

63

Fecha de presentación: enero, 2023

Fecha de aceptación: marzo, 2023

Fecha de publicación: mayo, 2023

DESENHO

DE CONCRETOS ASFÁLTICOS A PARTIR DE CORTES DE PERFURAÇÃO DE PETRÓLEO IMPREGNADOS EM DIESEL (OBM)

DISEÑO DE HORMIGONES ASFÁLTICOS A PARTIR DE CORTES DE PERFORACIÓN PETROLERA IMPREGNADOS EN DIÉSEL (OBM)

Maria Regla Soroa Bell¹

E-mail: resobell@ceinpet.cupet.cu

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0638-0943>

Yuletsis Diaz Rodríguez¹

E-mail: yuletsis@ceinpet.cupet.cu

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0705-1439>

Erenio González Suárez²

E-mail: erenio@uclv.edu.cu

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5741-8959>

Divaldo Valente Soroa³

E-mail: dvalentes@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2232-1158>

¹CEINPET- Centro de Investigação em Petróleo. Cuba.

²Universidade Central "Martha Abreu". Cuba.

³CERIS-Instituto Superior Técnico de Lisboa. Portugal.

Cita sugerida (APA, séptima edición)

Soroa-Bell, M. R., Diaz-Rodríguez, Y., González-Suárez, E., Valente-Soroa, D. (2023). Desenho de concretos asfálticos a partir de cortes de perfuração de petróleo impregnados em diesel. *Universidade y Sociedad*, 15(3), 648-658.

RESUMO

A introdução do fluido à base de diesel (OBM) nas perfurações petrolíferas cubanas foi a solução para enormes gastos devido à perda de ferramentas, danos a jazidas e outros problemas que ocorriam quando se utilizava apenas fluido aquoso durante a perfuração de petróleo em áreas geológicas complexas. Porém; tanto os custos iniciais quanto o risco de afetar o ecossistema são muito altos. Por isso, é fundamental tratar adequadamente o corte que surge na superfície impregnada com diesel e garantir um destino final seguro para os mesmos. A introdução do conceito de economia circular permitiu demonstrar que é possível valorizar resíduos de perfuração para o fabrico de betão asfáltico, como subbase em misturas asfálticas para estradas. Os resultados mostram que a cadeia produtiva garante a destinação final segura de um resíduo poluente e economiza a produção de concreto asfáltico. A solução para o destino dos cortes garante a continuidade da extração de petróleo cubana.

Palavras-chave: cortes de perfuração, concreto asfáltico, economia circular, cadeia produtiva

RESUMEN

La introducción del fluido base diésel (OBM) en la perforación petrolera cubana fue la solución ante enormes gastos por pérdidas de herramientas, prejuicios a los yacimientos y otros problemas que acontecían cuando se empleaba solo fluido acuoso durante la perforación petrolera en zonas geológicas complejas. Sin embargo; tanto los costos iniciales como el riesgo de afectación al ecosistema son muy elevados. Por ello, es crucial tratar adecuadamente el corte que emerge a la superficie impregnado de diésel y garantizar un destino final seguro a los mismos. La introducción del concepto de economía circular permitió demostrar que es posible valorizar el residuo de perforación para la fabricación de hormigones asfálticos, como subbases en mezclas asfálticas para carreteras. Los resultados demuestran que el encadenamiento productivo garantiza la disposición final segura de un residuo contaminante y economiza la producción de hormigones asfálticos. La solución al destino de los cortes garantiza la continuidad de la perforación petrolera cubana.

Palabras clave: cortes de perforación, hormigón asfáltico, economía circular, encadenamiento productivo

ABSTRACT

The introduction of the diesel base fluid (OBM) in Cuban oil drilling was the solution to enormous expenses due to loss of tools, damage to the reservoirs and other problems that occurred when only aqueous fluid was used during oil drilling in complex geological zones. However, both the initial costs and the risk of affecting the ecosystem are very high. It is therefore crucial to properly treat the cuttings that emerge to the surface impregnated with diesel and to guarantee a safe final destination for them. The introduction of the circular economy concept made it possible to demonstrate that it is possible to valorize drilling waste for the manufacture of asphalt concretes, as sub-bases in asphalt mixtures for roads. The results show that the production chain guarantees the safe final disposal of a polluting waste and economizes the production of asphalt concrete. The solution to the destination of the cuttings guarantees the continuity of Cuban oil drilling.

Keywords: drill cuttings, asphalt concrete, circular economy, production chain.

INTRODUÇÃO

Proteger o reservatório de danos que possam afetar a produção é muito importante. Portanto, é necessário reduzir a porosidade ou permeabilidade natural de uma formação. Daí a necessidade de perfurar formações com alto teor de rochas argilosas com um fluido de perfuração que mantenha as paredes do poço estáveis. Como as rochas argilosas têm a condição de se hidratar ou inchar ao entrar em contato com a água, algumas empresas de petróleo usam fluido à base de óleo (OBM) na presença de tais rochas para atravessar com sucesso formações geológicas complexas (Wu et al., 2022). O referido fluido constitui uma emulsão inversa, que contém água como fase dispersa e óleo como fase contínua, podendo conter até 40% de água na forma dispersa e emulsificada dentro de um filme contínuo de óleo, o que proporciona inibição adicional contra essas rochas hidratáveis.

Durante os últimos cinco anos, o Centro de Pesquisas de Petróleo, por sua sigla CEINPET, concentrou seu interesse em encontrar soluções para a disposição final e segura de resíduos/cortes gerados durante a perfuração de petróleo com fluido OBM (Soroa et al., 2021). Sabendo que a fase contínua do fluido OBM é o diesel, destaca-se a necessidade de garantir o fechamento do ciclo para esses resíduos poluentes que são gerados em localidades litorâneas (Njuguna et al., 2022).

A economia circular é um modelo de produção e consumo que envolve compartilhar, alugar, reutilizar, reparar, renovar e reciclar materiais e produtos existentes tantas

vezes quanto possível para criar valor agregado. Dessa forma, o ciclo de vida dos produtos é estendido.

Uma das razões para avançar para uma economia circular é o aumento da procura de matérias-primas e a escassez de recursos. Várias matérias-primas cruciais são finitas e a população mundial está crescendo, então a demanda também está aumentando.

O impacto no clima é outro motivo que chama a pensar na economia circular. A extração e utilização de matérias-primas têm consequências ambientais significativas, aumentando o consumo de energia e as emissões de dióxido de carbono (CO₂), pelo que uma utilização mais inteligente das matérias-primas permite uma redução significativa das emissões poluentes.

Atualmente, devido à constante evolução da construção civil, são produzidas toneladas de resíduos sólidos decorrentes de demolições, reformas e novas construções que geram resíduos sem destinação final adequada. Causam poluição ambiental, além do uso indiscriminado de recursos naturais não renováveis. Com o objetivo de preservar o meio ambiente, conservar os recursos naturais, reduzir custos e fazer uso racional da energia, diversos países são gestores da reciclagem e reaproveitamento de resíduos da Construção e Demolição (Piñeros & Herrera, 2021).

A construção de rodovias é uma das atividades mais realizadas na construção civil, que tem um importante consumo de recursos naturais; especificamente, na fabricação de misturas asfálticas são utilizadas grandes quantidades de agregados. Estes agregados provêm majoritariamente da exploração de pedreiras onde provocam deterioração ambiental, bem como custos econômicos e energéticos significativos.

Como consequência deste fato, novas técnicas são criadas nas quais os resíduos são usados como substitutos dos agregados naturais. Com esta operação existem grandes vantagens para a utilização de resíduos como substituição parcial ou total do agregado natural, uma vez que as estradas, para além de se tornarem uma área potencial para a reutilização de resíduos, também favorecem a redução dos impactes ambientais associados à exploração de pedreiras e transporte de agregados.

Em países como Bélgica, Dinamarca e Holanda, o apoio à reciclagem é reconhecido por sua ampla abrangência, com mais de 75% em resíduos. Outros países, como Reino Unido ou Áustria, seguem a tendência de reciclagem com uma porcentagem de aproximadamente 40% (Piñeros & Herrera, 2021).

Da mesma forma, na Espanha, não com uma alta porcentagem de reciclagem, mas muito útil e importante, há 15% de reciclagem de entulhos e resíduos gerados pela construção e demolição. Uma porcentagem considerável desses 15% é comercializada para reaproveitamento na construção de estradas como bases ou sub-bases, e o restante é utilizado para preenchimento ou recuperação de espaços degradados.

Este trabalho tem como objetivo a otimização de projetos de concreto asfáltico com a utilização de cortes de perfuração gerados ao utilizar fluido OBM (base diesel), em perfuração de petróleo. Pretende-se, desta forma, dar um destino final a estes resíduos perigosos gerados nas localidades costeiras e garantir matéria-prima para outros processos produtivos da construção, como a ação contra os buracos das estradas.

MATERIAIS E MÉTODOS

Descrição litológica das áreas em que o fluido OBM é usado

Para a realização deste trabalho, foi levada em consideração a descrição feita nos relatórios finais de cada poço perfurado com fluido OBM, onde é evidenciado o percentual de rochas por formação presentes no corte geológico. Foram levados em consideração os relatórios diários fornecidos pelas diferentes empresas (Directional, Company Man, Mudlogging, Drilling fluids) que trabalham em conjunto com os geólogos de poços. Existe uma unidade responsável pela recolha, processamento, embalagem e conservação das coleções de amostras geológicas.

Para definir a litologia presente, avaliam-se os cortes de perfuração. Para isso, utiliza-se o microscópio, materiais acessórios como pinças e agulhas com as quais se determina a dureza da rocha e um forno (microondas) para secagem das amostras. O ácido clorídrico (HCl) é usado para definir a presença de carbonatos no momento da descoberta do reservatório.

Caracterizações dos cortes (armazenados?)

As amostras foram identificadas com base em suas características físicas, teor de diesel e processo onde são obtidas. Neste caso, é definido como: corte a seco na saída do secador (com maior diâmetro de argila e menor teor de diesel) e corte úmido na centrífuga (com menor diâmetro de argila e maior teor de diesel). Foram realizadas análises como: umidade pH, condutividade elétrica (NC 32, 2009; APHA 5520-D, 2017).

Tabela 1. Identificação das amostras

Data	Amostra
02/11/2022	Piscina de resíduos secos
02/11/2022	Piscina de resíduos - corte úmido centrífuga 1
02/11/2022	Piscina de resíduos - corte úmido centrífuga 2

Fonte: auto feito

Os resultados das amostras obtidas nas etapas anteriores foram utilizados para comparação com os resultados das amostras analisadas em novembro.

Realizações de projetos de concreto asfáltico

Para o desenvolvimento da investigação, foram retiradas amostras de cascalhos de perfuração armazenados nas poças residuais das esplanadas de poços e gerados durante o processo de perfuração de petróleo com OBM.

Todos os ensaios foram realizados na Empresa de Investigação Aplicada à Construção (ENIA). Esses testes tiveram como objetivo avaliar a relação de mistura ideal para a confecção de camadas asfálticas com materiais residuais (Imagem 1), entre eles os cortes de canhoneio, em substituição aos agregados extraídos de pedreiras e aditivos ligantes (corte úmido). Como agregados foram utilizados entulho moído e granalha de aço residual, este último resíduo do processo de granalhagem na preparação de superfícies metálicas para limpeza e pintura de tanques de armazenamento de combustível, bem como o resultante da reparação de navios.

Ao final do processo de limpeza da superfície metálica, a granalha pode causar riscos à saúde com exposição prolongada a ambientes com alta concentração de poeira. A poeira é gerada pelo desgaste do abrasivo e pelas partículas provenientes da peça jateada. A utilização de granalha visa dar maior densidade ao concreto asfáltico devido ao seu peso específico e resistência.

Para a realização dos testes foram confeccionados sete provetas com corte seco e seis com corte úmido, todos de 1200 g com diferentes proporções dos resíduos utilizados. Os referidos materiais foram pesados, misturados e transferidos para o martelo compactador. Nela, adiciona-se 600 g de mistura e realizam-se 40 golpes, depois introduzem-se os outros 600 g e repete-se a ação, fazendo 40 golpes a cada camada para obter a compactação total do material. Ao final desse processo, o corpo de prova é transferido para o raspador para extraí-lo do molde.

Uma vez extraídos as provetas, estes são pesados, mede-se a altura e calcula-se a densidade pelo método gravimétrico (NC 261, 2005), através da equação 1. O

resultado deve ser superior a 2,33 g/cm³ conforme especificado no padrão de referência.

$$D_A \frac{A}{\pi \left(\frac{d}{2}\right)^2 * h} \quad (1)$$

Onde:

A: é o peso do provete compactado

D: o diâmetro do molde do espécime = 10 cm

h: a altura do espécime (cm)

Para realizar o CBR (capacidade de suporte ou razão de resistência), ambos os cortes (seco e úmido) foram manuseados juntamente com granalha e agregados moídos (resíduos de entulho). Para isso, foram preparadas quatro provetas com diferentes proporções de materiais, todos com massa de 6 000 g.

Os referidos materiais foram pesados separadamente, em seguida misturados e levados ao fiscal. Para este teste, um solo com um determinado teor de umidade é colocado em cinco camadas em um molde de determinadas dimensões (molde de 4 pol.), com cada camada compactada a 25 golpes de um martelo de 5,50 lbf (24,47 N)) e a uma altura de queda de 12 polegadas (304,8 mm), sujeitando o solo a uma tensão de compactação total de aproximadamente 12.400 ft-lbf/ft³ (600 kN-m/m³). O peso unitário seco resultante é determinado. O procedimento é repetido para um número suficiente de teores de umidade para estabelecer uma relação entre o peso específico seco e o teor de umidade do solo. Esses dados, quando plotados, representam uma relação curvilínea conhecida como curva de compactação. Os valores para teor de umidade ideal e peso unitário seco máximo padrão são determinados a partir da curva de compactação.

Posteriormente, o proctor modificado é realizado para determinar o CBR. Ao final, é levado ao escarnador de provetas para obtenção de amostras do mesmo, que são introduzidas em algumas taras filtrantes para pesagem e depois levadas ao forno onde são mantidas por 24 horas. Após esse tempo, eles são pesados novamente para determinar a umidade das provetas.

O padrão ASTM D698-12, 2015 foi usado para determinar as características de compactação do solo em laboratório usando esforço padrão (12.400 ft-lbf/ft³ (600 kN-m / m³)), assim seis provetas foram preparadas. Foi desenvolvido o teste de estresse modificado, também conhecido como Modified Proctor Compaction Test pela norma ASTM D1557-12ε1, 2015, para o qual foram utilizados 5 corpos de prova.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Descrições litológica das áreas em que o fluido OBM é utilizado

A impossibilidade de encontrar uma disposição final segura para os cortes de perfuração gerados desde 2018, é a causa dos grandes volumes desse resíduo acumulado na esplanada do campo de petróleo em que o fluido OBM é usado atualmente. Os resultados detalham as características litológicas de cada zona perfurada durante a trajetória da corda e da broca no processo de perfuração.

Estudos geológicos mostram que existem altas porcentagens de compostos litológicos compostos de calcário e argila (Figura 1), área que foi perfurada com fluido OBM no intervalo de 325-5818 (5493 m).

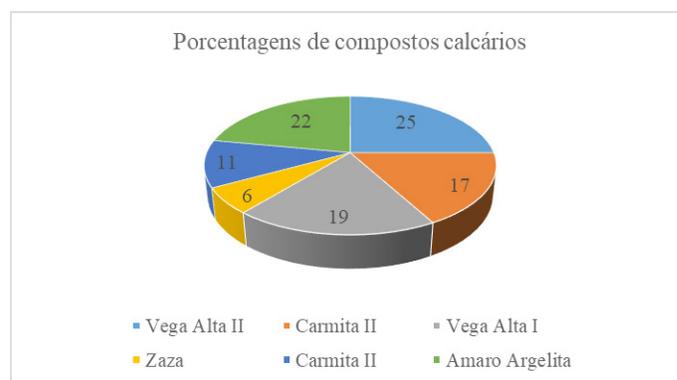


Figura 1. Materiais argilosos de acordo com a formação, experiências dos poços. Fonte: auto feito

A grande quantidade de rochas calcárias e argilas que fazem parte desses cortes ou resíduos Martogi et al., (2022), presentes na esplanada do poço podem constituir a substituição de matérias-primas ou insumos utilizados em diferentes processos produtivos que a indústria da construção demanda, sejam menos poluentes ou gerem menor impacto ambiental do que os gerados pela extração de agregados de pedreiras (Piñeros & Herrera, 2021).

No oeste de Cuba, 68% da produção de agregados provém de depósitos de calcário, o que permite uma ampla margem de aplicação de emulsões aniônicas (Herrera, 2021). Levando em conta que a litologia cárstica predomina nos poços perfurados, todo o material que aparece na superfície se classifica para ser valorizado nos processos de concretagem.

A imagen (foto 1) mostra o tipo de rocha que emerge à superfície e sua forma, que atendem aos requisitos colocados por Herrera de la Rosa (2021) quando diz: em geral o agregado mineral para ser usado em um asfalto a

pasta de vedação deve ser proveniente do esmagamento da rocha, os grãos devem ser duros, limpos, com superfície rugosa e angular.

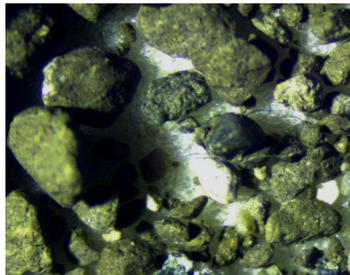


Imagem 1: Rocha calcário, creme, argiloso; arenito polimítico, cinza com matriz argilosa; serpentina maciça, verde escura.

Na sequência oligóico-melange (1495-2260mMD), Formação Vega Alta (2585-2650mMD) e Formação Carmita II (2650-2920mMD), emergem à superfície rochas serpentinitas, verde escuro, verde claro, preto, maciço e alguns alterados; calcário branco, cinza claro, franco, cristalino em partes, duro, friável. Argila preta, siltosa, friável, argila físsil

Em Cuba, para a produção de asfalto e concretos hidráulicos, há um déficit de areias de fração fina (0-5 mm), déficit que pode ser coberto pelos cortes de perfuração que emergem à superfície.

Herrera de la Rosa (2021), afirma que conhecer a natureza das rochas das jazidas em exploração na região oeste de Cuba é muito importante para a seleção do tipo de emulsão asfáltica a ser utilizada. Como existem vários tipos de emulsões, os agregados a serem utilizados devem ter uma clara afinidade com a emulsão em questão. As regras clássicas indicam o uso de agregado de calcário para emulsão aniônica e agregado de silício para emulsão catiônica, embora o uso de aditivos e a natureza complexa das pastas façam com que essa definição seja usada apenas como uma primeira aproximação, exigindo outros testes laboratoriais de comportamento o rejunte para definir esse aspecto.

A característica específica da argila é a coesão ou resistência coesiva que aumenta com a diminuição da umidade. É difícil compactar quando molhado e impossível drenar por métodos comuns. Compactado, é resistente à erosão e à tubificação. Está sujeito a expansão e retração com mudanças na umidade e com a atividade dos argilo-minerais que o compõem.

Herrera (2021) também conclui que nenhum dos agregados que são comercializados pela indústria de materiais em Cuba, permite obter o rejunte ISSA tipo I, para o qual

é necessário o uso de moedores para obter o tamanho máximo de 2 mm necessário. Tudo isso potencializa o aproveitamento dos cascalhos da perfuração de petróleo que emergem à superfície, no processo de produção do concreto asfáltico. Desta forma estaríamos introduzindo o conceito de economia circular (EC) na produção dos referidos concretos.

A EC é um conceito econômico que se inter-relaciona com a sustentabilidade, baseado no princípio de “fechar o ciclo de vida” de produtos, serviços, resíduos, materiais, água e energia (Ghisellini et al., 2016; Geissdoerfer et al., 2017; Winans et al., 2017; Pomponi et al., 2017), fornecendo sistemas que são regenerativos construídos especificamente para proteger o valor de recursos naturais não renováveis, produtos e limitar exponencialmente os insumos de matérias-primas e energia para que a economia possa ser mais sustentável e reduzir seu impacto ambiental negativo, melhorando a gestão de recursos e reduzindo a extração e a poluição. EC é um conceito econômico que está inter-relacionado com a sustentabilidade, baseado no princípio de “fechar o ciclo de vida” de produtos, serviços, resíduos, materiais, água e energia (Ghisellini et al., 2016; Geissdoerfer et al., 2017; Winans et al., 2017; Pomponi et al., 2017), fornecendo sistemas que são regenerativos a partir de sua finalidade de proteger o valor de recursos naturais não renováveis, produtos e limitar, exponencialmente, insumos de matéria-prima e energia para que a economia possa ser mais sustentável e reduzir seu impacto ambiental negativo, melhorando a gestão de recursos e reduzindo a extração e a poluição.

Em Cuba, o conceito de EC é relativamente novo, não foram encontradas muitas publicações científicas relevantes, nem iniciativas públicas com uma abordagem abrangente do conceito (Acosta et al., 2020). Ou seja, promover a adaptação dos processos de negócio, desde a própria concepção dos produtos/serviços. É por isso que se considera muito importante, para além deste trabalho de investigação, a contextualização do conceito ao caso específico da produção de betão asfáltico ou melhor na indústria da construção para promover o desenvolvimento da EC no quadro da sustentabilidade.

Caracterizações dos cortes armazenados.

Desde o início da perfuração de petróleo com fluido OBM em 2017, a atenção e caracterização dos cortes residuais gerados tem sido uma preocupação da União Cubapetróleo (Figura 2 a e b), porque embora seja verdade que sua viabilidade técnica econômica foi demonstrada, dada a presença de argilas reativas a fluidos aquosos, também é verdade que os volumes de cortes gerados excedem a capacidade de armazenamento e

são altamente perigosos. Sabendo do anterior e tendo em conta a legislação ambiental cubana, segue-se rigorosamente a caracterização e disposição segura de ditos resíduos.

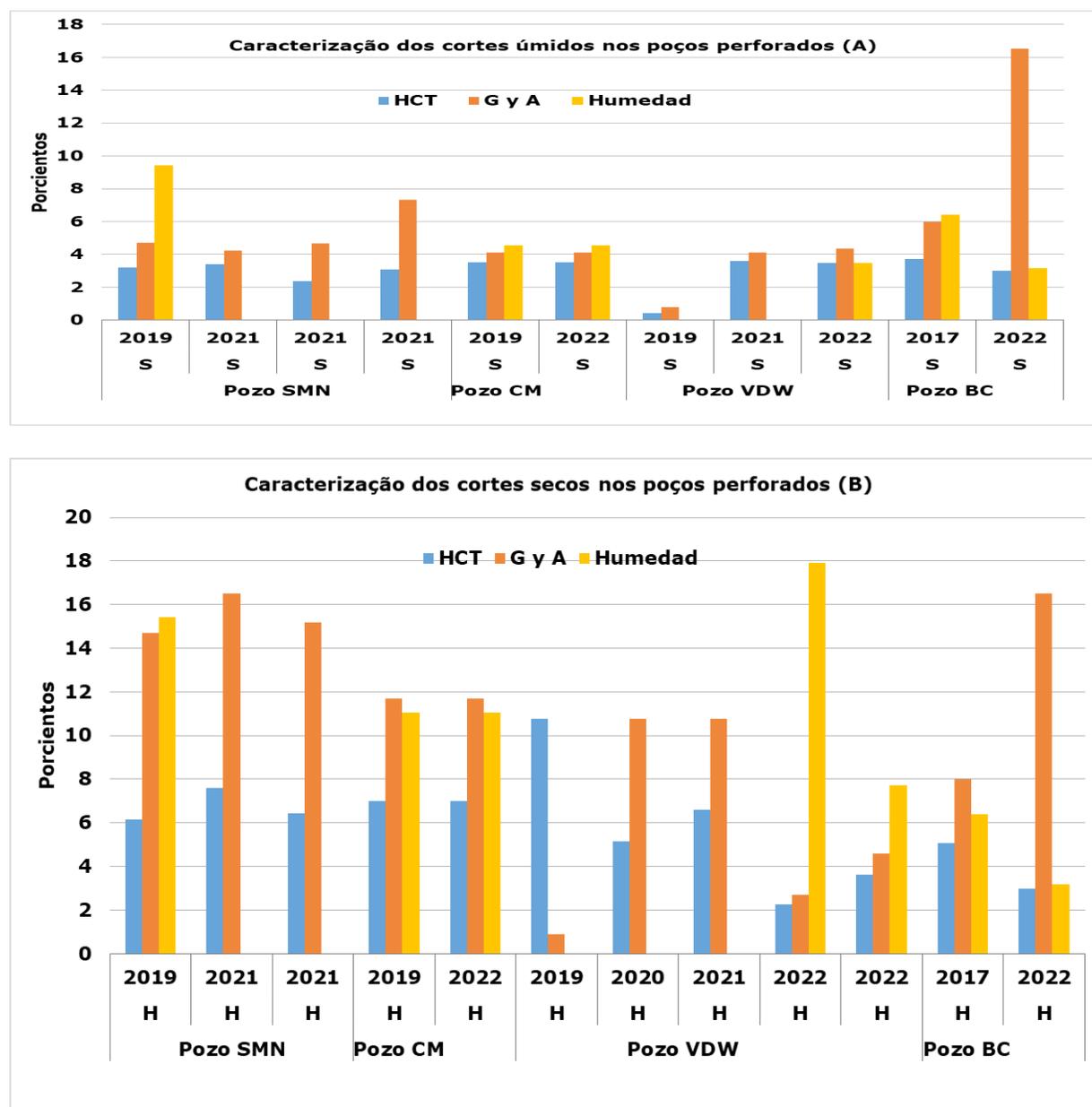


Figura 2: Resultados da caracterização dos troços (A: troços úmidos, B: troços secos). Fonte: auto feito

Os resultados históricos mostram que os percentuais de gorduras, óleos, hidrocarbonetos totais e umidade permanecem altos para cortes secos e cortes úmidos, apesar de aparentemente haver uma degradação da camada superficial (visivelmente), os resultados mostram que eles continuam em violação dos regulamentos legais aplicáveis (NC 334, 2017). Mesmo os valores de gordura e óleo analisados no último ano (2022) são bem maiores nos cortes secos daquele ano, o que pode estar relacionado à má prática de ter colocado os referidos cortes em cima da piscina de cortes úmidos. Daí a importância de manter corretamente a segregação dos resíduos à medida que são gerados.

A análise estatística mostrou que os cortes analisados em 2019, provenientes do poço VDW 1008, foram os que apresentaram os maiores valores estatísticos de hidrocarbonetos totais (HCT). Uma vez que um valor P é inferior a 0,05, este fator tem um efeito estatisticamente significativo no HCT no nível de confiança de 95%. (Figura 3).

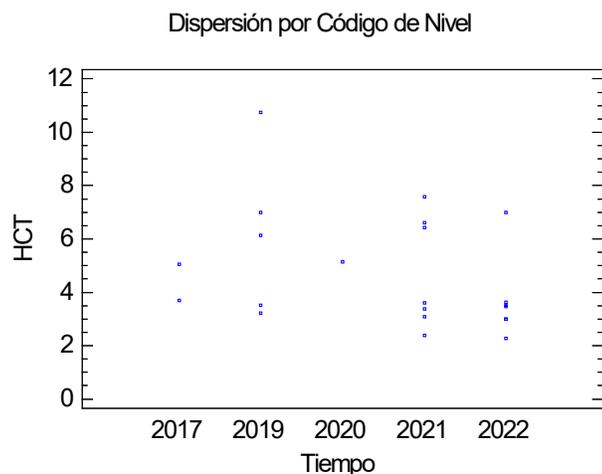


Figura 3: Análise de Variância para HCT - Soma dos Quadrados Tipo III. Fonte: auto feito

Os resultados mostram que os HCTs são compostos muito estáveis que requerem tratamentos para encurtar suas grandes cadeias, portanto a hipótese de que apenas os resíduos acumulados nas piscinas são degradados é inviável.

A tabela 2 apresenta os resultados obtidos para cada um dos parâmetros analisados nas amostras de corte extraídas das poças existentes na esplanada de perfuração de Boca de Camarioca. Métodos de teste e padrões tomados como referência também são observados.

Tabela 2. Caracterização dos cortes armazenados na esplanada de poços.

Amostra	G e A* (mg/kg)	HCTP (mg/kg)	HCA (mg/kg)	ph 25 °C	COND 25 °C µS/cm	% Umidade
Piscina de resíduos a seco	43643 ± 6,5	34683 ± 5,2	2900	8,24 ± 0,70	450 ± 1,1	3,48
Piscina de resíduos centrífuga de corte úmido 1	(26951) ± 4	22755 ± 3,4	1900	8,23 ± 0,70	425 ± 1,1	17,9
Piscina de resíduos centrífuga de corte úmido 2	46030 ± 6,9	36170 ± 5,4	1700	9,09 ± 0,77	4220 ± 11	25
Data de execução	28/11/22		08/11/22	10/11/22		07/11/22
Métodos de teste	APHA 5520	EPA 354°C	siteLAB	NC 32:2009		NC 110:2001

*G: gordura; A: óleo; HCTP: hidrocarbonetos totais do gasóleo; HCA: compostos aromáticos

Fonte: auto feito

Tanto os cortes secos, provenientes do secador, como os que resultam do tratamento pela centrífuga (cortes húmidos), não cumprem as normas que regulam a eliminação de resíduos perigosos, as concentrações de gasóleo, gorduras, óleos e hidrocarbonetos foram acima de 2,5 %, os compostos aromáticos, embora acima de 1000 mg/kg, apresentaram diminuição em relação aos resultados obtidos por Soroa et al, (2020); o pH é básico para todas as estacas e há um alto teor de sal no centro do reservatório de armazenamento das estacas (amostra 339). A umidade é alta, pelo que recomendamos procurar variantes que permitam a secagem natural dos referidos cortes, pois foi observado que o côncavo da piscina ao centro concentra a maior quantidade de gorduras e óleos e hidrocarbonetos totais.

A umidade do corte é o que permite que esse resíduo seja utilizado como aglutinante ou cimento na camada asfáltica, mas muita umidade >5% dificulta o manuseio desse material e sua mistura com outros materiais, pois torna-se muito plástico.

Realização de projetos de concreto asfáltico

Os resultados mostram que o comportamento do corte seco foi superior ao do corte úmido (Tabela 3). As amostras de corte úmido permanecem muito plásticas e não endurecem (Imagem 2). Apenas dois dos seis corpos de prova úmidos apresentaram boa compactação (Tabela 4).



Imagem 2: Espécimes de corte úmidos e secos com suas diferentes proporções de materiais.

Pode-se observar que mesmo quando as densidades nas proporções com corte úmido estão acima de 2,3 g/cm³, por ser a mistura tão plástica, não endurece o corpo de prova.

Tabela 3. Resultados obtidos em misturas com corte a seco.

Espécimes	Massa úmida inicial (g)	Densidade (g/cm ³)	Altura (cm)
1	1 161,4	2,506	5,9
2	1178,4	2,501	6
3	1 151,5	2,666	5,5
4	1 177,8	2,419	6,2
5	11101,1	2,019	7
6	1 182,9	2,642	5,7
7	1 1766	2,773	5,4

Fonte: auto feito

A amostra 5 foi a única que não apresentou boa densidade (valores acima de 2,3). Neste caso, vale ressaltar que não fomos rigorosos com a granulometria do agregado moído e como demonstrou Herrera (2015), é fundamental levar em consideração a granulometria de cada componente da mistura, dependendo do destino de uso. O restante das misturas permitiu boa compactação.

No Equador, para garantir a compactação da mistura, utiliza-se o filler ou filler mineral, que são pequenas partículas insolúveis no asfalto e espalhadas nele como forma de modificar suas propriedades mecânicas e consistência (López, 2018).

Cal, cimento, pó de giz, cinzas de combustível pulverizadas, talco de sílica, pó de britagem, areia ou pozolanas são geralmente usados como carga mineral. Seu efeito sobre o asfalto é o endurecimento, ou seja, reduz a deformação ou fluência produzida por uma carga, sua penetração será reduzida e obter-se-á um aumento de rigidez. Deve-se ter um cuidado especial para que esse material fino esteja completamente seco, solto e livre de impurezas orgânicas (López, 2018). No caso dos presentes testes, resíduos de perfuração secos são usados para esse fim.

Tabela 4. Resultados obtidos em misturas com corte úmido.

Espécimes	Massa úmida inicial (g)	Densidade (g/cm ³)	Altura (cm)
1	1 122,5	2,647	5,4
2	1 142,7	2,645	5,5
3	1 196,7	3,047	5
4	1 184,7	2,742	5,5
5	1 101	2,645	5,3
6	1 145,4	2,80	5,2

Fonte: auto feito

As provetas 1 e 2 das misturas com o corte úmido apresentaram as melhores consistências, porém mais compactas e duras; Não foi possível determinar a deformação dos corpos de prova pois durante os ensaios não havia anel indicador (equipamento Marshall), está fora das especificações.

Quando as densidades dos diferentes corpos de prova foram calculadas, foram obtidos valores viáveis em ambos os cortes, oferecendo resultados superiores a 2,33 g/cm³ conforme especificado em (NC 261, 2005). Neste caso, fica demonstrado que o corte a seco pode ser utilizado para a fabricação de concreto asfáltico, enquanto novos ensaios com outras proporções devem ser realizados no úmido.

Com os resultados obtidos, foi realizado o proctor com seis provetas e o CBR com cinco para considerar os resíduos mistos como possíveis materiais de base ou sub-base na execução de estradas e ações de manutenção em buracos do tipo profundo. A Tabela 8 e as figuras mostram os resultados obtidos.

Tabela 8. Resultados do CBR

Espécimes	Massa húmida inicial (g)	Densidade (g/cm ³)	Humidade (%)	CBR (%)
1	4983	2,34	19,8	33
2	4844	2,28	15	8
3	4909	2,31	14,8	32
4	4808	2,26	19,7	13
5	4470	2,1	12	19

Fonte: auto feito

Os requisitos para utilização como possíveis materiais de base ou sub-base (Tabela 9), de acordo com a norma de cálculo para Pavimentos Flexíveis NC 334, 2004 são os seguintes:

Tabela 9. Requisitos de material para uso como base ou sub-base

Parâmetro	MATERIAL DE BASE		MATERIAL DE SUB BASE	
	$\Sigma N < 5 \times 10^5$ ejes de 100KN	$\Sigma N > 5 \times 10^5$ ejes de 100 KN	Drenaje Desfavorable	Drenaje favorable
CBR (mínimo)	60-80%	80-100%	20-30%	20-30%
Limite líquido (máx.)	25%	25%	25%	35%
Índice de Plástico. (máx.)	6%	6%	6%	10%
Equivalente Arena (min)	30%	50%	-	-

Também a norma cubana (NC 161: 2002), quando se refere à resistência, indica que o valor da resistência é definido pelo índice CBR. No caso de rodovias e aeroportos:

- Base CBR > 80%
- Sub base CBR > 30%

Para estradas de baixo tráfego e estradas de baixo custo

- Base > 60%
- Sub base > 20%

Os resultados do CBR mostraram que o esforço de penetração foi maior e, portanto, a resistência nos corpos de prova 1 e 3. O que foi obtido ao testar o corpo de prova 5 mostrou que o corte a seco tem qualidades para ser usado apenas em ruas secundárias ou estradas pouco movimentadas.

Os resultados também mostraram que existe uma relação direta entre as proporções dos materiais utilizados, massa inicial e umidade. É importante esclarecer que a umidade a que se referem os resultados é aquela que o corte traz quando chega ao laboratório. O referido material não estava saturado com água. Uma pequena variação na umidade determina o comportamento do CBR.

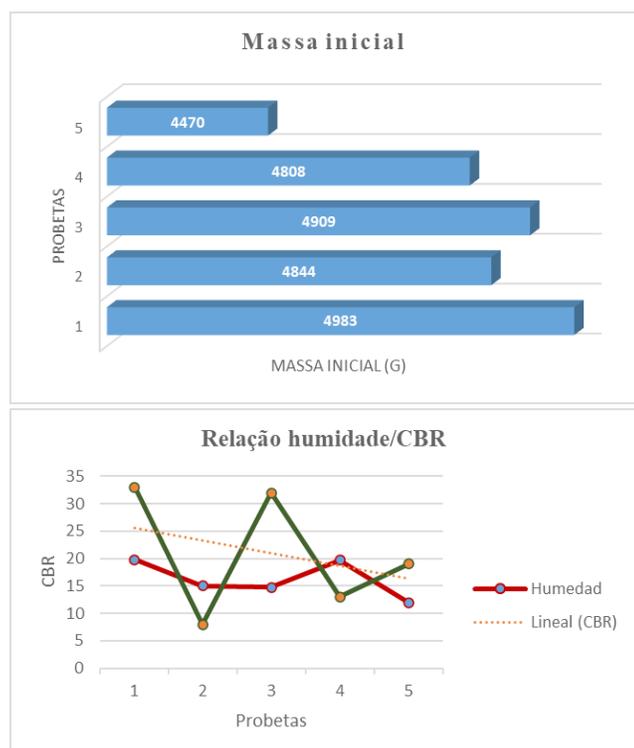


Figura 8: Massa inicial do CBR para as cinco provetas. Comportamento do CBR e da umidade inicial. Fonte: auto feito

A amostra 1 apresentou maior massa inicial e maior CBR. O corpo de prova 3 com massa inicial menor que o corpo de prova 1 alcançou o segundo melhor valor de CBR. Os resultados do tubo de ensaio 5 mostraram que o corte de perfuração a seco (100%) atingiu um CBR de 19%, portanto pode-se afirmar que o material seco resultante da perfuração de petróleo com fluido OBM possui características que tornam seu uso útil base em dobradeiras asfálticas para estradas com baixo tráfego de veículos.

Com base nos resultados da capacidade de carga das combinações, uma vez que não foram determinadas as suas características plásticas, apenas as combinações feitas nas provetas 1 e 1 poderiam ser recomendadas para uso em camadas de sub-base em estradas a serem reparadas ou em construção (ambos com diferentes proporções de corte úmido + corte seco + granalha + agregado moído). Essas combinações também podem ser usadas em casos de buracos profundos onde a afeição atinge o nível do subleito. As proporções utilizadas nos testes 2 e 4 não deram bons resultados, portanto, classificam-se para uso em estradas.

Por fim, pode-se afirmar pelos resultados obtidos que é possível utilizar os cortes de perfuração do secador (secador), tanto isoladamente como nas proporções sugeridas nas provetas 1 e 3, tanto para a reparação de estradas como para a construção de estradas. Desta forma, valorizam-se os resíduos gerados na perfuração com fluido à base de diesel, fornece-se matéria-prima para a construção de estradas e garante-se a continuidade da perfuração cubana de petróleo mesmo com formações geológicas complexas.

CONCLUSÕES

A litologia dos poços perfurados com OBM mostrou que as rochas e argilas que emergem à superfície são do tipo necessário para serem usadas em concreto.

A caracterização dos cortes armazenados por mais de dois anos nas piscinas mostrou que não há degradação natural para o interior das mesmas, o teor de gorduras e óleos e hidrocarbonetos é semelhante ao momento em que iniciou seu armazenamento.

As combinações e proporções utilizadas nas provetas 1 e 3 são recomendadas para sub-bases de rodovias e aeroportos.

O corte a seco (exemplo 5) pode ser utilizado como sub-base para estradas ou em ação contra buracos profundos em bairros ou áreas de baixa densidade viária.

Todo o corte seco gerado pode ser usado para fazer concreto asfáltico.

As seções molhadas tinham muita plasticidade e isso impedia seu uso com sucesso.

BIBLIOGRAFIA

- Acosta-Pérez, I., Marrero-Delgado, F., & Espinosa-Martínez, J. U. (2020). La economía circular como contribución a la sostenibilidad en un destino turístico cubano de sol y playa. *Estudios y perspectivas en turismo*, 29(2), 406-425.
- Asociación Española de Normalización y Certificación. (2020). *Calidad de los materiales educativos digitales (UNE 71362:2020)*.
- APHA International. (2017). *Standard Methods for the examination of water and wastewater*, APHA 5520-D
- ASTM International (2015). *Métodos de ensayo estándar para las características de compactación de suelo en laboratorio utilizando esfuerzo estándar (12,400 pies-lbf / pie³ (600 kN-m / m³))*. ASTM D698–12e2
- ASTM International. (2015). *Métodos de ensayo estándar para la determinación de las características de compactación de suelos en el laboratorio utilizando esfuerzo modificado (56,000 pie-lbf / pie³ (2,700 kN-m / m³))*1. ASTM D1557–12e1
- Geissdoerfer, M., Savaget, P., Bocken, N. M., & Hultink, E. J. (2017). The Circular Economy—A new sustainability paradigm. *Journal of cleaner production*, 143, 757-768.
- Ghisellini, P., Cialani, C., & Ulgiati, S. (2016). A review on circular economy: the expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems. *Journal of Cleaner production*, 114, 11-32.
- de la Rosa, R. H. (2021). VALORACIÓN DE LOS ÁRIDOS DE OCCIDENTE PARA SU APLICACIÓN EN LOS SELLOS DE LECHADAS ASFÁLTICAS. *Revista Ciencia y Construcción*, 2(2), 33-44.
- López Avilés, P.R. (2018). *Desarrollar una propuesta de diseño para incrementar la durabilidad de los hormigones asfálticos en la región utilizando el método SMA (Stone Mastic Asphalt), elaborándolos en base a materiales locales*. Tesis previa a la obtención del grado de Magister en construcciones. Facultad de Arquitectura y urbanismo. Universidad de Cuenca. Ecuador
- Martogi, D., Prakash, R., Varanasi, V. R. S. B., & Abedi, S. (2022, June). Impact of Oil Based Mud on Chemo-Mechanical Properties of Cuttings and its Treatment. In *56th US Rock Mechanics/Geomechanics Symposium*. OnePetro..
- Njuguna, J., Siddique, S., Kwroffie, L. B., Piromrat, S., Addae-Afoakwa, K., Ekeh-Adegbotolu, U., ... & Moller, L. (2022). The fate of waste drilling fluids from oil & gas industry activities in the exploration and production operations. *Waste Management*, 139, 362-380..
- Oficina Nacional de Normalización (ONN) *Determinación del pH y la Conductividad eléctrica en extracto de saturación*. NC 32 (2009).
- Oficina Nacional de Normalización (ONN) (2005). *Marshall. Densidad a especímenes de mezcla asfáltica*. NC 261
- Oficina Nacional de Normalización (ONN) *Carreteras. Bases y sub bases de caliza blanda*. NC 161 (2002).
- Oficina Nacional de Normalización (ONN) (2017) *Manejo de fondaje de tanques de almacenamiento de petróleo y sus derivados*. NC: 334
- ONN. NC: 334 (2004). *Pavimentos flexibles*. Oficina Nacional de Normalización (ONN)
- Piñeros-Moreno, M. E., & Herrera-Muriel, R. D. D. J. (2018). Proyecto de factibilidad económica para la fabricación de bloques con agregados de plástico reciclado (PET), aplicados en la construcción de vivienda..
- Pomponi, F. & Moncaster, A. (2017). Circular economy for the built environment: A research framework. *Journal of cleaner production*, volumen 143: 710-718,
- Siddique, S., Yates, K., & Njuguna, J. (2018). Characterisation of oil based mud waste to explore the possibility in transforming waste into a value added product. *NAXOS*, 13-16 June from: http://uest.ntua.gr/naxos2018/proceedings/pdf/45_NAXOS2018_Siddique_etal.pdf
- Soroa Bell Ma. Regla, Díaz Rodríguez. Y., Rivas Trasancos Lester, Martínez González Jennifer. (2021). Disposición final de cortes de perforación petrolera en la fabricación del Clinker de cemento. *REVISTA CENTRO AZÚCAR* 48(4): 63-73.
- Winans, K., Kendall, A., & Deng, H. (2017). The history and current applications of the circular economy concept. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 68, 825-833.
- Wu, J., Zeng, L., Ma, W., Zhang, S., Yi, X., & Nie, Q. (2022). Influence of cyclone oil desorption technology on the change of Oil-Based mud cuttings properties. *Fuel*, 324, 124524.