Resumo

O objectivo fundamental deste trabalho consistiu no estudo da transferência de calor na zona imediatamente acima da superfície livre de um leito fluidizado borbulhante para uma parede de membrana que confinava o reactor. Existiam poucos dados na literatura técnica e científica sobre fenómenos de transferência de calor nesta região e as informações disponíveis resumiam-se a estudos de transferência de calor para feixes de tubos colocados na referida região do reactor, ao passo que informações sobre transferência de calor para paredes de membrana eram escassas. Como nos leitos à escala industrial a região imediatamente acima do leito está confinada por paredes de membrana, achou-se conveniente tentar quantificar os valores da transferência de calor nestas circunstâncias, assim como identificar os principais mecanismos envolvidos no fenómeno. Determinou-se ainda a influência da mecânica de fluidos do leito e constatou-se que o borbulhamento, e subsequente projecção e espalhamento das partículas têm um peso fundamental na definição da transferência de calor.

Este estudo foi importante uma vez que os leitos fluidizados são uma tecnologia de queima relativamente recente que tem dado boas provas em termos de controlo de emissões de poluentes gasosos, e ao mesmo tempo se tem revelado bastante adequada à queima de biomassa, uma das fontes renováveis de energia que poderá ser relevante no futuro combinado energético nacional e europeu.

Pretendeu-se então caracterizar os mecanismos de transferência de calor envolvidos entre o leito e as superfícies de contacto imediatamente acima deste, comparando a sua importância relativa face às diferentes condições de operação. Para isso foi construída uma instalação de leito fluidizado à escala laboratorial, constituída por um reactor aquecido por uma resistência eléctrica de 2 kW, seguido de um permutador com uma parede de camisa por onde circulou água, tecnicamente designada por parede de membrana. A experiência foi realizada a quente sendo avaliadas as temperaturas do lado da água e do lado dos gases, bem como a variação da pressão no interior do leito e acima deste ao longo da zona de transporte das partículas de menor dimensão. Para constituição do leito usou-se areia de sílica de cinco granulometrias diferentes, e a

fluidização foi conseguida com gás. Numa primeira fase o estudo foi feito só com ar à pressão atmosférica e usando temperaturas entre 400 e 700 ºC.
Numa segunda fase usou-se ar e propano comercial, provocando-se a combustão no interior do próprio leito, devido à auto-ignição do propano face à temperatura imposta.
Com os dados recolhidos, tendo em atenção as diferentes condições de operação, desenvolveram-se várias correlações gerais para quantificar o coeficiente global de transferência de calor entre o leito e a superfície de membrana. Foi também estudada a importância do tamanho das partículas na taxa de transferência de calor e desenvolvidas correlações em termos de um coeficiente de convecção das partículas. Além disso procurou-se quantificar a taxa de arrasto das partículas a partir da superfície do leito, tendo por base a sua importância na transferência de calor.
Como todo o trabalho inovador a nível experimental, que pretende esclarecer temas ainda pouco desenvolvidos, neste também surgiram algumas limitações físicas inerentes à própria instalação experimental e que só foram sendo detectadas no decorrer do próprio processo. Uma delas foi a baixa potência térmica no aquecimento do leito que não permitiu alargar a gama de trabalho no que diz respeito aos caudais de gás usados; outra limitação foi a incapacidade de visualização quer do escoamento do leito quer da progressão da chama decorrente da reacção de combustão do propano. Aumentar a potência de aquecimento era no entanto arriscado face às dimensões da própria instalação e a visualização pretendida é complicada face à necessidade de usar materiais que resistam às altas temperaturas reinantes nos ensaios de combustão.

Abstract

The main objective of this work was the study, in the free board of a bubbling fluidized bed, of the heat transfer towards a water cooled confining membrane wall. The available data in the technical and scientific literature, concerning the heat transfer in this region, is scarce and concerns essentially heat transfer across tube bundles placed in the free board region, while data on the heat transfer towards membrane walls is almost non existent.

In prototype and industrial fluidized bed plants, the free board confining walls are mainly of the membrane type and, accordingly, it was considered relevant to look at happens in this region in terms of heat transfer mechanisms and to find out the influence of the fluid mechanics of the fluidized bed upon such heat transfer mechanisms. It was found that particle projection and splashing had a relevant impact upon the heat transfer rate.

The present study is important because fluidized beds are a relatively new burning technology and are being extensively used for biomass combustion, a renewable energy source which is expected to have a relevant role in the future national and European energy mix scenarios.

To perform these experiments, to characterize the heat transfer mechanisms in the freeboard region of a bubbling fluidized bed, a laboratory scale fluidized bed reactor, heated by a 2 kW electric resistance, was built. The bed had water cooled membrane walls in the freeboard region. High temperature tests were done with temperature and pressure drop readings in the bubbling bed, freeboard and circulating region, and in the cooling water flow.

The bed was composed by silica sand and fluidized with air in the 400-700 ºC temperature range and with air propane combustion gases above 700 ºC. Five different sand particle sizes were tested.

Through the measured data, several correlations were developed to quantify the global heat transfer coefficient under different operating conditions. The importance of particle size on the heat transfer rate was also studied and, again, a correlation for the particle heat transfer coefficient is presented. The particles transportation rate away from the bed surface was quantified, based on the fraction of the global heat transfer that was assigned to the energy transportation out of the bed by the particles.

As expected in any new experimental work, some set backs occurred which were dependent upon the physical limitations of the experimental layout. Such was the case of the small amount of bed heating power which limited the fluidizing gas flow operating rate; another limitation was the lack of visualization capabilities during the progression of the experiments. However, due to the small reactor size the increase of heating power has some limitations and the installation of visualization ports is a complicated matter because of high temperature materials required for the combustion experiments.