REDE
ISSN:1985-5528
Revista Eletrônica do PRODEMA
Journal Homepage: www.revistarede.ufc.br
DOI: 10.22411/rede2017.1101.01

EMISSÕES DE PETCOQUE E QUALIDADE DO AR EM ENVOLVENTE PORTUÁRIA: O CASO DE ESTUDO DO PORTO DE AVEIRO

Petcoke emissions and air quality in the surrouding of a harbour: the case study of the Aveiro Port

Carlos Borrego[1]
Sandra Sorte[2]
Vera Rodrigues[3]
Alexandra Monteiro[4]
João Ginja[5]

RESUMO:
As emissões resultantes das atividades portuárias, em particular as emissões fugitivas provenientes de pilhas de petcoque armazenado ao ar livre, foram alvo de atenção especial devido ao seu impacto na qualidade do ar na envolvente do Porto de Aveiro. O presente estudo tem como objetivo estimar o impacto destas emissões fugitivas na qualidade do ar e identificar medidas de mitigação que potenciem a redução das concentrações de partículas na atmosfera provenientes desta fonte de emissão. Para tal, foi definido como cenário de mitigação a colocação de uma barreira maciça a montante da pilha de petcoque. Com o intuito de otimizar a implementação da barreira foram adotadas duas metodologias complementares: (i) modelação numérica com recurso a um modelo CFD e (ii) modelação física em túnel de vento. As duas metodologias permitiram comparar diferentes configurações de barreira de forma a avaliar a redução da intensidade do vento incidente na pilha de petcoque e consequente minimização do transporte de material particulado. Tendo por base os resultados de modelação foi selecionada a configuração ótima da barreira a implementar no terreno, em termos de dimensões e localização. No presente artigo são avaliados os resultados da medição da qualidade do ar na envolvente do Porto de Aveiro, após a implementação da barreira a montante do local de descarga do petcoque. Durante o período de medição avaliado, que inclui movimentação de petcoque, confirma-se a ocorrência de concentrações relativamente reduzidas, não havendo registos de ultrapassagens do valor limite diário legislado. O trabalho realizado aponta para a eficácia da solução de mitigação proposta relativamente ao controlo das emissões fugitivas de petcoque.

Palavras-chave: emissões de petcoque; modelo CFD; Túnel de Vento; dispersão de partículas; medidas mitigadoras.

ABSTRACT:
Emission of particulate material from port activities, namely fugitive particle emissions from petcoke stockpiles, was studied in this work. The goal was to estimate the impact of such emissions in air quality in the surroundings of the Port of Aveiro and find a suitable mitigation measure that could reduce the transport of those particles to the surrounding urban and suburban areas. The mitigation measure tested in this work was the placement of a barrier upwind from the petcoke stockpile. The optimal conditions for the application of such barrier were determined using two complementary approaches: (i) numerical simulation by means of CFD application, and (ii) physical modelling in a wind-tunnel. Both methodologies allowed the analysisof different barrier configurations (size and position) that would minimize the maximum petcoke particle emissions.After performing the experiments, the barrier was applied in the Port of Aveiro to verify the effectiveness of the solution, from a mitigation, size and location standpoint. Air quality monitoring campaigns performed after placing the barrier registered petcoke emissions considerably lower than in the reference scenario. Moreover, the legal

[1]CESAM & Departamento de Ambiente e Ordenamento, Universidade de Aveiro, Portugal. cborrego@ua.pt
[2]CESAM & Departamento de Ambiente e Ordenamento, Universidade de Aveiro, Portugal. ssss@ua.pt
[3]CESAM & Departamento de Ambiente e Ordenamento, Universidade de Aveiro, Portugal. vera.rodrigues@ua.pt
[4]CESAM & Departamento de Ambiente e Ordenamento, Universidade de Aveiro, Portugal. alexandra.monteiro@ua.pt
[5]IDAD, Campus Universitário, Aveiro, Portugal. joao.ginja@ua.pt

ISSN: 1985-5528
DOI: 10.22411/rede2017.1101.01

limit value was not exceeded in any day of the campaign, which verified the efficiency of the barrier. The solution studied in this work proved to be a very effective mitigation measure regarding the control of fugitive emissions of particles in the Port of Aveiro, contributing to the improvement of air quality in the surrounding area.

Keywords: petcoke emissions, CFD model, Wind Tunnel, particulate matter dispersion, mitigation measures.

1. INTRODUÇÃO

Recentemente, as emissões atmosféricas associadas à atividade portuária têm recebido particular atenção da comunidade científica, uma vez que se tornaram uma preocupação significativa para a qualidade do ar, em particular devido à proximidade dos portos com áreas urbanas. De acordo com a Organização Europeia dos Portos Marítimos, a principal prioridade ambiental para os portos marítimos é a qualidade do ar local, dada a sua importância na saúde dos trabalhadores portuários e dos residentes próximos (ESPO, 2013).Apesar dos progressos alcançados nas últimas décadas em relação ao controlo da poluição do ar nos Portos devido à aplicação de medidas rigorosas para reduzir as emissões, vários países da União Europeia têm registado excedências dos valores-limite legislados (EEA,2013).As emissões portuárias podem ser associadas a várias atividades, não apenas às dos navios, mas também aos processos de movimentação de graneis, armazenamento de matérias-primas,entre outros (ESPO,2013). O armazenamento (em espaço aberto) dos materiais em granel são uma das principais fontes de emissões fugitivas de matéria particulada, sendo que a tendência para ocorrer a dispersão de poeiras depende das características intrínsecas de cada material (tamanho, densidade, propriedades mecânicas, etc.), bem como das particularidades do local em concreto onde ocorre o seu armazenamento (ex. condições meteorológicas) (GUPTA et al. 2005).

O coque de petróleo (petcoque) é um combustível sólido que causa preocupação ambiental devido ao nível de contaminantes e é amplamente aplicado para fornecer energia para processos de combustão industrial, devido ao seu baixo custo. O petcoque é um material sólido de cor preta composto principalmente de carbono, podendo conter quantidades limitadas de formas elementares de enxofre, metais (como vanádio (V) ou níquel (Ni)) e compostos inorgânicos não voláteis (MCKEE et al. 2016). A crescente preocupação com os potenciais efeitos sobre a saúde pública e o ambiente está ligado à produção, armazenamento, transporte e uso de petcoque (DOURSON, 2016). Em 2010, Portugal foi o 25º maior importador mundial de petcoque, com um volume total de importação de pouco mais de 155 milhões de dólares e, entre 2011 e 2013, o país registou um crescimento de 2,9% nas importações (INDEXMUNDI, 2016). Estes números mostram que é necessário e urgente um conhecimento detalhado sobre os impactos deste material particulado na saúde humana. No presente estudo foi avaliado o impacto das emissões de petcoque na qualidade do ar da região envolvente ao Porto de Aveiro, Portugal, com recurso a modelação numérica (CFD) e modelação física (túnel de vento), para simulação da dispersão. Além disso, foram simuladas e testadas medidas de minimização (colocação de barreira física para redução da dispersão), com implementação posterior da melhor opção estudada e avaliação da sua eficácia com monitorização da qualidade do ar.

2. CASO DE ESTUDO

O Porto de Aveiro é um dos principais pontos de entrada de petcoque do país, devido à sua proximidade de uma das maiores cimenteiras do país. O petcoque geralmente é armazenado em pilhas no Terminal de Granéis Sólidos (TGS) e depois transportado por camiões para a fábrica de cimento de Souselas, que tem uma capacidade anual de produção de cimento de 3,5 Mton usando petcoque como combustível de produção (CIMPOR, 2014). Esta movimentação, bem como os movimentos de carga, podem potenciar um aumento das emissões e dispersão do material particulado na área envolvente.

A cidade de Gafanha da Nazaré (distrito de Aveiro), com uma população de aproximadamente de 15000 habitantes, está localizada a aproximadamente 1 km a sul do TGS do Porto de Aveiro (ver Figura 1).

REDE Revista Eletrônica do PRODEMA
Journal Homepage: www.revistarede.ufc.br
ISSN: 1985-5528
DOI: 10.22411/rede2017.1101.01

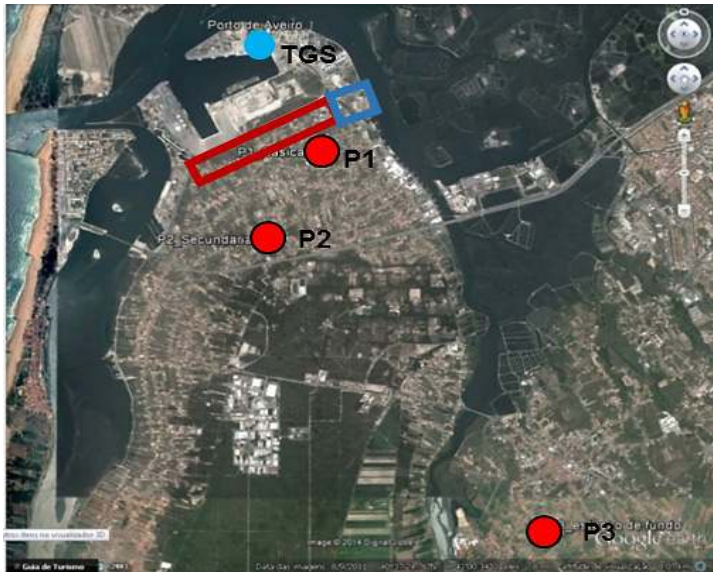


Figura1:Mapa da área de estudo, com a cidade de Gafanha da Nazaré. O ponto azul indica o TGS (40º39'15,63"N, 8º42'59,83"O), os pontos vermelhos P1, P2 e P3 indicam os pontos de medição da qualidade do ar. O quadrado vermelho indica a área habitacional localizada a sudeste do porto incluído no estudo de modelação, e o quadrado azul indica a área industrial. **Fonte**: https://www.google.pt/maps/@40.6518515,-8.7135557,1764m/data=!3m1!1e3

As condições típicas da circulação atmosférica nesta área foram obtidas com base no tratamento estatístico de uma série temporal de 8 anos consecutivos (de 2006 a 2013) de observações meteorológicas. Esta análise microclimática incidiu sobre os parâmetros velocidade e direção do vento medidos a uma altura de 10 m acima do solo na torre meteorológica da Universidade de Aveiro, a aproximadamente 5,5 km do domínio do estudo. A análise dos dados meteorológicos referentes ao período identificado permite concluir que, em termos médios, os ventos de Noroeste (NO), Norte (N) e Sudeste (SE) são os mais frequentes. Em termos de intensidade é, contudo, em situações de vento de NO que as velocidades mais elevadas ocorrem com maior frequência. Os ventos mais fracos (<2,1 m.s-1) ocorrem com maior predominância em situações de vento SE. As calmas (<0,5 m.s-1) representam menos de 4% do tempo. Dada a localização das habitações mais próximas do Porto de Aveiro a Sul (S) e SE do mesmo, considera-se que as condições de vento N e NO se afiguram como as mais propícias ao transporte de partículas de petcoque com eventual afetação da referida zona habitacional mais próxima.

3. IDENTIFICAÇÃO DO PROBLEMA

De forma a caraterizar a qualidade do ar na área envolvente do Porto de Aveiro, realizaram-se três campanhas de monitorização com condições atmosféricas distintas, dando, desta forma, três visões diferentes da qualidade do ar local. As monitorizações realizaram-se em três pontos distintos: 1,7 km a sudeste (P1), 2,8 km a sul (P2) e 8 km a sudeste (P3) do TGS (Figura 1). Durante as campanhas foi realizada a monitorização em contínuo de partículas em suspensão (PM10), entre outros poluentes, e metais pesados, como crómio, cobre, manganês, vanádio e zinco. O vanádio, o zinco e o níquel são geralmente associados às emissões de petcoque [5]. As concentrações de PM10, o valor limite diário para proteção da saúde humana, de 50 µg.m-3 (valor a não exceder mais de 35 vezes em cada ano civil), foi ultrapassado 21 vezes no Ponto 1, 18 vezes no Ponto 2 e 20 vezes no Ponto 3. Relativamente aos valores médios apresentados observa-se que, no Ponto 1 este é superior ao valor limite anual para proteção da saúde humana (40 µg.m-3). Considerando a combinação dos diferentes períodos de medição, o valor limite anual para proteção da saúde humana a concentração média de PM10 foi de 45 µg.m-3 na localização P1, 37 µg.m-3 em P2 e 34 µg.m-3 em P3,indicando uma maior

influência potencial das atividades portuárias e de outras fontes na localização P1.Durante o último período de medições, as concentrações diminuíram e o diferencial entre as concentrações em P1 e os outros locais foi menor (concentração média de PM10 de 29 µg.m-3 na localização P1, 29 µg.m-3 em P2 e 23 µg.m-3 no P3) (IDAD, 2015). Durante este período, os procedimentos e boas práticas apresentados na seção 3 já tinham sido implementados (por exemplo, mantendo as pilhas com um elevado teor de humidade e menos expostas ao vento para reduzir a emissão de material particulado), contribuindo para a redução das possíveis emissões do movimento e armazenamento do petcoque. Os metais pesados são inferiores aos respetivos valores limite e alvos definidos na legislação; de salientar que os teores de vanádio, poluente com relação conhecida ao petcoque, foram na generalidade baixos, apresentando, um perfil de variação de concentrações médias decrescentes ao longo dos três pontos na Campanha 1 e na Campanha 3, isto é, a concentração média mais elevada ocorreu no Ponto 1 e a mais baixa no Ponto 3 (WHO, 2000).

4. MEDIDAS DE MITIGAÇÃO E GESTÃO

Podem ser adotadas várias medidas de mitigação e gestão para reduzir as emissões e controlar a dispersão de partículas de petcoque resultante da sua movimentação no TGS. O controlo e/ou redução de emissões de partículas de petcoque deve considerar todas as operações envolvidas desde a recepção à partida do granel, tais como: descarregamento do navio usando a concha da grua; armazenamento no terminal; transporte para o seu destino final por caminhão ou comboio; cobertura da carga, para evitar libertação e depósito de resíduos de petcoque entre o cais e o destino do granel (BORREGO et al, 2007; GUPTA et al. 2005). Para reduzir o impacto das emissões de partículas de petcoque na qualidade do ar local, mesmo antes da implementação de uma barreira física, a Administração do Porto de Aveiro (APA) implementou várias boas práticas, tais como: i) aumentar o teor de humidade do petcoque através de canhões de água para controlar as emissões fugitivas durante os processos de carga e descarga; ii) reduzir o tempo de armazenamento de petcoque ao ar livre para minimizar as emissões de partículas; iii) limpeza do cais para evitar ressuspensão de graneis e poeiras depositadas nas estruturas e no pavimento do porto; iv) alterar a configuração da pilha para minimizar o vento incidente na pilha de petcoque; v) alteração no manuseamento durante a descarga do petcoque; vi) criar mecanismos internos que facilitem o acesso do operador da grua à informação sobre o regime de vento a que o terminal está sujeito, peça fundamental para o controlo das emissões de partículas provenientes do petcoque; e vii) monitorização regular e permanente da qualidade do ar, para avaliar a eficácia dos planos de gestão da qualidade do ar.Tendo em conta as medidas de mitigação enunciadas foi decidido avaliar a eficácia da implementação de uma barreira maciça a montante da zona de descarga do petcoque. A configuração ótima, i.e., dimensão e localização desta barreira, foi avaliada com simulações em Túnel de Vento (TV) e com recurso a um modelo CFD.

5. MODELAÇÃO FÍSICA

A modelação física em túnel de vento foi realizada nas instalações do Laboratório de Aerodinâmica da Atmosfera do Departamento de Ambiente e Ordenamento, da Universidade de Aveiro, em Portugal. O Laboratório está equipado com um túnel de vento de circuito aberto, de sucção, com uma seção de teste de 6,5 × 1,5 × 1,0 m (comprimento × largura × altura), conforme descrito em (BORREGO et al., 2007). Tipicamente, o túnel de vento é empregue em estudos que envolvem a simulação da camada limite atmosférica ao nível urbano para condições de estabilidade neutra.

Esta parte do estudo tem como objetivo determinar a dimensão e localização ótima de uma barreira maciça a ser implementada no TGS do Porto de Aveiro, de forma a minimizar a intensidade do vento incidente na pilha de petcoque, reduzindo as emissões de partículas. As simulações físicas em túnel de vento

REDE Revista Eletrônica do PRODEMA
Journal Homepage: www.revistarede.ufc.br
ISSN: 1985-5528
DOI: 10.22411/rede2017.1101.01

permitirão conhecer a dinâmica do escoamento turbulento à microescala e a sua ação sobre a pilha de petcoque, permitindo avaliar o efeito do escoamento na redução de emissões de petcoque após implementação das medidas de mitigação. Para tal, foram feitos ensaios para o cenário de referência, incluindo apenas a pilha, e para os cenários de mitigação testando diferentes configurações de barreira a implementar no terreno.

O domínio de estudo foi definido em torno da pilha de petcoque, tendo sido construídas pilhas de petcoque com a configuração de uma pirâmide trapezoidal, com as dimensões máximas referidas nas situações de movimentação de navios com cerca de 10 000 ton de petcoque, de acordo com as indicações da APA. Em todos os ensaios do estudo foram garantidas as dimensões da pilha à escala 1/127, que se encontra definida para 95×33 ×7 m (comprimento × largura × altura). A figura 2 apresenta as seis configurações (de "A" a "F") testadas em TV, incluindo as dimensões e posições de cada barreira em função da pilha.

As amostras de petcoque utilizadas em todos os ensaios apresentavam um teor de humidade abaixo de 1% e com uma granulometria baixa, representando o cenário mais favorável à emissão de partículas de petcoque. As diferentes configurações de barreira apresentadas na Figura 2 foram objeto de simulação em

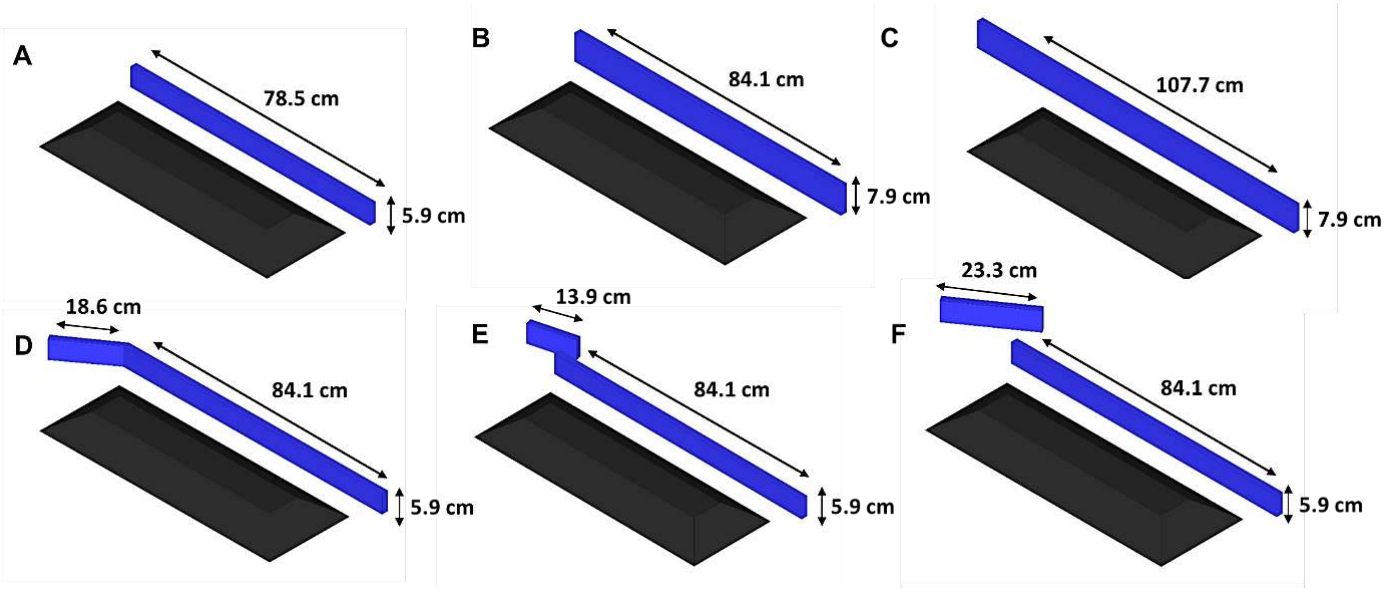


Figura 2: Perspetiva isométrica de SE das seis configurações de barreira testadas e respetivas dimensões (pilha de petcoque a preto e a barreira a azul). A distância entre a barreira e a pilha é de 4,5 cm, em todas as configurações.

túnel de vento para diferentes velocidades (3, 7 e 11 m.s-1) e direções do vento (N, NO e S), tendo por base as condições meteorológicas típicas na envolvente do Porto de Aveiro, associadas às condições meteorológicas mais favoráveis ao transporte de partículas de petcoque para a área residencial.

Para os cenários de referência e de mitigação efetuou-se a pesagem da pilha de petcoque, antes e depois de cada ensaio. A emissão de petcoque foi então calculada com base nas diferenças de massa da pilha, admitindo que o vento é o único agente responsável pelo transporte de partículas para jusante da pilha. Posteriormente, calculou-se a redução de emissão através da diferença entre a emissão com a barreira e o cenário de referência. Na Figura 3 apresentam-se para cada configuração de barreira as reduções de emissão mínima obtidas para cada ensaio.

As reduções de emissão máximas atingidas são de 100%, independentemente da configuração da barreira e direção do vento, para ventos com velocidade de 3 m.s-1 (ver Tabela 2). Todos os valores de redução de emissão mínima foram obtidos para ventos de NO coma velocidade mais elevada (11 m.s-1), sendo que as configurações D, E e F são aquelas que conduzem a uma redução mais significativa de transporte de partículas de petcoque. A configuração mais eficiente para diminuir a intensidade do vento incidente na pilha foi a configuração F, sendo por isso, a ênfase foi colocada nesta configuração.

REDE Revista Eletrônica do PRODEMA
Journal Homepage: www.revistarede.ufc.br
ISSN: 1985-5528
DOI: 10.22411/rede2017.1101.01

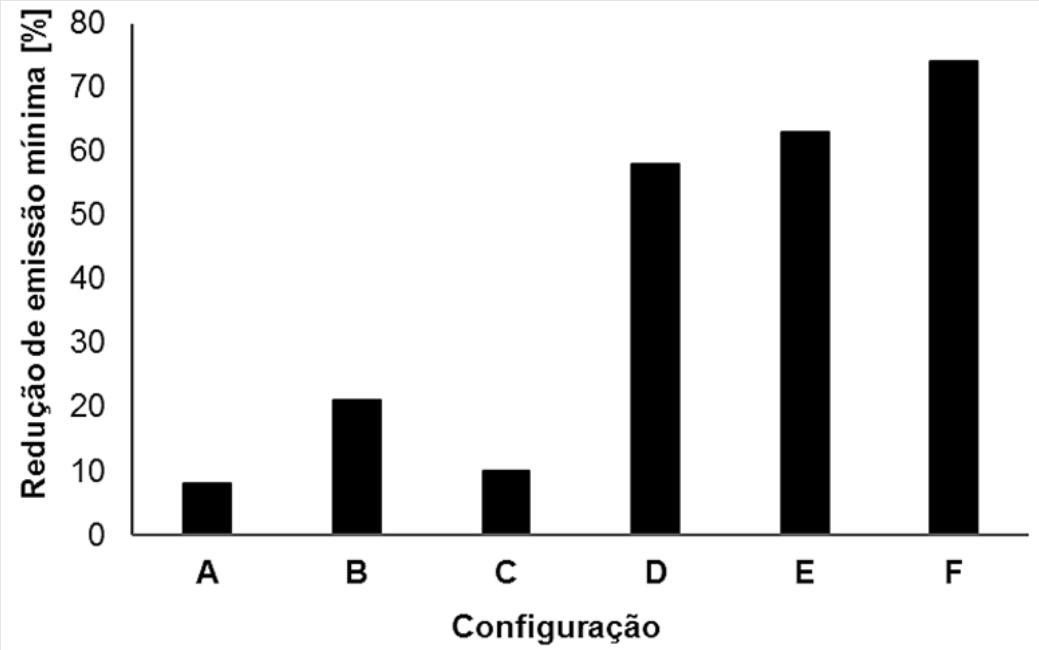


Figura 3: Redução mínima de emissões (%) obtida para as seis configurações de barreira distintas.

A Tabela 1 resume os principais resultados das emissões de uma pilha de 10 000 ton, para a situação de referência e o cenário de implementação da barreira a montante da pilha, para as diferentes configurações definidas. A redução de emissão é obtida através da diferença da fração mássica de partículas fugitivas para a situação de referência e para o cenário.

Direção do Vento	Velocidade ($m.s^{-1}$)	Fração partículas fugitivas - sem barreira (%)	Fração partículas fugitivas - com barreira (%)	Redução de emissão (%)
NO	3	0,020	0,000	100
	7	4,216	1,688	59
	11	45,605	11,765	74
N	3	0,016	0,000	100
	7	0,375	0,109	70
	11	43,846	5,140	88
S	3	0,016	0,000	100
	7	0,375	0,019	94
	11	43,846	11,010	74

Tabela 1:Redução de emissão (%) para as distintas velocidadese direções de vento usando a configuração F.

Os resultados para velocidades de 3 e 7 m s-1 indicam que a barreira é mais eficiente para ventos N e S, com reduções de 88% e 74% para ventos de 11 m.s-1, respetivamente. Apesar de apresentar eficiências mais baixas para ventos provenientes de NO, a configuração de barreira selecionada (F) continua a resultar em reduções significativas (74% para ventos de 11 m.s-1). A maior eficiência da barreira para ventos de 11 m.s-1soprando de NO e de N quando comparados com a velocidade de 7 m.s-1, pode ser explicada pela interação da própria barreira com o escoamento, ao criar recirculações no escoamento e turbulência na zona da pilha, para velocidades de vento intermédias, diminuindo a capacidade de transporte. No caso de ventos de sul, a barreira tem também um efeito positivo mantendo as partículas na área da pilha. Os ensaios foram

ISSN: 1985-5528
DOI: 10.22411/rede2017.1101.01

realizados com teores de humidade reduzidos, provocando emissões mássicas mais elevadas, não sendo previsível emissões desta ordem de grandeza na realidade, na maior parte das situações de operação. No entanto, a análise adimensional apresentada permite extrapolar as conclusões apresentadas para condições reais.

6. MODELAÇÃO NUMÉRICA

O modelo numérico comercial FLUENT, modelo da Computação da Dinâmica de Fluidos (CFD), foi aplicado a um conjunto de simulações numéricas para os cenários de referência e de mitigação (com implementação da barreira). As simulações para o cenário de referência foram realizadas com o objetivo de avaliar os impactos das emissões fugitivas resultantes do manuseamento de petcoque na qualidade do ar local. As simulações para o cenário de mitigação foram efetuadas para avaliar a eficácia da implementação de uma barreira a montante da pilha de petcoque.

O modelo CFD FLUENT tem sido amplamente aplicado à simulação da dinâmica do escoamento e dispersão de gases e partículas em torno de geometrias complexas em diferentes domínios científicos e técnicos. A avaliação de desempenho do FLUENT para a modelação da qualidade do ar urbano foi previamente avaliada (BORREGO et al., 2003).

Neste estudo, foi utilizada a versão 6.3.26 do FLUENT à simulação numérica da dinâmica do escoamento turbulento e da dispersão das emissões fugitivas de petcoque, aplicando a aproximação Reynolds--Averaged Navier Stokes (RANS) e um modelo de fecho de turbulência k-□ de primeira ordem. As simulações numéricas foram realizadas para uma base temporal horária, admitindo um escoamento em estado estacionário. As condições-limite à entrada do domínio foram definidas com base nos dados meteorológicos discutidos na seção 2, aplicando um perfil logarítmico teórico. O domínio de simulação foi desenhado com o pré-processador Gambit aplicando uma malha do tipo não-estruturada.

6.1 Cenário de referência

Para o cenário de referência, o domínio computacional engloba o TGS e a primeira linha de edifícios da zona habitacional localizada na proximidade do TGS. A dimensão horizontal do domínio é de 3 x 2,5 km e a resolução horizontal da malha é de 1x 1 m. As simulações numéricas para o cenário de referência foram realizadas para duas direções de vento, N e NO, e várias velocidades de vento a variar desde 1,3 m.s-1 (velocidade reduzidas)até 11 m.s-1 (velocidades elevadas). Utilizando o campo de ventos 3D, resultante da simulação do escoamento, foi simulado o transporte de partículas da pilha de petcoque aplicando o módulo de dispersão Lagrangeana disponível na versão FLUENT 6.3.26. A Tabela 2 apresenta as concentrações máximas obtidas para cada uma das simulações efetuadas.

Velocidade do vento ($m.s^{-1}$)	Direção do vento	Concentração máxima ($\mu g.m^{-3}$)		
		Domínio	Habitações	Indústrias
1,3	NO	100	<1	12
11	NO	500	<1	19
1,3	N	300	9	<1
11	N	600	9	<1

Tabela 2: Concentrações máximas obtidas para cada uma das simulações, no domínio, na zona habitacional e na zona industrial.

REDE Revista Eletrônica do PRODEMA
Journal Homepage: www.revistarede.ufc.br
ISSN: 1985-5528
DOI: 10.22411/rede2017.1101.01

Os resultados obtidos mostram, para ventos de N, que a zona de maior concentração de partículas localiza-se imediatamente a jusante da pilha, enquanto para ventos de NO regista-se a ocorrência de transporte de material particulado para a zona industrial. A contribuição máxima das emissões fugitivas de petcoque para a qualidade do ar na envolvente do Porto de Aveiro é de 9 µg.m-3 na área habitacional e de 19 µg.m-3 na zona industrial. Os resultados indicam que ventos de N transportam as partículas para a área habitacional. No entanto, as concentrações mais elevadas registam-se imediatamente a jusante da pilha, não constituindo uma ameaça para a população, à parte dos trabalhadores a operar nessa área (por exemplo, os trabalhadores portuários).

6.2 Cenário de mitigação

De forma a avaliar a eficácia da implementação de uma barreira a montante da pilha de petcoque realizaram-se novas simulações para um domínio computacional de 500 x 500 m, incluindo a pilha de petcoque e a barreira selecionada com a configuração mais eficiente identificada pelas simulações em túnel de vento (configuração F da Figura 4). A Figura 4 apresenta uma vista de oeste das trajetórias das partículas, coloridas em função da componente horizontal da velocidade do escoamento(u-), para velocidades do vento de 11 m.s-$^{-1}$de NO.

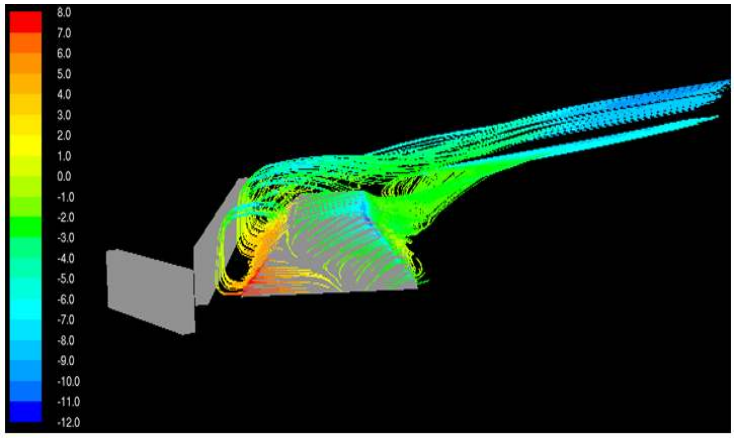


Figura 4. Vista de oeste das trajetórias das partículas para ventos de NO com velocidade de 11 m.s-1. A escala de cores representa a velocidade das trajetórias em m.s^{-1}.

A implementação da barreira resulta numa redução da emissão de partículas de petcoque de aproximadamente 68% para ventos de N e NO a 11 m.s-1. Os resultados revelam uma elevada eficiência da barreira para ambas as direções de vento com menos partículas transportadas no escoamento para jusante da pilha de petcoque. Os resultados da modelação CFD apresentam bom acordo com os resultados obtidos em túnel de vento (redução de 88% e 74% para ventos de N e de NO). Com base nos resultados da modelação física e numérica conclui-se que a aplicação da barreira reduz a intensidade de vento incidente na pilha de petcoque para as direções de vento com maior potencial de condicionar o transporte de partículas para região a S do Porto de Aveiro onde se localiza a zona habitacional mais próxima.

7. MONITORIZAÇÃO DA QUALIDADE DO AR APÓS A IMPLEMENTAÇÃO DA BARREIRA

O controlo e acompanhamento da eficácia da barreira física implementadaem setembro de 2016requer uma monitorização contínua e adequada da qualidade do ar. Para tal, foi colocada uma estação móvel com equipamentos de monitorização da qualidade do ar, tendo o local sido escolhido com base na análise de dados microclimáticos da região, nos resultados de modelação numérica e física do escoamento e dispersão atmosférica, bem como os critérios de representatividade das estações de qualidade do ar (Decreto-Lei nº 102/2010).

REDE Revista Eletrônica do PRODEMA
Journal Homepage: www.revistarede.ufc.br
ISSN: 1985-5528
DOI: 10.22411/rede2017.1101.01

O local selecionado para medição da qualidade do ar foi a Escola Básica da Gafanha da Nazaré (P1 na figura 1), tendo sido este o local de uma daslocalizaçõesusadas nas campanhasde monitorização realizadas em 2015,que precederam o estudo de modelação (IDAD, 2015).AFigura 5apresenta as concentrações de PM10, em médias diárias,medidas após a implementação da barreira no TGS, em que houve movimentação e armazenamento de petcoqueno TGS e o vento proveniente da área portuária, mais propriamente no período de 1 a 31 de outubro de 2016. Na Figura 5 estão também indicados os períodos em que ocorreu movimentação de petcoque (a vermelho).

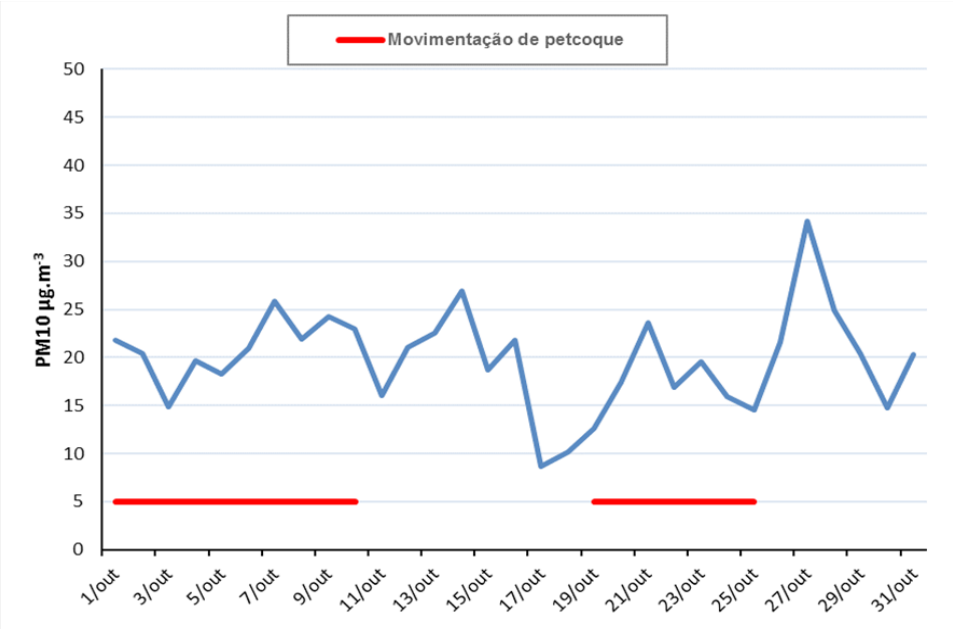


Figura 5. Médias diárias para PM10 medidas durante o mês de outubro de 2016, após a implementação da barreira e com indicação dos períodos de movimentação e armazenamento de petcoque.

As médias diárias de PM10 registadas foram inferiores ao valor limite legislado (50 µg.m-3)em todo o período de medição, com valores sempre inferiores a 35 µg.m-3 e um valor médio de 20 µg.m-3. Os períodos de movimentação e armazenamento de petcoque (1-10 e 19-25 de outubro) não refletem aumentos de concentração de partículas, mantendo-se o registo de médias diárias entre os 10-20µg.m--3(IDAD, 2016). É de salientar que 28% dos registos horários deste mês ocorrem com direção do vento proveniente do TGS, correspondente à situação mais crítica em termos de dispersão de partículas para a área urbana envolvente.

A rosa de poluição apresentada na Figura 6A, que tem em conta todo o período de monitorização, identifica as direções de vento de N-NO e SE como as mais frequentes e com registo de elevadas concentrações concentração dePM10. A rosa de poluição relativa apenas ao período de manuseamento de petcoque (Figura 6B) confirma a representatividade deste período face ao total monitorizado, com uma prevalência forte dos ventos de direção N-NO, que correspondem à situação meteorológica mais crítica em termos de impacto na qualidade do ar na zona urbana envolvente.

REDE Revista Eletrônica do PRODEMA
Journal Homepage: www.revistarede.ufc.br
ISSN: 1985-5528
DOI: 10.22411/rede2017.1101.01

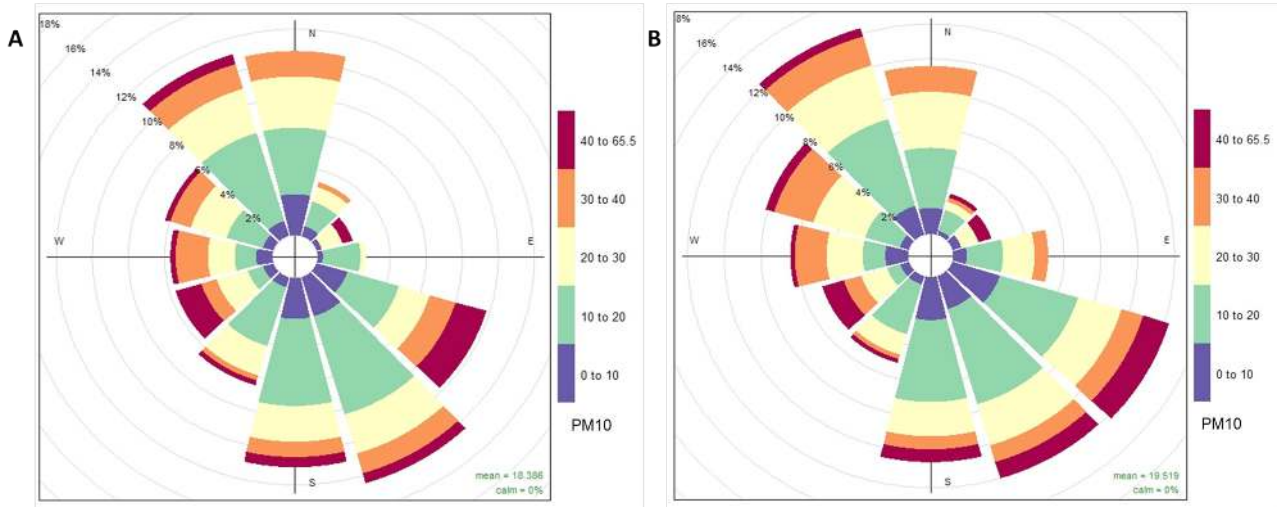


Figura 6.a) Rosa de poluição para as PM10 (µg.m-3) dos 31 dias de outubro de 2016; **Figura 6.b)** Rosa de poluição para as PM10 (µg.m-3)durante o período em que houve movimentação e armazenamento de petcoque.

8. CONCLUSÃO

Este trabalho teve como principal foco identificar um conjunto de estratégias mitigadoras da poluição do ar associadas à atividade portuária, de forma a minimizar a emissão de partículas petcoque para as áreas envolventes do Porto de Aveiro, mais especificamente na área urbana da Gafanha da Nazaré. Numa primeira fase foi estimado o contributo da emissão difusa de partículas de petcoque e compreendido o processo de dispersão das partículas resultantes da referida movimentação, com recurso a técnicas de modelação numérica (CFD) e física (túnel de vento). Foram simulados diferentes cenários para estudar a melhor localização e dimensão de uma barreira de proteção para redução da velocidade do vento incidente na pilha de petcoque e, assim, minimizar a dispersão de petcoque para as áreas habitacionais, situadas a S e a SE do TGS. Os resultados obtidos na modelação física em túnel de vento apontam para uma redução de emissão de partículas para a velocidade do vento fraca (3 m.s-1) na ordem dos 100% para todas as direções analisadas (N, NO e S). Nas direções mais críticas para a zona habitacional (N e NO) obtiveram-se reduções de emissão de aproximadamente 88% e 74%, respetivamente, para a velocidade elevada de 11 m.s-1. Os resultados da modelação numérica reforçaram a indicação que os ventos de N conduzem a matéria particulada para a área a S do TGS e a implementação da barreira poderia mitigar eficientemente o problema. Com base nos resultados monitorizados após a implementação da barreira, é possível concluir que configuração da barreira é uma solução viável e efetiva para reduzir a dispersão e o transporte das partículas de petcoque, bem como as boas práticas de manuseamento do granel. No período de medição analisado a monitorização da qualidade do ar feita posteriormente à implementação da barreira de proteção, não é evidente a existência de uma influência significativa das emissões de petcoque nos níveis de partículas (em condições meteorológicas favoráveis à dispersão).

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi apoiado por Fundos Europeus através do COMPETE e por Fundos Nacionais através da Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT) no âmbito do projeto AIRSHIP(PTDC/AAG-MAA/1581/2014). Os autores também agradecem à Administração do Porto de Aveiro, SAa possibilidade de divulgar os resultados.

ISSN: 1985-5528
DOI: 10.22411/rede2017.1101.01

REFERÊNCIAS

Borrego, C., Tchepel, O., Costa, A.M., Amorim, J.H. & Miranda, A.I., Emission and dispersion modelling of Lisbon air quality at local scale. **Atmospheric Environment**, 37, pp. 5197-5205, 2003.

Borrego, C., Costa, A. M., Amorim, J., Santos, P., Sardo, J., Lopes, M. & Miranda, A. I., Air quality impact due to scrap-metal handling on a sea port: a wind tunnel experiment. **Atmospheric Environment**, 41, pp. 6396-6405, 2007.

CIMPOR Enterprise, http://www.cimpor-portugal.pt/, acesso em 2016, 2014.

Dourson, M.L., Chinkin, L.R., MacIntosh, D.L., Finn, J.A., Brown, K.W., Reid, S.B. & Martinez, J.M., A Case Study of Potential Human Health Impacts from Petroleum Coke Transfer Facilities. **Journal Air Waste Management Association**,66, pp 1061–1076, 2016.

ESPO - European Sea ports Organisation, Top Environmental Priorities of European Ports for 2013. **An Analysis Taking Port Size and Geography into Consideration**. ESPO, Brussels, 2013.

EEA - European Environment Agency, 2013. **The impact of international shipping on European air quality and climate forcing**. EEA Technical report No 4/2013.

Gupta, A.K., Gupta, S.K. &Patil, R.S., Environmental management plan for port and harbour projects. **Clean Technologies and Environmental Policy**, 7(2), pp. 133 – 141, 2005.

IDAD (InstitutodoAmbiente e Desenvolvimento), **Avaliação da Qualidade do Ar na Envolvente do Porto de Aveiro**, IDAD Relatório No. R074.15-14/05.05, Aveiro,100pag , 2015.

IDAD (InstitutodoAmbiente e Desenvolvimento), **Monitorização da qualidade do ar na envolvente do Porto de Aveiro**, IDAD relatório No. R197.16-16/06.08 – Aveiro, 24 pag, 2016.

IndexMundi, http://www.indexmundi.com/trade/imports/?subchapter=2713, accessed in 2016, 2016.

McKee, R.H., Herron, D., Beatty, P., Podhasky, P., Hoffman, G.M., Swigert, J., Lee, C. & Wong, D., Toxicological Assessment of Green Petroleum Coke. **International Journal Toxicology**, 33, pp. 156S-167S, 2014.

WHO (2000). Air quality guidelines for Europe.**WHO Regional Office**. Copenhagen.