humano como agente que ocasiona mudanças na paisagem.

Autores como Peloggia (2018) classificam a capacidade geomórfica do ser humano como agenciamento ou agência geológica humana, que nada mais é que a efetuação transformadora ou neoformadora do ambiente geológico (estrutura superficial e sub-superficial da paisagem) referenciada nos contextos culturais particulares.

O agenciamento geológico humano é responsável por criar terrenos formados por materiais oriundos das atividades humanas, denominados de depósitos tecnogênicos (antropogênicos). Vitorino et al. (2016) conceituam depósitos tecnogênicos ou antropogênicos como produtos da ação humana sobre a superfície do planeta, resultante da transformação *in situ* de materiais constituintes do manto de intemperismo, do solo superficial, do substrato rochoso e depósitos sedimentares ou da mobilização de materiais.

Ao serem acomodados na paisagem, os depósitos tecnogênicos formam camadas estratigráficas de materiais que compõem o chamado relevo antropogênico (tecnogênicos). Nesse sentido, os depósitos tecnogênicos, oriundos das atividades humanas, são os componentes principais para classificação de relevo antropogênico, como é o caso do Aterro de Resíduos Sólidos de Manaus (ARSM).

Este trabalho tem por objetivo apresentar uma classificação dos depósitos (terrenos) tecnogênicos e do relevo antropogênico presente no ARSM, além de classificá-lo a partir da sua macroforma, como se fosse um relevo construído a partir da relação padrão entre processos endógenos e exógenos de formação do relevo. A partir da utilização dessas três taxonomias, a classificação do relevo do aterro torna-se mais detalhada.

O Tecnógeno e o Antropoceno

O termo Tecnógeno foi adotado por Ter-Stepanian (1988) para se referir a uma nova escala de tempo ou período geológico que expressa a influência da ação humana como agente formador de relevos e processos geológicos. Essa atuação é responsável por mudanças ambientais na paisagem. A transição para esse período ocorreu no início do Holoceno, há cerca de 10 mil anos, durante a última glaciação, quando as paisagens do período Quaternário foram definidas geomorfologicamente.

Conforme Ter-Stepanian (1988), é no Tecnógeno ou Quinário que ocorre a formação das paisagens tecnogênicas, aquelas que modificadas pela ação humana, onde os registros humanos ficam cristalizados na paisagem. Para o autor, o fim desta época ocorrerá quando os ambientes antropicamente modificados se tornarem predominantes na superfície terrestre (Ter-Stepanian, 1988).

A ideia do Tecnógeno de Ter-Stepanian não foi bem recebida dentro da Geociência, porém, a designação Antropoceno, um termo utilizado por Paul Crutzen e Eugene Stoermer (*apud* França Junior e Peloggia, 2020) no início dos anos 2000, que possui uma concepção parecida com o Tecnogênico (Quinário), foi adotada no âmbito científico. Conforme França Junior e Peloggia (2020), o prestígio de Paul Crutzen, químico holandês e vencedor do Prêmio Nobel em 1995, certamente ajudou a alavancar a discussão do Antropoceno no meio científico e sua difusão entre o público.

Para Paul Crutzen e Eugene Stoermer, o Antropoceno é uma época geológica caracterizada pela influência do ser humano sobre o funcionamento do Sistema-Terra (ou “Sistemas-Terras”), um conjunto de sistemas geológicos, ecológicos e físico-químicos, envolvendo a atmosfera, a hidrosfera, a litosfera e a biosfera, que configuraram o modo como o nosso planeta “funciona” (França Junior e Peloggia, 2020).

O marco inicial do Antropoceno, segundo Crutzen e Stoermer, teria ocorrido em meados do século XVIII, com o início das transformações ocasionadas pelas revoluções industriais. No entanto, conforme França Junior e Peloggia (2020), embora esses autores considerem a Revolução Industrial como ponto de partida, outros autores consideram que a ação humana sobre o ambiente começou muito antes, ainda entre os povos pré-históricos. Desde que o homem passou a usar rochas para fabricar instrumentos, já se observam modificações na paisagem, com a produção de resíduos e a

formação de depósitos que permanecem registrados no ambiente (França Junior e Peloggia, 2020). Um exemplo dessa intervenção é a Terra Preta de Índio (TPI), encontrada na região amazônica.

De fato, capacidade do ser humano em gerar resíduos e consequentemente depósitos na paisagem não pode ser desconsiderada, como apontam Wilkinson e McElroy (2007), que estimaram que a quantidade de depósitos produzidos pelas atividades humanas é de 57.000 Mt (Milhões de Toneladas), superando a de transporte de sedimentos dos canais fluviais para os oceanos (22.000 Mt).

Com a quantidade significativa de depósitos tecnogênicos (antropogênicos) produzidos pelos seres humanos no Antropoceno, podemos afirmar que esses terrenos ficam registrados na paisagem, marcando estratigraficamente o Antropoceno, que por sua vez, compõem diretamente as formas de relevo atuais, principalmente em grandes centros urbanos.

Terrenos tecnogênicos e relevo antropogênico

Os depósitos ou terrenos tecnogênicos (antropogênicos) são a “marca registrada” da época do Antropoceno e podem ser definidos como resultado da ação humana sobre a superfície terrestre através da mobilização ou transformação *in situ* de materiais constituintes do manto de intemperismo, do solo superficial, do substrato rochoso ou depósitos sedimentares (Vitorino et al., 2016).

O processo de formação dos depósitos tecnogênicos ocorrem por meio da mobilização dos materiais contidos no relevo ou solo, dando origem a duas classes de materiais: agradação (deposição direta ou acumulação induzida) e degradação (escavação ou erosão induzida) (Vitorino et al., 2016).

Apesar de depósitos e terrenos tecnogênicos possuírem a mesma concepção, os termos possuem origem distintas. O termo depósito tecnogênico é originário da Geologia de Engenharia Soviética, e passou a ser utilizado na década de 1980 (Ter-Stepanian, 1988). Já o termo terreno tecnogênico, é de origem britânica, utilizado pelo Serviço Geológico Britânico (BGS) a partir de 1990. Apesar disso, há registros que o termo “terrenos tecnogênicos” já aparecia em literaturas geológicas do século XIX, como nos trabalhos de Lyell, por meio da designação de *made ground* (terrenos produzidos) (Lyell, 1863 *apud* Vitorino et al., 2016, p. 34).

Independentemente da utilização do termo depósitos tecnogênicos ou terrenos tecnogênicos, Peloggia (2005) destaca que a produção desses materiais dá origem a um modelado espacial correspondente (relevo tecnogênico ou antropogênico), que sofreu influência humana na modificação e criação dos processos exógenos (superficiais), formando também depósitos sedimentares correlativo (estratigrafia). Esse processo denomina-se de geotecnogênese: a transformação da superfície pela ação do homem e dá origem aos relevos tecnogênicos (Peloggia, 2005).

O relevo tecnogênico (antropogênico) é formado pelos depósitos ou terrenos tecnogênicos e ocorre a partir de condições prévias (situações geológicas prévias), caracterizadas por formações pré-

quaternárias e por uma estrutura superficial que inclui as porções superiores do regolito, as formações superficiais, os solos “pedogênicos”, os depósitos sedimentares não consolidados e os próprios depósitos tecnogênicos. É sobre essa estrutura da paisagem que se caracteriza um modelado geomorfológico, isto é, são “esculpidos” os relevos tecnogênicos (Peloggia, 2005).

O relevo tecnogênico do Aterro de Resíduos Sólidos de Manaus (AM) é um exemplo dessa situação. Sua formação ocorreu sobre uma colina com topo aplainado, onde, a princípio, na década de 1980, surgiu um lixão a céu aberto (Santos et al., 2006). Até os anos 2000, a deposição de resíduos sólidos na área ocorreu sem controle ambiental estatal, e diversos impactos foram registrados (CPRM, 2006), até que na primeira década anos 2000, a Prefeitura de Manaus assumiu a gestão da área, por meio da Secretaria Municipal de Limpeza Pública (SEMULSP), e a área transformou-se em um aterro de resíduos sólidos controlados.

Para analisar e classificar os terrenos (depósitos) e o relevo tecnogênico (antropogênico) do ARSM, utilizou-se das taxonomias dos terrenos tecnogênicos e do relevo tecnogênico de Peloggia et al. (2014) e Peloggia (2017), além da classificação de macroforma do relevo de Florenzano (2008), as quais ofereceram fundamento e entendimento sobre a formação desse relevo, evidenciando a capacidade do ser humano, no tempo histórico (tempo que se faz), de causar alterações no ambiente, algo que no ritmo natural levaria milhares de anos, em uma escala geológica (tempo que escoa) (Suertegaray e Nunes, 2001).

Taxonomia dos terrenos tecnogênico e do relevo antropogênico

Em sua classificação dos terrenos tecnogênicos, Peloggia (2017) identificou quatro classes principais: terreno tecnogênico de agradação, terreno tecnogênico modificado, terreno tecnogênico de degradação e terreno tecnogênico complexo. Cada uma dessas classes apresenta subdivisões em categorias geológicas, tipos e camadas ou feições tecnogênicas, como mostra a tabela 1 a seguir:

Tabela 1 - Classificação dos terrenos tecnogênicos

| Classificação dos terrenos tecnogênicos (antropogênicos) para mapeamento geológico e geomorfológico | | | | | |
|--|--------------------------------|------------------------|------------------------|-------------------|---|
| Classe | Categoria geológica | | Tipo | | Camada ou feição tecnogênica |
| Terreno Tecnogênico de Agradação | Formações superficiais antrópo | Depósitos tecnogênicos | Terreno produzido (1) | Terreno aterrado | Depósitos tecnogênicos construídos |
| | | | | Terreno acumulado | Camadas tecnogênicas culturais (de ocupação, construção ou destruição) acumuladas sucessivamente. |
| | | | Terreno preenchido (2) | | Depósitos tecnogênicos construídos recobrindo terreno escavado |

| | | | | | |
|-----------------------------------|----------------------------------|--|---------------------------------------|----------|--|
| | gênicas | | Terreno tecnogênico sedimentar | Aluvial | Depósitos tecnogênicos induzidos de fundos de vale |
| | | | | Coluvial | Depósitos tecnogênicos induzidos de vertentes |
| | | | Terreno tecnogênico de escorregamento | | Depósitos tecnogênicos induzidos criados por movimento de massa |
| | | | Terreno tecnogênico remobilizado | | Depósitos tecnogênicos formados por remobilização de depósitos tecnogênicos preexistentes |
| | | | Terreno tecnogênico misto | | Depósitos tecnogênicos construídos, induzidos ou remobilizados formando pacote indiferenciado |
| Terreno Tecnogênico Modificado | Solos tecnogênicos | | Terreno de composição alterada | | Solos naturais com incorporação de contaminantes químicos ou material orgânico |
| | | | Terreno geomecanicamente alterado | | Solos naturais compactados ou revolvidos |
| Terreno Tecnogênico de Degradação | Substrato exposto ou movimentado | | Terreno erodido | | Cicatrizes de erosão criadas por processos induzidos |
| | | | Terreno escorregado | | Cicatrizes de escorregamentos criadas por processos induzidos |
| | | | Terreno movimentado ou afundado (3) | | Depressões de subsidência criadas por processos induzidos |
| | | | Terreno escavado (4) | | Superfícies de escavação |
| Terreno Tecnogênico Complexo | Paisagem tecnogênica | | Terreno complexo (5) | | Terrenos formados pela agregação ou sobreposição complexa de depósitos ou solos tecnogênicos ou superfícies de exposição de substrato, não diferenciáveis na escala de mapeamento adotada. |

A ocorrência de processos posteriores que afetem a configuração ou composição dos terrenos tecnogênicos (como erosão, movimentação de massa, presença de água subterrânea ou formação de solos por pedogênese) deverá ser acrescida ao tipo de terreno com termos descritivos apropriados.

Fonte: Peloggia (2017). Org.: Souza (2022).

Além da taxonomia dos terrenos tecnogênicos, Peloggia et al. (2014) propõem uma classificação para o relevo tecnogênico, dividindo em três táxons: paisagens tecnogênicas, compartimentos de modelados tecnogênicos e tipos de formas de relevo tecnogênicas e superfícies geomórficas relacionadas, como mostra a tabela 2 a seguir:

Tabela 2 - Classificação do relevo tecnogênico.

| Táxon geomorfológico tecnogênico | Paisagens tecnogênicas | Compartimentos de modelados tecnogênico | Tipos de formas de relevo tecnogênicas e superfícies geomórficas relacionadas |
|--|---|---|--|
| Conceito | Áreas amplas com extenso e típico relevo transformado ou produzido pela ação humana | Conjuntos de formas de relevo tecnogênicos associadas a compartimentos de relevo naturais | Formas de relevo agradacionais, degradacionais ou movimentadas definidas por diferentes tipos genéticos de superfície tecnogênicas |
| Exemplos | Paisagens urbanas, minerárias ou rurais de terrenos artificiais, extensos terrenos ravinados etc. | Planícies tecnogênicas, topos de colinas ou vertentes modificadas por processos tecnogênicos | Aterros, terraços tecnogênicos, ravinas de induzidas, cavas de mineração. |
| Relação com a classificação taxonômica das formas de relevo (ROSS, 1992) | 3º táxon de Ross (unidades morfológicas ou padrões de formas) | 3º táxon de Demek (tipos de relevos) 5º táxon (tipos de vertentes) e 4º táxon (tipos de formas de relevo) de Ross | 1º e 2º táxon de Demek (superfícies geneticamente homogêneas e formas de relevo) 6º táxon de Ross (formas de processos atuais) |
| Terrenos tecnogênicos associados | Os terrenos de paisagens artificiais que constituem partes de Antropostroma (Paserini, 1984) | Conjuntos de terrenos artificiais apresentando relacionados um ou mais tipos de formas de relevo tecnogênica. | Categorias específicas de terrenos tecnogênicos agradativos, degradativos, modificados e mistos. |
| Escalas de referência de mapeamento | Mapas de reconhecimento e mapas regionais (escalas 1:25.000 e maiores) | Mapas de detalhe (1:10.000 ou maiores) e especializados (1:2.500 e maiores) | |

Fonte: Peloggia et al. (2014). Org.: Souza (2022).

Como podemos ver na tabela 2, a classificação desenvolvida por Peloggia et al. (2014) possui uma relação taxonômica com a classificação de relevo de Jurandyr Ross (1992), que classifica o relevo brasileiro a partir de 6 táxon. Na classificação de Ross, os relevos tecnogênicos aparecem representados nos táxons 6 e 5, denominados de formas de processos atuais e tipos de vertentes, respectivamente. Porém, segundo Peloggia, os modelados tecnogênicos já podem ser encontrados no

táxon 4, denominado de tipos de formas de relevo, e apresentam características que seguem os padrões dos relevos originais menores (planícies, conjuntos de colinas e morros) recobrindo-os de forma quase homogênea (Peloggia, 2005).

Além das classificações tecnogênicas, é importante olhar para relevo tecnogênico e perceber a manifestação antagônica do tempo em sua formação. Para que um relevo se forme e seja modelado, a ação dos processos endógenos e exógenos ocorrem durante uma escala geológica de milhares de anos, no entanto, o ser humano (um dos agentes exógenos do relevo) conseguiu, por meio de técnicas e do desenvolvimento tecnológico, reduzir o tempo de agradação e degradação do relevo para uma escala histórica, ou seja, da escala temporal da vida humana. Essa constatação é melhor conceituada por Suertegaray e Nunes (2001) como tempo que escoa (tempo geológico) e tempo que se faz (tempo histórico).

Para evidenciar essa situação, além das taxonomias tecnogênicas, o relevo do aterro foi classificado a partir da sua forma e da sua altimetria atual pela classificação das macroformas do relevo brasileiro, apresentada por Teresa Florenzano (2008). Essa classificação faz uso de denominações convencionais para definir o relevo, como chapadas, tabuleiros, escarpas, morros e colinas.

Assim, para classificação do relevo tecnogênico (antropogênico), foram utilizadas as três taxonomias citadas anteriormente, uma vez que a integração entre elas permite uma compreensão mais detalhada dos processos envolvidos na formação desse relevo. Essa também evidencia a capacidade do ser humano de transformar o relevo em escalas temporais significativamente menores do que aquelas ocorridas pelos processos naturais – endógenos e exógenos – que, em condições normais, levariam milhares anos para provocar alterações expressivas na paisagem.

Metodologia

Os resultados discutidos neste trabalho foram oriundos da pesquisa de mestrado “A Construção do relevo antropogênico no Aterro de Resíduos Sólidos de Manaus (AM)” (Souza, 2022). A metodologia adotada na pesquisa foi pautada na proposta de Libault (1971) que consistiu nos quatro níveis de pesquisa geográfica: nível compilatório, nível correlativo, nível semântico e nível normativo.

O nível compilatório foi dividido em duas etapas: levantamento de dados e seleção de dados. Na primeira etapa foram coletadas informações bibliográficas como: o escopo teórico, a caracterização geomorfológica e a origem ARSM; dados cartográficos, incluindo o processamento de imagens de radar do projeto do Copérnico DEM, Satélite Sentinel 2B, com resolução espacial de 10 metros, obtidas em 2013 e disponíveis na plataforma da The European Space Agency (ESA)

(<https://dataspace.copernicus.eu/>); além de informações de obtidas em campo, por meio de visita técnica ao ARSM.

A partir do processamento das imagens de radar, foram produzidos mapas de hipsometria, os quais auxiliaram na análise e caracterização das formas do relevo antropogênico no Aterro.

Na segunda etapa do nível compilatório, realizou-se a seleção dos dados levantados. Nessa etapa, foram selecionadas na bibliografia, as informações mais relevantes para a descrição dos terrenos, formas e comportamentos do relevo presentes no ARSM, ou seja, as taxonomias que seriam utilizadas: terrenos antropogênicos (Peloggia, 2017), formas do relevo antropogênico (Peloggia et al., 2014) e classificação das macroformas do relevo (Florenzano, 2008).

Dando continuidade à pesquisa, no segundo nível, ainda dentro do nível compilatório, os dados selecionados foram correlacionados. Ou seja, os dados bibliográficos foram relacionados às informações cartográficas e às obtidas em campo, com objetivo de identificar as relações presentes entre si.

No nível semântico, foi possível classificar o aterro usando as taxonomias de terrenos antropogênicos (Peloggia, 2017) e de formas do relevo antropogênico (Peloggia et al., 2014), apresentadas no tópico anterior. Além disso, a classificação das macroformas do relevo desenvolvida de Florenzano (2008) foi utilizada para classificar o modelado do aterro. Nesse processo, sua altimetria e forma foram analisadas como se ele fosse um relevo de formação natural.

No nível normativo, os resultados obtidos no nível anterior foram concebidos por meio de modelos cartográficos, como o mapa de classificação dos terrenos tecnogênicos (antropogênicos), e uma tabela que detalha as informações desses terrenos. Com base nesses produtos, na análise altimétrica, forma e outras informações levantadas na bibliografia e em campo, chegou-se a uma classificação para o relevo antropogênico do ARSM, nomeando geomorfologicamente este modelado.

Histórico e estruturação do Aterro de Resíduos Sólidos de Manaus

O Aterro de Resíduos Sólidos de Manaus (ARSM) localiza-se entre a Rodovia AM-010, no quilômetro 19 e a Avenida das Flores, nas coordenadas geográficas 02°57'23.86"S e 60°00'47.62W, no Bairro Lago Azul, na Zona Norte de Manaus.

Com uma área estimada de 66 hectares, o ARSM é o complexo responsável pela deposição dos resíduos sólidos produzidos no perímetro urbano de Manaus, tais como: doméstico, comercial, industrial, hospitalar, entulho de construção e resto de poda de árvores (CPRM, 2006) (Figura 1).

Localização do Aterro de Resíduos Sólidos de Manaus (ARSM) - 2022

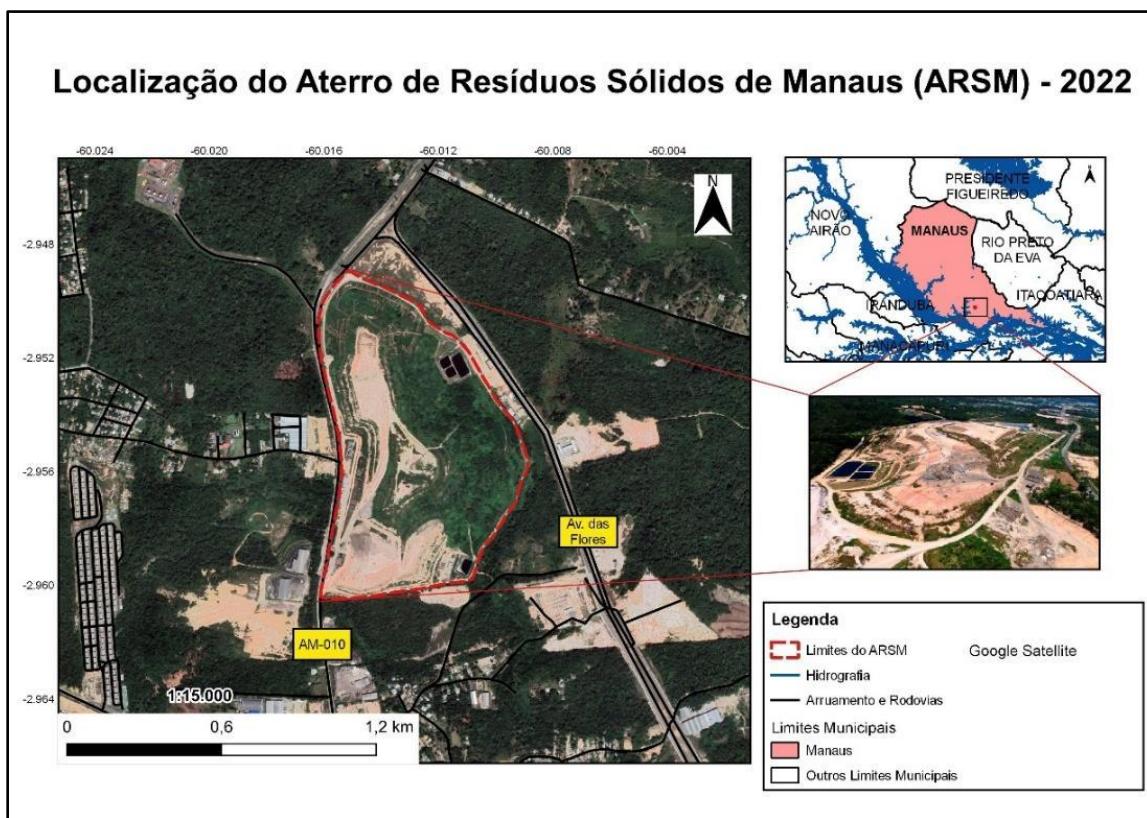


Figura 1 - Mapa de localização do ARSM.

Fonte: Souza (2022).

Antes do seu estabelecimento como aterro controlado, o ARSM era uma área de deposição de resíduos sólidos da cidade de Manaus, sem controle estatal, ou seja, um “lixão”. Essa situação perdurou de 1986 a 2000, porém, foi somente em 2006, que a Prefeitura de Manaus assinou o Termo de Ajustamento de Conduta com o Ministério Público e a Vara do Meio Ambiente e Qualidade Ambiental (VEMAQUA), e, por meio da Secretaria Municipal de Limpeza Pública (SEMULSP), iniciou-se os trabalhos de intervenção para aterro, com a construção de células revestidas com geomembranas de polietileno de alta densidade (GAD) (SEMULSP, 2013).

A partir disso, o ARSM passou a ser estruturado em áreas de implantação, que são espaços destinados à deposição dos resíduos sólidos por um período determinado, até que ocorra a impossibilidade de aterramento dos resíduos sólidos. Essas áreas são formadas por camadas celulares que aparecem em forma de degraus, as quais possuem 75 cm de largura, e tem o objetivo de “quebrar a gravidade”, ou o efeito dela através da chuva, diminuindo danos do escoamento superficial (Figura 2).



Figura 2 - Células de implantação em formato de degraus no ARSM.
Fonte: Trabalho de Campo (2022).

Além das áreas de implantação, o aterro possui outros tipos de uso da terra, como: lagoas de precipitação, área de compostagem, usina de queima de gás e áreas de estacionamento e sedes. A seguir, o mapa mostrará a estrutura do aterro, a partir dos usos da terra identificados no trabalho de campo (Figura 3).



Figura 3 - Mapa de usos e áreas no ARSM.
Fonte: Souza (2022).

Os tópicos a seguir apresentarão a classificação dos tipos de terrenos antropogênicos e do relevo formado a partir desses depósitos identificados no ARSM, bem como uma classificação

geomorfológica que leve em consideração produções antropogênicas e a formação de feições de relevo, como se fossem produzidas a partir do tempo que se escoa (tempo geológico), ou seja, de forma natural (Suertegaray e Nunes, 2001).

Classificação dos terrenos tecnogênicos do ARSM

A classificação dos terrenos tecnogênicos (antropogênicos) foi realizada a partir da estruturação do aterro e utilizou a taxonomia desenvolvida por Peloggia (2017). Com base nisso, o ARSM apresenta dois tipos de terrenos antropogênicos: Terrenos Produzidos (Aterrados) e Terrenos Escavados. Esses terrenos encontram-se nas classes Terrenos Tecnogênicos de Agradação e Terrenos Tecnogênicos de Degradção, respectivamente, conforme mostra o mapa a seguir (Figura 4):

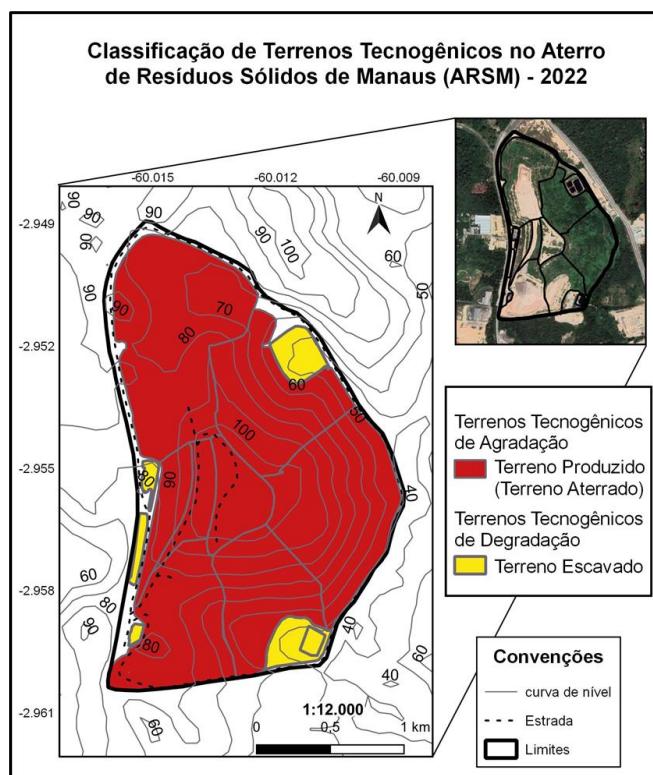


Figura 4 - Mapeamento dos terrenos tecnogênicos do ARSM.

Fonte: Souza (2022).

O maciço principal e as outras áreas de implantação (2-7), por serem resultado de aterramento, seja de forma controlada ou descontrolado, apresentam terrenos antropogênicos de agradação (Tabela 3), que sofreram acréscimo nas cotas de seu relevo a partir do processo de aterramento, formando modelados elevados que podem ser notados há quilômetros de distância, devido a sua altimetria em relação ao entorno.

Tabela 3 - Terrenos tecnogênicos do ARSM.

| Uso e áreas de implantações do ARSM | Classe | Categoria Geológica | Tipo | Camada ou feição tecnogênica |
|---|------------------------------------|--------------------------|----------------------------|------------------------------------|
| Maciço Principal | Terreno Antropogênico de Agradação | Depósitos Antropogênicos | Terreno Produzido/Aterrado | Depósitos tecnogênicos construídos |
| Áreas de Implantação (2-7) | Terreno Antropogênico de Agradação | Depósitos Antropogênicos | Terreno Produzido/Aterrado | Depósitos tecnogênicos construídos |
| Lagoas de Precipitação Sul e Nordeste | Terreno Tecnogênico de Degradação | Substrato Exposto | Terreno de Escavação | Superfícies de escavação |
| Área de Compostagem | Terreno Tecnogênico de Degradação | Substrato Exposto | Terreno de Escavação | Superfícies de escavação |
| Entrada, Estacionamento, Sedes e Usina de queima de gás | Terreno Tecnogênico de Degradação | Substrato Exposto | Terreno de Escavação | Superfícies de escavação |

Fonte: Souza (2022).

Os materiais que compõem o maciço principal e as áreas de implantação são formados por entulhos e dendritos urbanos em geral (úrbicos). Esses materiais são acomodados no relevo em forma de estruturas celulares (porções justapostas constituídas por matérias distintas), assim, a estratigrafia deste relevo pode ser classificada como: facéis úrbicas-celulares (Figura 5).



Figura 5 - Estratigrafia facéis úrbicas-celulares do ARSM.

Fonte: Trabalho de Campo (2022).

As lagoas de precipitação, a área de compostagem, a usina de produção de gás e a área de estacionamento são classificados como terrenos antropogênicos de degradação (Tabela 3). Essas áreas foram escavadas para instalação de estruturas à manutenção do Aterro. Um exemplo é a lagoa de precipitação, destinada ao descarte dos líquidos produzidos pela decomposição dos resíduos sólidos – o chorume -.

Classificação do relevo antropogênico e das formas naturais do ARSM

Os terrenos tecnogênicos (antropogênicos) dão base para formação e principalmente modelagem das formas de relevo. Para classificação do relevo do Aterro, utilizou-se a taxonomia desenvolvida por Peloggia et al. (2014), onde os autores classificam o relevo tecnogênico (antropogênico) a partir de três unidades: paisagens tecnogênicas; compartimentos de modelados tecnogênicos; tipos de formas de relevos tecnogênicos e superfícies geomórficas relacionadas.

Conforme os conceitos e critérios estabelecidos pelos autores da taxonomia (Peloggia et al., 2014), Souza (2022) classificou o relevo do ARSM como compartimentos de modelados tecnogênicos, pois as formas de relevo tecnogênicos presentes no aterro estão associados aos compartimentos do relevo natural (base).

Conceptualmente, a taxonomia de Peloggia et al. (2014) destaca, em geral, que os aterros podem ser identificados na unidade tipos de formas de relevo tecnogênicas e superfícies geomórficas relacionadas, porém, no caso do ARSM, este relevo não se formou sobre um modelado tecnogênico, mas sobre um relevo natural, mantendo algumas características do seu modelado de origem (Souza, 2022).

O aterro foi construído sob um relevo de colinas com topos tabulares (Santos et al., 2006), e por conta do processo de aterramento, manteve a sua característica de topo tabular, porém, devido acréscimo nas cotas do relevo ocasionado pelas células de implantação de resíduos sólidos, o relevo que antes era colina, agora, com quase 40 anos de atividade, pode ser classificado como morro com topos planos e vertentes patamares – as células de implantação formam degraus -, formado por camadas úrbicas- celulares (Figura 6) (Souza, 2022).

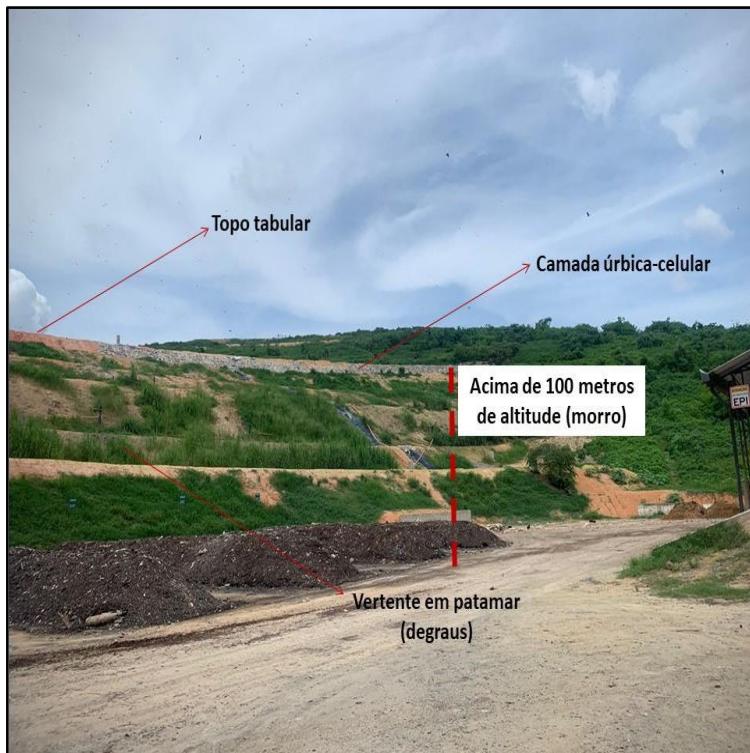


Figura 6 - Elementos geomorfológicos de classificação do relevo tecnogênico do ARSM.
Fonte: Trabalho de Campo (2022).

Para analisar essa mudança entre colina e morro, utilizou-se a classificação apresentada por Florenzano (2008). A autora considera que as colinas são baixas elevações com topos arredondados a quase planos, entre 20 metros e 60 metros de altitude e pouco declividade. O ARSM foi construído sobre uma colina com aproximadamente 50 metros de altitude com topo aplaniado na década de 1980 e, após quase 40 anos de atividades, o relevo teve um acréscimo de aproximadamente 66 metros, com cota máxima em torno de 116 metros, como revelam os dados de radar do Coopérnico DEM, assim, tornando-se um morro com topos tabulares devido ao processo de aterramento em células de implantação, embora essa configuração não corresponda, originalmente, às características típicas das formas de morros.

Apesar dos dados do radar Coopérnico DEM mostrarem que o aterro apresenta cota máxima de 116 metros de altitude (2013), conforme o responsável pela visita técnica ao Aterro, o maciço principal (primeira área de implantação e resultado do período em que os resíduos sólidos eram depositados sem controle) pode chegar até 143 metros (Figura 7), conforme as medições topográficas realizadas no local pelas empresas responsáveis pela administração do ARSM. Essa diferença de altimetria entre os dados de radar e os dados topografia devem ocorrer devido a diferença entre a resolução espacial e temporal das obtenções de dados: enquanto os dados do radar são de 2013 e sua resolução espacial é 10 metros, os dados obtidos de topografia são mais recentes, obtidos pelos menos

uma vez ao ano, e sua resolução espacial é de menos 1 metros, conforme o responsável técnico pelo aterro.



Figura 7 - Vista do Maciço Principal, a ponta mais alta do ARSM: a) Vista do ponto mais alto do aterro, no fundo a cidade de Manaus; b) Vista do maciço de um dos pontos mais baixos do aterro.
Fonte: Trabalho de Campo (2022).

Independentemente dos dados de radar ou de topografia, há uma mudança substancial na altimetria do relevo, que passou de colina para morro, o que demonstra a capacidade do ser humano de transformação e neoformação da paisagem. A formação de uma paisagem tecnogênica, que é o caso do relevo do Aterro, ocorre no denominado “tempo que se faz” (Suertegaray e Nunes, 2001), que corresponde ao período do tempo histórico, ou seja, do tempo humano, por meio do desenvolvimento tecnológico, o ser humano intervém na paisagem causando alterações, sejam de agradação ou degradação, neste caso, sobretudo de agradação.

Assim, os terrenos tecnogênicos que compõem o relevo antropogênico podem ser compreendidos como registros e heranças de um tipo particular de agenciamento humano, correspondente ao modo como os seres humanos colocam em prática sua capacidade de criar formas de relevo (Peloggia, 2018).

Pensar o relevo do aterro como um registro ou herança do modo de vida metropolitano em Manaus e das relações que ocorrem em seu espaço geográfico remete às considerações de Milton Santos (2004). O autor destaca que o espaço geográfico apresenta rugosidades, ou seja, paisagens resultantes da produção do espaço geográfico no passado, que ficam cristalizadas ou marcadas na cidade, servindo de testemunhos de determinados períodos históricos. Essa concepção aplica-se ao aterro, uma vez que cada camada — as chamadas “células de implantação” — cristalizada no relevo do ARSM, representa um período específico de deposição de resíduos sólidos da metrópole Manaus.

Trata-se, portanto, de um momento produtivo registrado na paisagem tecnogênica, que expressa materialmente as dinâmicas sociais e espaciais da cidade.

Considerações finais

O relevo do Aterro de Resíduos Sólidos de Manaus (ARSM) é resultado dos depósitos ou terrenos tecnogênicos oriundo da deposição de resíduos sólidos urbanos, seja de forma “descontrolada” (na perspectiva do planejamento territorial do Estado), quando as atividades na área iniciaram-se a partir de uma lixão à céu aberto (1986-2005), ou seja de forma controlada, quando a Prefeitura de Manaus, por meio da SEMULSP (Secretaria de Municipal de Limpeza Pública) tornou a área um aterro controlado (2006-2028).

Os terrenos tecnogênicos (antropogênicos) encontrados no aterro são classificados como terrenos tecnogênicos de agradação (o maciço principal e as outras áreas de implantação), aquelas áreas produzidas por aterramento, e como terrenos tecnogênicos de degradação (as lagoas de precipitação, área de compostagem, usina de queima de biogás e estacionamento e sedes), aquelas áreas que foram escavadas para construção de infraestruturas necessárias para manutenção do aterro.

O relevo antropogênico formado pelos terrenos tecnogênicos, conforme a taxonomia tecnogênica, pode ser classificada como compartimento de modelado tecnogênico, pois o modelado tecnogênico está associado ao compartimento de relevo natural, pois o aterro foi construído sobre uma colina com topo aplinado, e com processo de aterramento de resíduos sólidos na área, se manteve sua característica de topo tabular, mas agora com um acréscimo na altimetria do relevo, devido a construção de células de implantação que formam degraus compostos por matérias úrbicos (resíduos sólidos) nas vertentes do relevo (úrbico-celular).

Durante o processo de atividades do aterro, de acordo com a classificação de macroformas, o relevo que foi construído sobre uma colina, após quase 40 anos de atividades, transformou-se em um morro, porém, preservando a característica de topo tabular. Essa mudança significativa no relevo em pouco tempo (tempo que se faz), evidencia a capacidade do ser humano de causar transformações imediatas na superfície, deixando sua marca registrada na terra.

Com base nas informações observadas, podemos classificar o relevo do ARSM como compartimento de modelado tecnogênico que apresenta morro com topo tabular e vertentes em patamares, formado por camadas úrbicas-celulares.

Referências

- CPRM. **Diagnóstico e Avaliação da contaminação dos recursos hídricos na área do entorno do Aterro Sanitário de Manaus (AM)**. Manaus: CPRM, 2006. p. (92).
- FRORENZANO, Teresa. **Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais**. São Paulo (SP): Oficina de Textos, 2008. p. (320).
- FRANÇA JUNIOR, Pedro.; PELOGGIA, Alex Ubiratan Goossens Os conceitos de antropoceno e tecnógeno e o estudo da humanidade como agente geomorfológico. In: FRANÇA JUNIOR, Pedro. (org.). **Geomorfologia do tecnógeno e antropoceno: perspectivas teóricas e estudos aplicados em ambientes urbanos**. Ituiutaba (MG): Barlavento, 2020, p. (16-35).
- LIBAULT, André. Os quatro níveis da pesquisa geográfica. **Revista Método em questão**, São Paulo (SP), v. 1, n. 1, p. 1 - 23, 1971.
- PELOGGIA, Alex Ubiratan Goossens. A cidade, as vertentes e as várzeas: A transformação do relevo pela ação do homem no município de São Paulo. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo (SP). 16, n. 1, p. 24-31, 2005.
- _____.; SILVA, Érika Cristina Nesta; NUNES, João Osvaldo Rodrigues. Technogenic landforms: conceptual framework and application to geomorphologic mapping of artificial ground and landscape as transformed by human geological action. **Quaternary and Environmental Geosciences** Curitiba (PR), v.5, n.2, p. 67-81, 2014.
- _____. O que produzimos sobre nossos pés? Uma revisão comparativa dos conceitos fundamentais referentes a solos e terrenos antropogênicos. **Revista UNG - Geociências**, Guarulhos (SP), v. 16, n. 1, p. 102-127, 2017.
- _____. Os registros geológicos da agência humana como categoria temática de patrimônio. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO E HISTÓRIA DE CIÊNCIAS DA TERRA, Campinas (SP), 2018. **Anais: VIII Simpósio Nacional de Ensino e História de Ciências da Terra**. Campinas, São Paulo, Julho de 2018.
- ROSS, Jurandyr. Luciano Sanches. Registro cartográfico dos fatos geomorficos e a questão da taxonomia do relevo. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo (SP). v. 6, n. 6, p. 17-29, 1992.
- SANTOS, Milton. **Por uma Geografia Nova: Da Crítica da Geografia a uma Geografia Crítica**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2004. p. (288).
- SANTOS, Izaias Nascimento dos; HORBE, Adriana Maria Coimbra; SILVA, Maria do Socorro Rocha da; MIRANDA, Sebastião Átila Fonseca. Influência de um aterro sanitário e de efluentes domésticos nas águas superficiais do Rio Tarumã e afluentes-AM. **Acta Amazônica**, Manaus (AM), v. 36, n. 2, p. 229-236, 2006.
- SEMULSP. **Gerenciamento de Resíduos Sólidos da Cidade de Manaus no ano de 2013**. Prefeitura de Manaus, AM, 2013.
- SOUZA, Danielson Pereira. **A Construção do relevo antropogênico no aterro de resíduos sólidos de Manaus**. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal do Amazonas, Manaus (AM), 2022. 111 f.

SUERTEGARAY, Dirce Maria Antunes; NUNES, João Osvaldo Rodrigues. A natureza da Geografia Física na Geografia. **Revista Terra Livre**, São Paulo (SP), v. 2, n. 17, p. 11-24, 2001.

TER-STEPANIAN, George. Beginning of the Technogene. **Bulletin of the International Association of Engineering Geology-Bulletin de l'Association Internationale de Géologie de l'Ingénieur**, Paris, France, v. 38, n. 1, p. 133-142, 1988.

VITORINO, José Carlos; ANDRADE, Marcio Roberto Magalhães de; PELOGGIA, Alex Ubiratan Goossens; SAAD, Antonio Roberto; OLIVEIRA, Antonio Manoel dos Santos. Terrenos tecnogênicos do Jardim Fortaleza, Bacia Hidrográfica do Córrego do Entulho, Guarulhos (SP): Mapeamento geológico, estratigrafia, geomorfologia e arqueologia da paisagem. **Revista UNG (Universidade de Guarulhos)**, Guarulhos (SP), v.15, n. 2, p. 33-60, 2016.

WILKINSON, Bruce; MCELROY, Brandon. The impact of humans on continental erosion and sedimentation. **Geological Society of America Bulletin**, University of Texas, Austin, Texas, USA, v. 119, n. 1-2, p. 140-156, 2007.