



Revista Interdisciplinar do Pensamento Científico. ISSN: 2446-6778
Nº 2, volume 3, artigo nº 11, Julho/Dezembro 2017
D.O.I: <http://dx.doi.org/10.20951/2446-6778/v3n2a11>

O USO DA CAMADA POROSA DE ATRITO EM AEROPORTOS

Andréia Arenari Siqueira¹
Graduanda em Engenharia Civil

Danúbia Lorena Teixeira²
Graduanda em Engenharia Civil

Kelyane de Souza Morais³
Graduanda em Engenharia Civil

Maysa Pontes Rangel⁴
Mestre em Planejamento Regional e Gestão de Cidades

Resumo: Na aterrissagem de aeronaves em pistas de pouso e decolagem nos períodos chuvosos, onde ocorre o fenômeno da aquaplanagem em pavimentos asfálticos impermeáveis, a pista molhada provoca deslizamento da aeronave pela falta de atrito entre pneu e pavimento, causando instabilidade no avião e conseqüentemente não oferecendo segurança aos usuários deste modelo de transporte. Este artigo, traz como uma solução a este problema a utilização da camada porosa de atrito (CPA), a qual consiste em um revestimento com alto índices de vazios que proporciona uma drenagem superficial capaz de permitir um melhor atrito entre a roda e superfície de rolamento, mesmo sob condições de clima desfavorável e chuvas. Embora no Brasil a aplicação desse tipo de revestimento não seja algo comum, suas características favorecem a sua implantação principalmente em aeroportos, visando evitar catástrofes relacionadas à presença de águas nas pistas.

Palavras-chave: CPA; Aeroportos; Aquaplanagem.

Abstract: In the landing of aircraft in runways in the rainy season, where the aquaplaning phenomenon occurs in impermeable asphalt pavements, the wet lane causes the aircraft to slip due to the lack of friction of the pavement with the tire causing instability in the airplane and consequently not providing safety to the aircraft. The use of the porous friction layer (CPA), which consists of a coating with high void indices that provides a surface drainage capable of allowing better friction between the wheel and the pavement, even under conditions of unfavorable climate and rains. Although in Brazil the application of this type of coating is not something common, its characteristics favor its implantation mainly in airports, aiming to avoid catastrophes related to the presence of water in the tracks.

¹ Centro Universitário Redentor, Engenharia Civil, Itaperuna-RJ, arenariandrea@gmail.com

² Centro Universitário Redentor, Engenharia Civil, Itaperuna-RJ, danubiateixeiraa@hotmail.com

³ Centro Universitário Redentor, Engenharia Civil, Itaperuna-RJ, kellyanne_souza@hotmail.com

⁴ Centro Universitário Redentor, Engenharia Civil, Itaperuna-RJ, maysaran@terra.com.br

Keywords: CPA; Airports; Aquaplaning.

1. INTRODUÇÃO

Ao divagar no histórico da pavimentação no mundo, acaba-se percebendo que a mesma é a própria história da evolução do homem, uma vez que no decorrer dos séculos ela foi utilizada como facilitadora no desbravamento de novas terras, para povoação dos continentes, na troca de serviços e como disseminadora de culturas diversas, com isso facilitando o progresso da sociedade como um todo (ANDRADE, 2017).

Para a evolução do país, a pavimentação entra como um aspecto de suma importância, visto que através das malhas rodoviárias milhares de usuários trafegam diariamente e durante o trajeto buscam conforto e segurança. Porém, como é de conhecimento, todos os dias essa pavimentação contradiz ao conceito de segurança aos usuários, uma vez que inúmeros acidentes ocorrem em épocas de intensas chuvas, onde é nítido o efeito de aquaplanagem nas pistas, em que essa água empoçada diminui o atrito entre pneus e pavimento (SOARES *et. al.*, 2016).

Bezerra Filho & Oliveira (2013) destacam que, como a pavimentação é um fator de crescimento e desenvolvimento do país, principalmente por facilitar o contato entre diversas localidades, e com o avanço dos transportes nos últimos anos, os aeroportos entram como uma infraestrutura capaz de proporcionar progressos tanto no setor econômico quanto no social, carecendo de um revestimento em suas pistas que sejam capazes de proporcionar segurança aos que a utilizam.

Sabe-se que, assim como as malhas rodoviárias, os aeroportos estão sujeitos a períodos de chuvas e, portanto, é necessário que o pavimento aeroportuário seja capaz de escoar essas águas com mais rapidez a fim de evitar o fenômeno da aquaplanagem e reduzir riscos de acidentes pela falta do contato entre as rodas e a pistas, o que impossibilita uma adequada frenagem (BEZERRA FILHO & OLIVEIRA, 2013).

Segundo a Organização da Aviação Civil Internacional (ICAO, 2002), é de conhecimento dos profissionais da área que a falta de aderência pneu-pista em aeroportos se tornou um problema corriqueiro que vem trazendo preocupação, uma vez que esse modelo de transporte vem expandindo-se cada vez mais no Brasil.

Uma forma de amenizar o fenômeno já descrito da aquaplanagem seria a utilização de um revestimento denominado camada porosa de atrito (CPA), que vem sendo estudado e empregado em diversos aeroportos do exterior, o qual consiste em “uma camada de

espessura constante, de macrotextura aberta e características drenantes que proporciona superfície antiderrapante e evita a ocorrência de aquaplanagem”, ou seja, mantém-se o atrito com a superfície em qualquer condição meteorológica (ICAO, 2002 p. 4).

2. DESENVOLVIMENTO

Considerada como um CBUQ (Concreto Betuminoso Usinado a Quente), a camada porosa de atrito é composta por altos índices de vazios, os quais permitem que a água entremeie pelo revestimento e escoe pelas laterais, como pode ser observado na Figura 1. Por esse motivo, proporciona um alto coeficiente de atrito (SANTOS, 2004).



Figura 1 – Escoamento de água pelo revestimento CPA
Fonte: Gonçalves & Oliveira (2014).

2.1 Coeficiente de Atrito

É importante saber que o coeficiente de atrito é a razão entre a força tangencial necessária para preservar um deslocamento estável através do contato dos pneus e o pavimento e a força perpendicular que sustenta esse contato, ou seja, a carga distribuída da aeronave sobre a área dos pneus (ICAO, 2002 *apud* BEZERRA FILHO & OLIVEIRA, 2013).

Esse atrito acontece no contato do pneu-pavimento e, geralmente quando esse contato não ocorre, é devido à presença de uma lâmina de água sobre a superfície do pavimento, ocasionando o fenômeno denominado hidroplanagem, uma vez que a falta da aderência entre o pneu e o pavimento provoca um escorregamento. A fim de prevenir o efeito da hidroplanagem na superfície do pavimento, é necessário manter as propriedades apropriadas para drenagem superficial, assegurando que aconteça o atrito entre pneu-

pavimento. (BERNUCCI *et. al.*, 2006 *apud* BEZERRA FILHO & OLIVEIRA, 2013).

Em documento, a ANAC estabelece graus para coeficiente de atrito nos aeroportos. Segundo ela, há dois pontos a serem observados, a manutenção para correção e o mínimo aceito. Quando na relação dos valores encontrados esses derem inferiores ao apontados para o grau de manutenção, deverão ser tomadas medidas corretivas na pista que as façam enquadrar-se no grau mínimo da manutenção ou acima dela. Esse grau mínimo mencionado diz respeito ao valor mais baixo para o coeficiente de atrito determinado para uma pista de pouso e decolagem quando há presença de lâmina d'água, em que a performance das aeronaves ao frear não é prejudicada (BEZERRA FILHO & OLIVEIRA, 2013).

Mattos *et. al.* (2009) destaca que o aparelho que faz a aferição contínua e conclui o coeficiente de atrito de frenagem é o μ -Meter. Este equipamento compõe-se em um reboque de três rodas, em que duas rodas dispõem de um ângulo de convergência de $7,5^\circ$ e são incumbidos de definir o coeficiente de atrito ao mesmo tempo em que a outra roda mede a distância percorrida. Um esquema espargidor anexo no equipamento μ -Meter é responsável por formar uma lâmina de água na parte frontal das rodas que inferem o atrito. Outro equipamento é o SCRIM (Sideway Force Coefficient Routine Investigation Machine), utilizado para analisar a aderência dos pavimentos por meio da aferição do coeficiente de atrito transversal de maneira constante.

Para manutenção da qualidade da camada porosa do pavimento, é necessário ter inspeções visuais constantes para determinar a retirada de borrachas entranhadas nos poros, provocando um preenchimento e diminuindo a capacidade de drenagem no pavimento. Esse acúmulo de borracha acontece através da atuação dos pneus dos aviões em contato com o pavimento. Vale destacar que a retirada dessas partículas de borracha não é absoluta, mas para níveis de aceitação do coeficiente de atrito essa remoção é admitida (SANTOS, 2004).

2.2 Macrotextura

Specht *et. al.* (2007) afirmam que as macrotexturas são irregularidades, encontradas na superfície do pavimento ocasionadas por um ressalto provocado por agregados que possuem comprimento de onda de 0,5 a 50 mm e amplitude de 0,2 a 10 mm. Destaca, ainda, que ela

é relacionada ao atrito em altas velocidades; a capacidade do pavimento drenar a água superficial evitando o fenômeno da hidroplanagem; a formação de spray; a formação do espelho noturno; o aumento no consumo de combustível; o desgaste dos pneumáticos e a excessivos níveis de ruído (SPECHT *et. al.*, 2007 p. 31).

Os autores destacam, ainda, que os valores aceitáveis de macrotextura para assegurar a drenagem superficial estão entre 0,4 milímetros e 0,7 milímetros.

2.3 Granulometria

Conforme Bernucci *et. al.*, (2006 p. 165), o CPA é uma mistura asfáltica de granulometria do tipo aberta, ou seja, “mantêm uma grande porcentagem de vazios com ar não preenchidos graças às pequenas quantidades de fíler, de agregado miúdo e de ligante asfáltico”. Ressalta-se que, geralmente, elas possuem de 18% a 25% de vazios com ar.

O que diferencia o CPA do CBUQ é a granulometria das misturas, bem como a porcentagem de vazios e quantidade de ligante. No que se refere aos vazios, destaca-se que o CBUQ na faixa de rolamento possui de 3% a 5%, enquanto que o SMA (Stone Matrix Asphalt) varia de 4% a 6%, já o CPA fica em torno dos 20%. A Figura 2 apresenta as curvas granulométricas dessas camadas betuminosas, evidenciando suas diferenças (PATRIOTA, 2004).

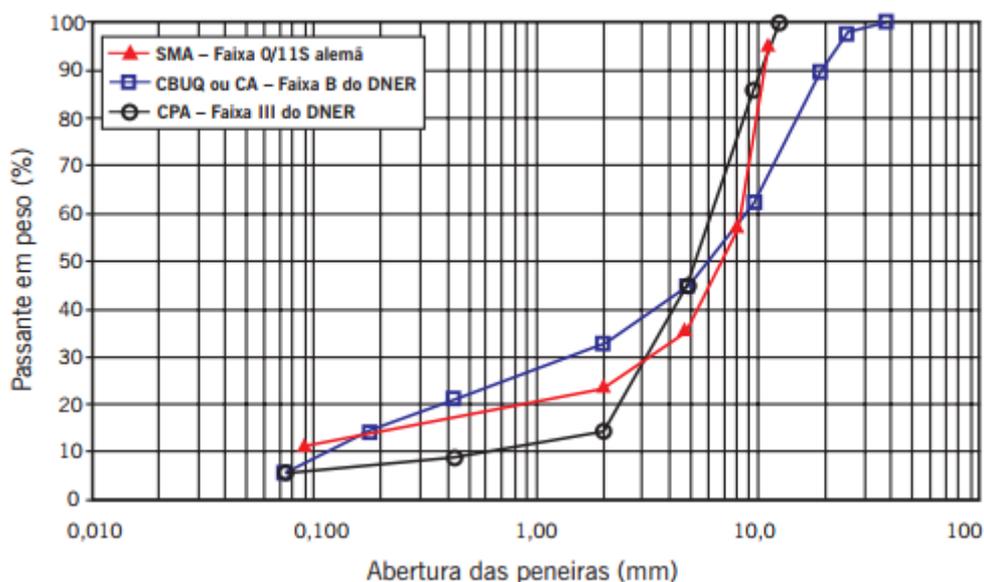


Figura 2 – Variação entre curvas granulométricas do SMA, CBUQ e CPA
Fonte: Bernucci *et. al.* (2006).

Vale destacar, segundo Bernucci *et. al.* (2006), que a curva granulométrica da camada porosa de atrito consiste numa curvatura de graduação aberta, em que os agregados possuem tamanhos em sua maioria uniformes, sendo assim, o seu esqueleto apresenta uma deficiência em se tratando dos materiais finos, ou seja, menores que 0,075mm, o que impossibilita o preenchimento das lacunas, tornando-o, portanto, drenante.

2.4 Ensaio Marshall para misturas a quente

De acordo com Patriota (2004), como meio para verificação de misturas betuminosas, utiliza-se a aparelhagem Marshall. Esse aparelho serve para definir a estabilidade e fluência das misturas betuminosas usinadas a quente, isto é, se o ligante determinado para uso é o adequado a solução. Para realização desse método torna necessário padronizar corpos-de-prova de 100 mm de diâmetro e $63,5 \pm 1,3$ mm de altura que devem ser confeccionados de acordo com processos técnicos de aquecimento dos agregados e asfalto, mistura e compactação desses materiais.

O mesmo autor completa afirmando que no ensaio de dosagem de misturas asfálticas de Marshall, para determinar o teor de ligante são avaliados os critérios de granulometria, densidade aparente da mistura, densidade máxima teórica da mistura, porcentagem de vazios da mistura compactada, porcentagem de vazios do agregado mineral, relação betume-vazios, estabilidade e fluência. Destaca-se que os mecanismos para execução do ensaio de Marshall, em concordância com o DNER 043/95 e ABNT NBR 12891/93, são:

- **Preparação dos corpos de prova:** No momento de preparar os corpos de prova, torna-se necessário separar os agregados do asfalto, aquecê-los de acordo com a temperatura especificada, para em seguida fazer a mistura entre eles. O resultado dessa mistura é posicionado em um recipiente, aquecido e compactado ao sofrer golpes, mais precisamente de 50 a 75, em toda sua superfície. O material utilizado para desferir os golpes consiste em um soquete de 4,540 kg o qual é lançado de uma altura equivalente de 45,72 cm. É necessária a fabricação de 15 corpos de prova ou mais, considerando o fato de que para cada teor de asfalto precisar haver 3 corpos de prova. Se torna imprescindível que esses corpos de prova sejam moldados em relação a totalidade da mistura, com 5 porcentagens de asfalto de forma a possibilitar e selecionar o teor ótimo do asfalto.
- **Método de Ensaio:** Para executar o ensaio Marshall, faz-se necessário possuir um corpo de prova com diâmetro de 102 mm e 6,35 mm de altura no formato cilíndrico. Os corpos de prova são retirados de seus recipientes e colocados ao ar livre, inertes por um período de 12 horas. Em seguida, esses corpos de prova são pesados de forma a obter os componentes imprescindíveis a determinação de seus aspectos físicos para, em seguida, serem mergulhados na água a uma temperatura de 60°C, permanecendo desta forma por cerca de 30 a 40 minutos. Passado esse período, eles são sujeitos ao ensaio para definir suas características mecânicas, tanto de estabilidade quanto de fluência.
- **Curvas Típicas:** Das informações adquiridas e determinadas, são esboçadas as curvas que trazem a variação do volume de vazios, densidade, relação betume-

vazios, fluência e estabilidade, de acordo as taxas de ligantes utilizadas. A definição do teor ótimo do ligante deverá satisfazer aos limites pré-determinados em regulamento, referentes aos valores das normas mencionadas acima (PATRIOTA, 2004).

2.5 Vantagens e desvantagens do uso do CPA

Em pista de pouso e decolagem de diversos aeroportos mundiais, a utilização da camada porosa de atrito (CPA) é empregada com êxito, porém, para que sua aplicação ocorra de maneira satisfatória, necessitam-se métodos construtivos apropriados (SANTOS, 2004).

Por ser um revestimento poroso e não possuir função estrutural, recomenda-se que o CPA seja executado acima de uma superfície asfáltica que esteja em bom estado, não possuindo fissuras ou fadiga (QUINALIA, 2005 *online*).

Santos (2004) ainda afirma que asfalto que a receber deve, obrigatoriamente, possuir elevada estabilidade, ser livre de contaminação e uma declividade adequada. Portanto, alguns parâmetros têm de ser destacados, tais como:

- Possuir teor de vazios especificados em projeto;
- A temperatura de execução deverá ser definida pela característica do ligante e não deve ser maior que 177°C;
- O pavimento impermeável existente deve estar limpo e em boas condições para a aplicação da pintura de ligação, assegurando que a aderência do CPA seja ideal;
- É importante que o CPA seja composto com asfalto-polímero, por possuir pouca resistência ao trincamento por fadiga, devido ao teor de vazios, a rápida oxidação do ligante por efeito solares, vapor de água e ao recebimento de oxigênio.

2.5.1 Vantagens

- Diminuição dos efeitos de aquaplanagem (SANTOS, 2004);
- Amenização do grau de ruídos oriundos do tráfego (SANTOS, 2004);
- Elimina a ocorrência de espelhamento e por isso possibilita uma visão favorável da sinalização horizontal durante a noite, reduzindo o reflexo luminoso (SANTOS, 2004);
- Em se tratando das malhas rodoviárias, garante uma boa visualização, isso por conta da diminuição do efeito “spray” (lançamento de água) produzidos pela traseira dos carros em camadas de rolamento molhados (SANTOS, 2004).

2.5.2 Desvantagens

- Com o passar do tempo os vazios da camada porosa de atrito sofrem um acúmulo de partículas de borracha dos pneus, reduzindo sua capacidade de impermeabilização (SILVA et. al. 2016);
- Necessidade de limpeza periódica, uma vez que os vazios tendem a encher-se de sujeiras (SANTOS, 2004);
- Por possuir uma granulação aberta, o CPA quando exposto ao esforço cortante tende a desagregação (SANTOS, 2004);
- Elevado custo de execução, uma vez que a mistura utilizada para esse tipo de revestimento é de asfalto modificado. Seu custo se comparado a outros revestimentos asfálticos comuns é superior (SANTOS, 2004).

2.6 Utilização da camada porosa de atrito (CPA) no Brasil

Embora o uso da CPA em pavimentos seja uma solução para problemas relacionados a aquaplanagem, sua aplicação no Brasil ainda não é muito adotada. Contudo, visto que ela proporciona maior segurança, algumas obras no país a aderiram, entre elas a Rodovia Presidente Dutra, próximo a São Paulo em 1998, a Rodovia dos Imigrantes, ligando São Paulo a Santos em 1998, o Aeroporto Santos Dumont no Rio de Janeiro em 1999, e o Aeroporto Internacional Tancredo Neves, Minas Gerais em 1983 (BERNUCCI *et. al.*, 2006).

2.7 Acidentes provocados por excesso de água em pistas

Acidentes ocorridos por conta de água nas pistas não são incomuns, como é o caso

do voo JJ 3054 da TAM que vitimou 199 pessoas em 2007, sendo um dos fatores que levou a aeronave a perder a direção, segundo o engenheiro aeronáutico Jorge Eduardo Leal Medeiros, a falta de aderência entre pneu-pavimento em um dia chuvoso (RIBEIRO, 2007 *online*).

Ubiratan (2013 *online*) relata, entre outros acidentes aviários brasileiro, o do Aeroporto Internacional Hercílio Luz de Florianópolis no ano de 2003. Na ocasião, sob forte chuva, a aeronave A320 da TAM deslizou sobre a pista, felizmente não fazendo vítimas fatais.

O mesmo autor complementa, afirmando que o mesmo ocorreu na capital paulista em 2006, quando um Boeing 737 da companhia BRA, debaixo de temporal derrapou e atravessou a pista cruzando a taxiway do Aeroporto de Congonhas, detendo-se um pouco antes da Avenida Washington Luiz, também não havendo feridos.

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Mesmo diante de algumas desvantagens associadas a camada porosa de atrito (CPA), ainda assim ela continua sendo uma excelente opção, se tratando da diminuição da hidroplanagem. Observa-se que a utilização da CPA aponta resultados positivos quando avaliado o seu potencial de drenagem. Desta forma, quando aplicada de maneira apropriada, garante uma boa drenagem superficial, melhora o atrito pneumático com o pavimento, assegura a estabilidade do veículo ou aeronave em períodos de chuvas intensas, evitando derrapagens que possam levar a acidentes fatais.

Contudo, por dispor de um alto valor monetário para sua aplicação e também por necessitar de inspeções periódicas para manutenção e limpeza dos vazios, no Brasil a CPA, se comparada a outros revestimentos asfálticos, tem menor utilização, embora possua excelentes características. Não obstante, ela prossegue como solução para um país onde o clima é favorável a chuvas e que há um déficit quando se refere a segurança no tráfego.

Assim sendo, seu uso é justificado em aeroportos, uma vez que a correta aterrissagem das aeronaves depende de uma pista que proporcione um atrito considerável e favorável a frenagem, a qual é garantido por uma drenagem adequada.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, M. H. F. **Introdução a Pavimentação**. Curitiba: UFPR, 2017.

BERNUCCI, L. B.; DA MOTTA, L. M. G.; CERATTI, J. A. P.; SOARES, J. B. **Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros**. Rio de Janeiro: PETROBRAS: ABEDA,

2006.

BEZERRA FILHO, C. I. F. OLIVEIRA, F. H. L. **Análise da correlação entre a macrotextura e o coeficiente de atrito em pavimentos aeroportuários.** Fortaleza: UNIFOR, 2013.

GONÇALVES, A. B. OLIVEIRA, R. H. **Pavimentos permeáveis e sua influência sobre a drenagem. Disciplina de Água em Ambientes Urbanos.** Escola Politécnica da Universidade de São Paulo - Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, 2014.

MATTOS, J. R. G. ROZEK, T. M. HIRSCH, F. NÚÑEZ, W. P. **Análise da aderência pneu-pavimento para diferentes tipos de camadas de rolamento da br-290/RS.** Porto Alegre: UFRS, 2009.

Organização da Aviação Civil Internacional - ICAO. **Seminário sobre Mantenimiento de Pavimentos de Aeropuertos y um Curso Rápido sobre la Interacción Aeronave / Pavimento.** Santa Cruz de la Sierra-Bolivia, 2002.

PATRIOTA, M. B. **Análise laboratorial de concreto betuminoso usinado a quente modificado com adição de borracha reciclada de pneus – processo seco. 2004.** Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Pernambuco-UFPE, Recife-PE.

QUINALIA, E. Planejamento – Questão de controle. Disponível em: <<http://techne17.pini.com.br/engenharia-civil/102/artigo285003-1.aspx>>. Acesso em 05 nov 2017.

RIBEIRO, S. Falta de ranhuras na pista teve ‘peso grande’ no acidente, diz especialista. Disponível em: <<http://g1.globo.com/Noticias/SaoPaulo/0,,MUL72094-5605,00-FALTA+DE+RANHURAS+NA+PISTA+TEVE+PESO+GRANDE+NO+ACIDENTE+DIZ+ESPECIALISTA.html>>. Acesso em: 03 nov 2017.

SANTOS, E. L. **Análise Histórica de Medição de Atrito das Pistas do Aeroporto Santos Dumont – RJ. 2004.** Monografia (Graduação em Engenharia Civil). Instituto Tecnológico de Aeronáutica-ITA, São José dos Campos-SP.

SILVA, A. F. SIQUEIRA, J. C. SEVERINO, L. F. **Estudo comparativo de concreto betuminoso usinado a quente com diferentes tipos de ligantes utilizados em Goiânia. 2016.** Monografia (Graduação em Engenharia Civil). Universidade Federal de Goiás-UFG, Goiânia-GO.

SOARES, B. H. S. ARAUJO, F. L. N. JUNIOR, M. P. D. Diferentes tipos de dosagens da camada porosa de atrito utilizando nano fibras de grafeno. In: Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC. Foz do Iguaçu-PR, 2016.

SPECHT, L. P. ROZEK, T. HIRSCH, F. SANTOS, R. T. **Avaliação da macrotextura de pavimentos através do ensaio de mancha de areia.** Ijuí: UNIJUÍ, 2007.

UBIRATAN, E. Lâmina d’água sobre a pista. Disponível em: <http://aeromagazine.uol.com.br/artigo/lamina-dagua-sobre-pista_1291.html>. Acesso em 02 nov 2017.

Sobre os Autores

Autor 1: Aluno graduando do curso de Engenharia Civil da IES Centro Universitário Redentor. E-mail: arenariandreia@gmail.com

Autor 2: Aluno graduando do curso de Engenharia Civil da IES Centro Universitário Redentor. E-mail: danubiateixeiraa@hotmail.com

Autor 3: Aluno graduando do curso de Engenharia Civil da IES Centro Universitário Redentor. E-mail: kellyanne_souza@hotmail.com

Autor 4: Professora do curso de Engenharia Civil da IES Centro Universitário Redentor. Mestre em Planejamento Regional e Gestão de Cidades pela UCAM. E-mail: maysaran@terra.com.br