

Gaseificação Térmica de Resíduos Agroindustriais¹

Thermal Gasification of Agro-industrial Wastes

Paulo Sérgio Duque de Brito

Luís Filipe do Carmo Calado

Resumo

O presente artigo pretende demonstrar os resultados experimentais de gaseificação térmica de biomassa, sobre o potencial energético de resíduos agroindustriais da região de Portalegre.

Os ensaios foram realizados utilizando uma unidade piloto de gaseificação térmica de biomassa, de leito fluidizado borbulhante, às temperaturas de 750° C, 800° C e 850° C, com caudais mássicos de 30 kg/h, 40 kg/h e 60 kg/h.

Os resultados do estudo demonstram a influência negativa que o aumento da temperatura provoca no poder calorífico do gás de síntese. Os ensaios realizados a temperaturas inferiores, 750° C, revelam um aumento na concentração de CO entre os 10%-20%, e um decréscimo da concentração de N₂ na ordem dos 10%, bem como de CO₂ na ordem dos 5%, relativamente aos ensaios à temperatura de 850° C. Os resultados obtidos demonstram também que o aumento do caudal mássico é responsável pelo aumento do poder calorífico do gás de síntese para a biomassa cascarilha de café, nomeadamente, no aumento da concentração de CO, superior a 10% comparando os caudais de 30% e 60%, e o aumento da concentração de H₂, que em alguns dos ensaios realizados chega quase a 50%. Para as biomassas *miscanthus* e caroço de pêssigo o aumento de caudal foi prejudicial para o poder calorífico do gás de síntese.

No entanto, o aumento da temperatura é favorável a uma diminuição da produção de alcatrões, no processo de gaseificação térmica.

O estudo demonstra a viabilidade e potencialidade da utilização destas biomassas, com poderes caloríficos na ordem dos 4 MJ/kg a 6 MJ/kg, para a valorização energética através de gaseificação térmica.

Palavras Chave: biomassa; gaseificação térmica; leito fluidizado borbulhante; poder calorífico.

Abstract

This article intends to demonstrate the experimental results of thermal gasification of biomass, on the energy potential of agro-industrial wastes in the region of Portalegre.

Assays were performed using a pilot thermal gasification of biomass, with bubbling fluidized bed, at temperatures of 750° C, 800° C and 850° C, mass flow rate 30 kg/h 40 kg/h 60 kg/h.

The results of the study demonstrate the negative impact that increasing of the temperature causes on the calorific value of the synthesis gas. Tests conducted at lower temperatures, 750° C, show an increase in the concentration of CO in order of 10%-20% and a decrease in the concentration of N₂ in order of 10%, and CO₂ in the range of 2% relative to the tests at a temperature of 850° C. The results also show that, increasing the mass flow rate in coffee husk biomass, is responsible for increasing the calorific value of the synthesis gas, particularly at increased concentration of CO, over 10% comparing rates of 30% and 60% feeding, and increased concentration H₂, in some of the tests reaches almost 50%. For *miscanthus* and peach pit biomasses the increasing mass flow rate was adverse for the caloric value of synthesis gas.

However, increased temperature favors a decreased production of tars in the thermal gasification process.

The study demonstrates the feasibility and potential of coffee husk, with calorific values around 4 MJ/kg to 6 MJ/kg for energy recovery through thermal gasification.

Keywords: biomass; thermal gasification; bubbling fluidized bed; calorific value.

¹ Trabalho apresentado no III Seminário de I&DT, organizado pelo C3i – Centro Interdisciplinar de Investigação e Inovação do Instituto Politécnico de Portalegre, realizado nos dias 6 e 7 de Dezembro de 2012.

1. Introdução

Durante o processo industrial são produzidos muitos resíduos, nomeadamente nas indústrias agroalimentares. Enquanto a maioria dos resíduos tem como destino final a reutilização em ração para animais, outros que pelas suas características, são inadequados para as rações de animais e tem como destino final a utilização como fertilizantes ou então são queimados para aproveitamento térmico. Os exemplos típicos destes tipos de resíduos são, a cascarilha e borra de café, sedimentos de chá, caroço de pêsego e bagaço de azeitona. Todos estes materiais representam uma fonte de biomassa concentrada, fazendo desta matéria-prima uma fonte fácil e eficiente de ser usada para neutralizar o dióxido de carbono. Deste ponto de vista, o desenvolvimento de tecnologias de alta eficiência de conversão de energia torna-se altamente necessária.

A gaseificação térmica de biomassa é um dos processos mais eficientes de transformar resíduos em energia disponível.

O presente estudo pretende demonstrar a viabilidade da gaseificação térmica de cascarilha de café, caroço de pêsego e *miscanthus*, em gás de síntese rico em hidrogénio e monóxido de carbono ao mesmo tempo que demonstra a sustentabilidade da gaseificação térmica por leito fluidizado borbulhante.

2. Fundamento Teórico

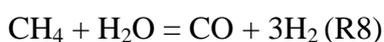
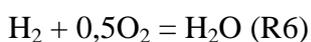
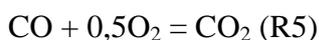
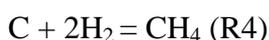
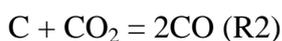
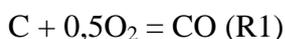
2.1 Gaseificador de leito fluidizado

O processo de gaseificação térmica por leito fluidizado borbulhante, dá-se através da adição de ar e um catalisador (dolomite e/ou olivina), queimando-se parte dos carvões e alcatrões produzidos. Esta etapa dá-se a temperaturas na ordem dos 650°C até aos 900°C, e a admissão de oxigénio atmosférico, em quantidades inferiores à reação estequiométrica, é favorável para a combustão dos carvões e alcatrões remanescentes.

Destas reações heterogéneas entre a fase sólida e a fase gasosa, resulta um gás cujos conteúdos são hidrogénio, monóxido e dióxido de carbono, metano, e vapor de água e azoto se for alimentada a ar.

A composição dos gases depende essencialmente da taxa de aquecimento, da temperatura final e da quantidade de biomassa e ar introduzidos no reator.

Os mecanismos catalíticos das reações de gaseificação são descritos em seguida:



- A reação 2 (R2) é endotérmica; portanto à medida que a temperatura aumenta no interior do gaseificador maior será a reatividade entre CO_2 e os carvões presentes, dando origem ao CO. Mas quando a temperatura atinge os 800°C nos ensaios realizados (exceção para a cascarilha de café), existem ainda suficientes carvões presentes para dar continuidade à reação, embora não para manter a alta temperatura no interior do gaseificador, e como resultado a quantidade de CO_2 aumenta, enquanto o CO diminui.
- A reação 3 (R3) é endotérmica; o que significa que o aumento de temperatura aumenta a produção de CO e H_2 , sendo que aumenta o consumo de carvões e água.
- A reação 4 (R4) é exotérmica; com o aumento da temperatura existe a diminuição da concentração de CH_4 , deixando mais H_2 presente no gás de síntese.
- O CO entra em reação com o O_2 (R5) disponível produzindo CO_2 .
- O H_2 reage com o O_2 (R6), originando H_2O .
- A reação 7 (R7) é exotérmica; produz menos CO_2 e H_2 a altas temperaturas, o que significa que o CO e H_2O são menos consumidos.

- O CH_4 é reduzido durante a reação 8 (R8); é uma reação endotérmica e é favorecida pelo aumento da temperatura, sendo assim o CH_4 diminui enquanto o H_2 e o CO aumentam a concentração.

2.2 Efeito da temperatura no gás de síntese

A pirolise é uma etapa fundamental do processo de degradação térmico da biomassa e cujo controlo determina a composição final do gás de síntese e a distribuição dos seus componentes.

Os principais componentes do gás de síntese, H_2 , CO , CH_4 e CO_2 , sofrem alterações com o aumento da temperatura e o tempo de residência no interior do reator. A tendência do rendimento do CH_4 e CO_2 no gás de síntese é de aumentar com a temperatura para valores assintóticos.

A alta temperatura é responsável também pela produção de alcatrões na reação de gaseificação térmica. O aumento da temperatura permite uma menor produção de alcatrões na reação.

2.3 Efeito da admissão de biomassa

O aumento do caudal mássico, em condições controladas devido ao excesso de ar no interior do reator, reflete um aumento do poder calorífico do gás de síntese.

Aumentando a admissão de biomassa tende para um favorecimento do aumento das concentrações de CO e H_2 no gás de síntese.

3 Metodologia Utilizada

Este estudo foi realizado no Instituto Politécnico de Portalegre, Escola Superior de Tecnologia e Gestão, utilizando uma central piloto de gaseificação térmica de biomassa por leito fluidizado, como é representado na figura 1, e equipamentos de caracterização de biomassa do laboratório de química.

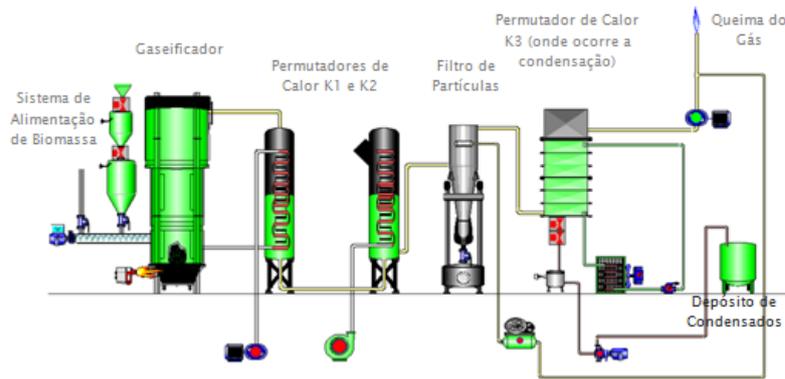


Figura 1. – Esquema da central piloto de gaseificação térmica de biomassa.

O sistema é composto por dois silos de biomassa, ligados a um parafuso sem fim, que constitui o sistema de alimentação.

O gaseificador tem cerca de 4,5 metros de altura e 0,5 metros de largura, de capacidade de admissão de biomassa de 100 kg/h com 50kg de dolomite no leito.

O gás de síntese é arrefecido por dois permutadores de calor, K1 e K2, sendo que o permutador de calor K1 é também responsável pelo pré-aquecimento do gás de síntese. As cinzas e os carvões vão ser removidos nos filtros de mangas, sistema com sete filtros limpos com disparados de gás de síntese recolhido através de um compressor a jusante da bomba de vácuo.

O permutador de calor K3, serve para retirar os alcatrões do sistema através de condensação, que são posteriormente reencaminhados para um depósito.

O último órgão do sistema, é uma bomba de vácuo, que garante que todo o controlo do sistema.

Uma vez garantida a temperatura pré-determinada e o caudal de entrada de biomassa, o sistema estabilizava cerca de duas horas e em seguida inicia-se o ensaio. Os ensaios

tiveram a duração de duas horas cada um, com recolhas em duplicado do gás de síntese e contabilização de temperaturas, fluxos, cinzas e alcatrões.

4 Resultados do Estudo

Os resultados do estudo sobre gaseificação térmica das diferentes biomassas por leito fluidizado para diferentes temperaturas e diferentes admissões de biomassa são apresentados. Os principais parâmetros de desempenho de gasificação abordados incluem a evolução do gás de síntese e a composição do gás de síntese.

4.1 Composição das biomassas

As análises imediatas e definitivas correspondentes a cada tipo de biomassa, são apresentadas no quadro 1:

Parâmetro	Biomassa		
	Cascarilha	Caroço de Pêssego	Miscanthus
Análise elementar (%)			
C	40,1	41,0	44,5
H	5,6	5,7	5,2
N	5,2	4,9	5,3
Densidade (Kg/m ³)	623	600	600
Poder calorífico (MJ)	17,9	18,8	18,6
Humidade (%)	15,0	7,0	11,4
Voláteis (%)	60,5	63,0	64,4
Carbono fixo (%)	22,9	29,0	22,1
Cinzas (%)	1,8	1,0	2,1

Tabela 1. Características da biomassa.

A primeira observação dos resultados obtidos pelos diferentes ensaios realizados às biomassas, permite verificar que, o poder calorífico aumenta com a quantidade de carbono presente na biomassa, mas também é afetado devido à presença de humidade.

O poder calorífico considera-se como a quantidade de calor sensível que é extraído da combustão de um combustível. Ora o poder calorífico aumenta quando diminuí a humidade porque, durante a combustão, parte da energia libertada durante a queima é utilizada para a mudança de estado físico da água, de líquido para gasoso (vaporização).

Geralmente a biomassa na natureza apresenta um teor superior a 60% de matéria volátil. Este teor, relativamente elevado, quando comparado com o da lenhite e carvão betuminoso (25-40%), resulta num aumento de produtos condensáveis em qualquer sistema de conversão termoquímica, nomeadamente no período inicial do ensaio.

Apesar das biomassas utilizadas nos ensaios de gaseificação térmica apresentarem um baixo teor em cinzas, quando comparadas, por exemplo, com a casca de arroz (cerca de 20%), estas podem ser responsáveis por vários contratempos no sistema, como fundirem no distribuidor de ar, formarem depósito no gaseificador, ou formarem depósito nas superfícies dos tubos.

As cinzas e os condensados (alcatrões) são dois produtos da gaseificação térmica que constituem uma influência notável nos sistemas de conversão termoquímica, e por conseguinte, dependendo do que se pretende gaseificar, são os grandes responsáveis pelo design e construção de uma central de gaseificação térmica de biomassa.

Os resultados da análise elementar são muito importantes no sentido de determinar a relação ar-combustível em sistemas de termoconversão teóricos, para calcular a taxa de aquecimento e também para ter um conhecimento do potencial poluidor da biomassa. Geralmente a análise elementar relata a percentagem de carbono, hidrogénio, azoto e enxofre numa amostra de biomassa.

A composição orgânica de biomassas linhocelulósicas não difere muito, apresentando aproximadamente a seguinte fórmula $C_6H_9O_4$, representando 50% de carbono em peso total.

4.2 Análise XRF

Este método analisa a composição média dos elementos metálicos presentes nas amostras de dolomite.

Nesta análise a dolomite utilizada foi do ensaio com biomassa de cascarilha de café.

Amostras	Dolomite														
	%														
	Zr	Sr	Rb	Pb	Zn	Fe	V	Ti	Ca	K	P	Si	Cl	S	Mg
Dolomite Nova	0,000	0,023	0,000	0,000	0,000	0,121	0,005	0,011	85,551	0,000	0,000	0,620	0,063	0,063	13,542
Dolomite Utilizada	0,015	0,030	0,001	0,002	0,016	4,492	0,004	0,019	82,507	0,617	1,408	1,817	0,179	0,054	8,838

Tabela 2. Análise da Dolomite Antes e Depois do Ensaio.

Os resultados apresentados demonstram a composição inorgânica da dolomite antes e depois do ensaio.

Embora em pequenas percentagens, a dolomite analisada posteriormente ao ensaio de gaseificação, mostra que, na sua composição existem alguns metais que não se encontram na dolomite nova. A presença destes metais, que constituem a biomassa, deve-se às diferentes reações provocadas pela gaseificação, os quais ficam retidos nos poros da dolomite. A diminuição das concentrações de cálcio e magnésio pode dever-se à dolomite ser muito friável, como referido anteriormente, e ser arrastada, depois de degradada, com o caudal de gás e partículas até aos filtros de mangas. De facto foi usual a observação de dolomite junto com as cinzas quando se realizavam os primeiros ensaios.

4.3 Resultados dos Ensaios de Gaseificação Térmica

A gaseificação térmica foi estudada com variação de temperatura (750° C, 800° C e 850° C) e também com a variação do caudal mássico (30 kg/h, 40 kg/h e 60 kg/h). Os resultados são apresentados:

Parâmetros	Biomassa								
	Cascariilha de Café								
Operatórios									
Temperatura (°C)	755	799	851	749	797	853	747	800	850
Pressão no parafuso (mbar)	-16	-15	-30	-50	-25	-38,9	-21	-44	-30
Caudal mássico (kg/h)	30,3	30,3	30,3	40,4	40,4	40,4	58,2	58,2	58,2
Caudal de ar entrada (kg/h)	299,9	283,7	551,25	737,7	616,1	729,6	583,7	721,5	810,7
Caudal de gás saída (kg/h)	360,7	403,7	434,63	659,9	565,3	538,9	509,5	434,6	647,3
Condensados (kg/h)	3,1	5,3	5,2	8,6	6	6,3	6,4	3,3	2,7
Cinzas (kg/h)	0,1	0,2	1	4,5	1,1	1	2	3	4,1
Composição do gás (%)									
H ₂	7,8	7,2	11,4	10,2	13,8	8,8	15,3	13,9	12,7
CO	12,3	11,6	10,5	10,2	12,6	8,9	13,3	12,2	11,5
CH ₄	3,4	3,2	2,9	2,7	2,7	2,2	2,9	2,9	3,4
Etano	0,1	0	0	0	0	0	0,1	0	0
Etileno	1,1	1	0	0,4	0,5	0,2	0,9	0,6	0,4
CO ₂	18,1	17,6	19	17,1	18,9	17,2	18,1	18,7	18,5
N ₂	53,5	55,7	53,2	53,9	49,5	56,2	47,2	49,3	51,1
Outros Gases	3,7	3,7	3	5,5	2	6,5	3	2,5	2,5
Poder calorífico (MJ/Kg)	3,4	3,1	2,9	3,6	3,6	2,3	4,1	3,6	3,5

Tabela 3. Resultado dos ensaios de gaseificação térmica da biomassa cascarilha de café.

Biomassa									
Parâmetros	Caroço de Pêssego								
Operatórios									
Temperatura (°C)	750	796	853	750	802	847	746	800	846
Pressão no parafuso (mbar)	-36,5	-29	-52	-24	-25	-27	-54	-51	-52
Caudal mássico (kg/h)	33,1	33,1	33,1	45,3	45,3	45,3	59,4	59,4	59,4
Caudal de ar entrada (kg/h)	405,3	364,8	478,3	445,9	462,1	478,3	729,6	705,3	737,7
Caudal de gás saída (kg/h)	381,7	248	507,8	532,2	507,8	722,2	989,5	756,6	828,9
Condensados (kg/h)	6,7	5,7	5,7	10,5	7,6	8,2	6,1	8,8	5,7
Cinzas (kg/h)	0,5	1,5	1,4	1,2	1,1	0,6	2,1	2,7	2
Composição do gás (%)									
H ₂	7,9	8,2	8,2	8,5	7,4	12,6	10,3	11,4	11
CO	18,6	16,5	14,3	15,7	14,9	10,9	12,4	14	13,7
CH ₄	3,6	3,6	3,5	4,1	4,2	3	3,2	2,8	2,9
Etano	0,1	0,1	0	0,1	0,1	0	0	0	0
Etileno	1,1	1	0,8	1,1	1,1	0,8	0,4	0,4	0,3
CO ₂	12,8	14,7	16,7	15,1	15,2	13,7	16,7	16	16
N ₂	51,8	52	52,9	51,1	52,2	50,9	52,9	51,8	51,9
Outros Gases	4,1	3,8	3,4	4,5	4,8	7,8	4,1	3,6	4,1
Poder calorífico (MJ/Kg)	4,3	4	3,6	4,1	3,9	3,7	3,3	3,5	3,4

Tabela 4. Resultado dos ensaios de gaseificação térmica da biomassa caroço de pêssego.

Biomassa									
Parâmetros	Miscanthus								
Operatórios									
Temperatura (°C)	747	795	853	745	805	853	756	798	853
Pressão no parafuso (mbar)	-13	-16	-17	-10	-1	-38,9	-25	-30	-26
Caudal mássico (kg/h)	33,1	33,1	33,1	45,3	45,3	45,3	59,4	59,4	59,4
Caudal de ar entrada (kg/h)	291,8	316,2	308,1	243,2	405,3	729,6	689,1	697,2	713,4
Caudal de gás saída (kg/h)	275,8	324,5	318,6	318,6	424,6	360,7	658,3	721,3	679,3
Condensados (kg/h)	3,4	2,2	5,2	4,9	2,8	6,3	6,4	7,6	5,8
Cinzas (kg/h)	0,3	0,2	1	0,6	0,9	1	3,3	5,8	2,2
Composição do gás (%)									
H ₂	8	7,8	9,5	10,9	12,8	9,7	10,9	8,9	10,8
CO	15,7	13,9	13,3	17	15	12	13,3	11	13,2
CH ₄	4,9	4	3,3	6,8	4,6	3,5	3,7	2,9	3,8
Etano	0,1	0	0	0,2	0	0	0	0	0
Etileno	1,3	1	0,6	1,6	0,6	0,3	0,5	0,3	0,3
CO ₂	16,5	16,1	17,1	15,9	16,6	16,8	16,8	15,7	15,7
N ₂	49,9	51,9	52,1	43,1	47,2	52,5	51,2	54,1	50,7
Outros Gases	3,4	5	3,7	4,3	3	4,9	3,6	7	5,5
Poder calorífico (MJ/Kg)	4,4	3,8	3,6	5,8	4,5	3,3	3,7	2,9	3,6

Tabela 4. Resultado dos ensaios de gaseificação térmica da biomassa *miscanthus*.

4.4 Efeito temperatura no gás de síntese

Uma primeira análise mostra que gás de síntese produzido é relativamente rico em monóxido de carbono (percentagem em massa, entre os 5% e os 14%), metano e etileno (entre 1% e 3%) e hidrogénio (entre 9% e 15%) sendo, efetivamente, estes quatro gases os principais pelo poder calorífico dos gases de síntese produzidos.

Miscanthus

Observando a análise aos resultados obtidos com a biomassa *miscanthus* para admissão de biomassa de 45,3 kg/h, à temperatura de 745° C, 805° C e 853° C, é notório que o

poder calorífico diminui com o aumento da temperatura, como também é explícito no gráfico seguinte:

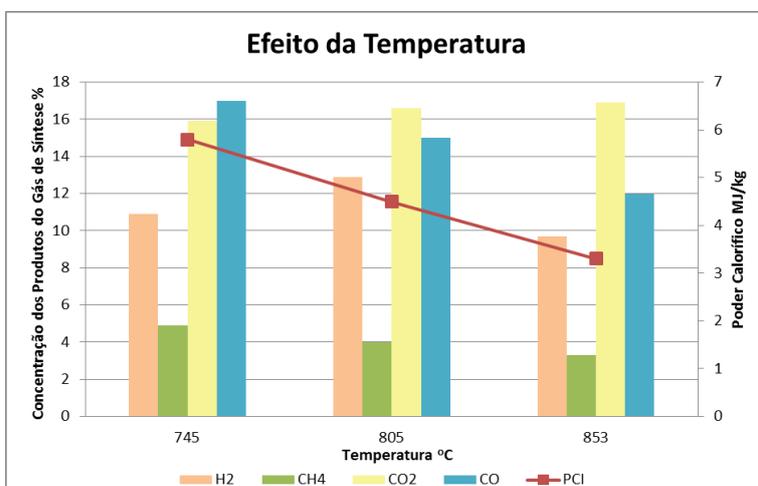


Gráfico 1. Efeito da temperatura no poder calorífico do gás de síntese e na sua composição.

Ao aumentar a temperatura do ensaio de gaseificação, a uma temperatura mais elevada, resulta numa maior conversão de biomassa em dióxido de carbono e, como consequência, observa-se uma diminuição do poder calorífico do gás.

Neste ensaio em particular as reações que mais caracterizam o ensaio são:

- A reação 2 (R2) é endotérmica; o aumento de temperatura conduziu à diminuição de CO e ao aumento de CO₂.
- A reação 3 (R3) é endotérmica. Neste caso esta equação não se aplica por que não há variação de admissão de biomassa ao longo do ensaio. Esta análise, efeito da admissão, será realizada mais à frente.
- A reação 4 (R4) é exotérmica. De facto é o que se observa neste ensaio, com o aumento de H₂ e a diminuição de CH₄, à medida que a temperatura aumenta.

Caroço de Pêssego

Para os resultados obtidos com a biomassa caroço de pêsego, para admissão de biomassa de 33,1 kg/h, à temperatura de 750° C, 796° C e 853° C, é notório que o poder calorífico diminui com o aumento da temperatura, tal como acontece com a biomassa anterior:

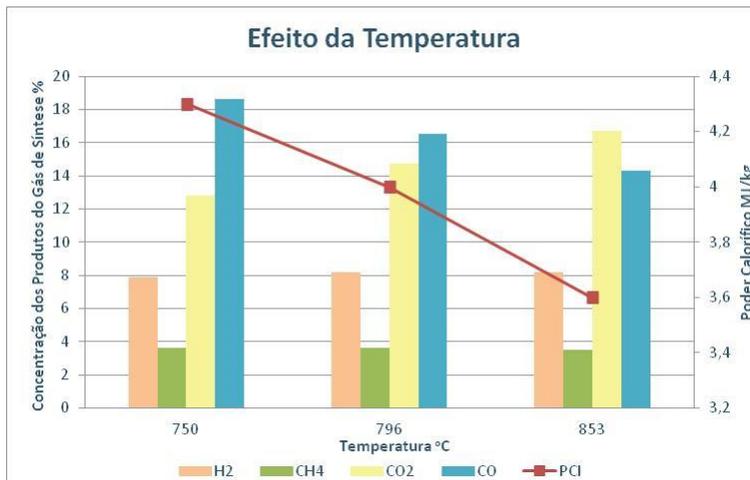


Gráfico 2. Efeito da temperatura no poder calorífico do gás de síntese e na sua composição.

Um pouco à imagem do que se passa com o ensaio dos *miscanthus*, ao aumentar a temperatura do ensaio de gaseificação, resulta numa maior conversão de biomassa em dióxido de carbono e, como consequência, observa-se uma diminuição do poder calorífico do gás.

As concentrações de CO e CH₄ diminuem com o aumento da temperatura e a concentração de H₂ e CO₂ aumentam, seguindo as mesmas justificações que o ensaio anterior.

Borra de Café

Com este tipo de biomassa decorreram ensaios semelhantes aos analisados anteriormente, mas devido à especificidade da composição física da mesma, encontrava-se a granel, os resultados não foram satisfatórios. Os ensaios foram repetidos e os

melhores resultados são analisados, apesar de não seguirem o mesmo critério utilizado nas anteriores biomassas, devido à falta de tempo para realização dos ensaios.

Para os resultados obtidos com a biomassa borra de café, para admissão de biomassa de 58,4 kg/h, à temperatura de 717° C, a 97,3 kg/h, à temperatura de 717° C e à admissão 136,3, à temperatura de 736° C. Existe um aumento do poder calorífico, não só devido ao aumento da temperatura, mas também devido ao aumento do caudal mássico de borra de café que foi gaseificado.

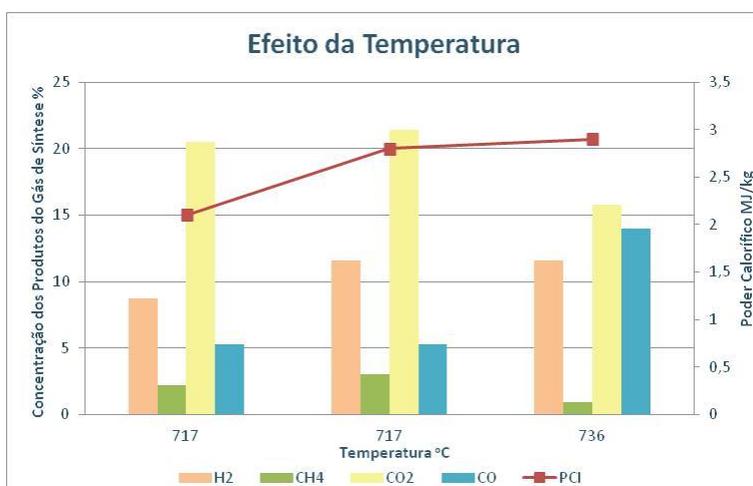


Gráfico 3. Efeito da temperatura no poder calorífico do gás de síntese e na sua composição.

Esta análise não pode ser tão objetiva como as análises às restantes biomassas, uma vez que o aumento da temperatura também coincidiu com o aumento da admissão de biomassa. No entanto, nota-se que com o aumento da temperatura, e indiferentemente à quantidade de biomassa que é introduzida no gaseificador, a percentagem de CH₄ diminui e as percentagens de CO e H₂ aumentam, mostrando que O CH₄ é reduzido durante a reação 8 o que favorece o aumento das concentrações de H₂ e o CO presentes no gás de síntese.

Cascarilha de Café

Analisando os resultados obtidos com a biomassa cascarilha de café, para admissão de biomassa de 58,2 kg/h, à temperatura de 747° C, 800° C e 850° C, é evidente o

decréscimo do poder calorífico com o aumento da temperatura, tal como acontece com os resultados das biomassas caroço de pêsego e *miscanthus*:

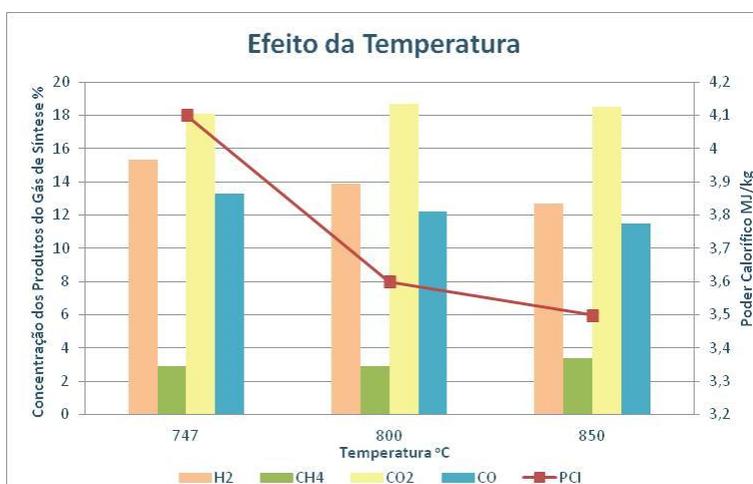


Gráfico 4. Efeito da temperatura no poder calorífico do gás de síntese e na sua composição.

Neste caso, apesar da diminuição do poder calorífico com a temperatura a concentração de H₂ e CO diminuem também com o aumento da temperatura, aumentando a concentração de CO₂.

O aumento do CO₂ explica-se pela reação 5 (R5), pois existe muito mais oxigénio disponível no gaseificador, com o aumento da temperatura.

4.5 Efeito admissão de biomassa no gás de síntese

Normalmente variações de temperatura e/ou admissão de biomassa estão relacionadas com variações do caudal de ar que entra no gaseificador.

Nos ensaios realizados com as biomassas *miscanthus* e caroço de pêsego, para uma mudança de caudal de aproximadamente 10kg, regista-se um pequeno aumento do poder calorífico do gás de síntese, pois as alterações no sistema não foram exageradas e houve uma boa resposta. No que respeita a uma aumento de aproximadamente 30 kg/h relativamente à primeira admissão, não correspondeu a um aumento do poder calorífico, pelo contrário, o poder calorífico decresceu devido à excessiva introdução de ar para estabilizar a temperatura no reator devido ao excesso de biomassa:

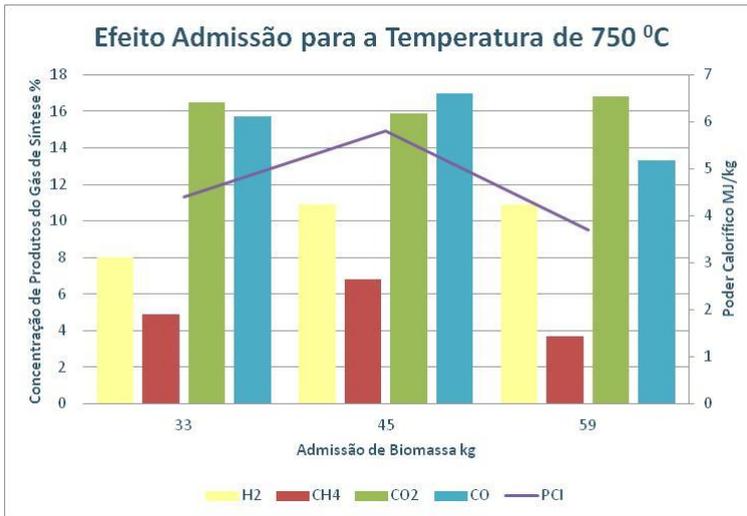


Gráfico 5. Efeito da admissão no poder calorífico do gás de síntese e na sua composição. Miscanthus.

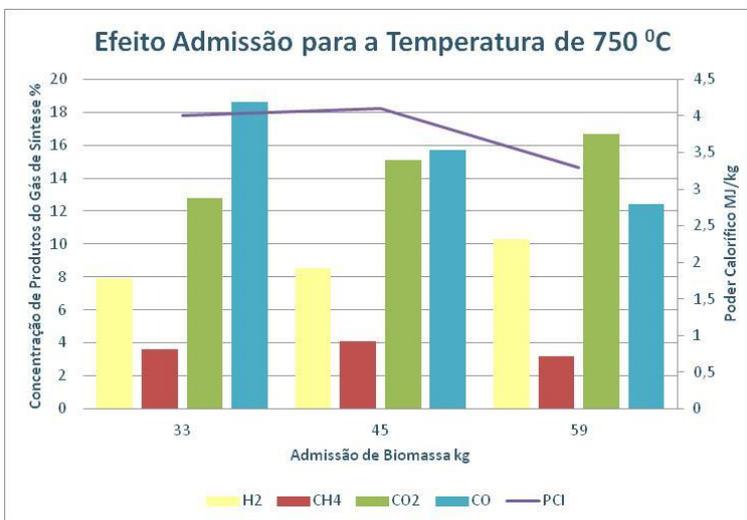


Gráfico 6. Efeito da admissão no poder calorífico do gás de síntese e na sua composição. Carço de Pêssego.

O contrário passa-se com as biomassas borra de café e cascarilha de café. Ao aumentar o caudal de biomassa o poder calorífico tende a aumentar.

O aumento de biomassa aumenta a quantidade de C e H₂ presentes no gaseificador, o que, com a introdução de ar em pequenas quantidades, favorece o aumento das concentrações de CO e H₂ presentes no gás de síntese.

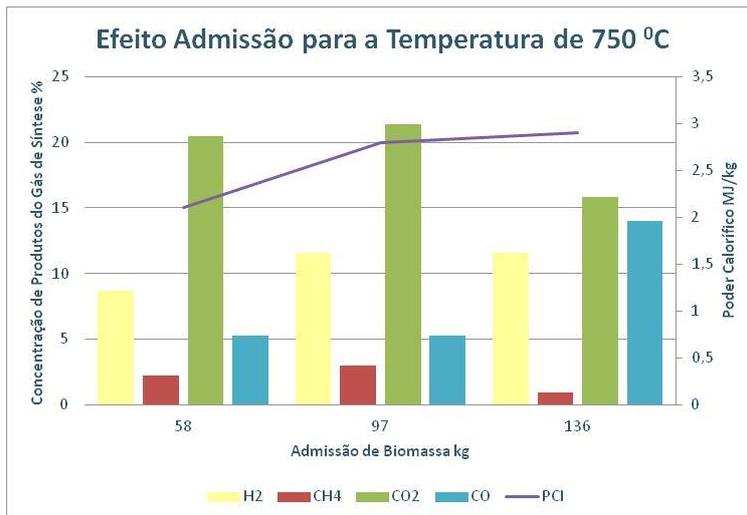


Gráfico 7. Efeito da admissão no poder calorífico do gás de síntese e na sua composição. Borra de Café.

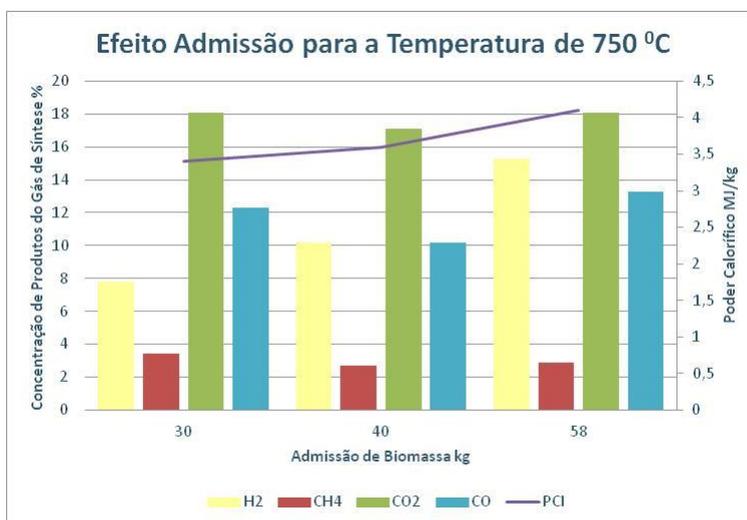


Gráfico 7. Efeito da admissão no poder calorífico do gás de síntese e na sua composição. Cascarilha de Café.

5 Conclusão

No presente estudo foi analisada a gaseificação térmica de cascarilha de café em leito fluidizado borbulhante, utilizando dolomite como catalisador, a temperaturas na gama do 700° C até 850° C.

Os efeitos da temperatura e quantidade de biomassa que se introduz no gaseificador desempenham um papel importante na qualidade final do gás de síntese.

Os ensaios realizados a uma temperatura mais elevada resultaram numa maior conversão de biomassa em gás de síntese rico em hidrogénio. Embora não se reflita no

aumento do poder calorífico, uma vez que o gás de síntese analisado, não é um gás seco. As temperaturas menos elevadas tendem favorecer as reações de cracking térmico e o aumento da concentração de monóxido de carbono, que vão aumentar o poder calorífico do gás de síntese.

A admissão de biomassa tem grande influência no gás de síntese final, pois aumenta a concentração de hidrogénio e monóxido de carbono. Ao aumentar a quantidade de biomassa no interior do reator, deve-se ter em consideração o aumento do ar no interior do reator. O ar em excesso vai prejudicar as reações de cracking térmico e também promove a diminuição da concentração de monóxido de carbono, ao mesmo tempo que promove o aumento dos alcatrões presentes no gás de síntese.

Além disso, este trabalho tem como objetivo demonstrar a viabilidade de transformar resíduos ou culturas energéticas num gás valioso, rico em hidrogénio e outros produtos altamente relevantes em termos de poder calorífico e interessantes para a indústria química. Mostrou também que a unidade de gaseificação térmica teve um desempenho muito aceitável durante os ensaios.

6 Referencias

- [1] Peter McKendry, “*Energy production from biomass (part 1): overview of biomass*”, Bioresource Technology 83, 2002.

- [2] Directive 2009/28/EC of the European Parliament and of the Council, “*on the promotion of the use of energy from renewable sources*”, 23/04/2009.

- [3] Dermibas, Ayhan, “*A realistic fuel alternative for diesel engines*”, Springer, 28/02/2008.

- [4] Santos, Jorge, “*Avaliação da Biomassa de Plantas Bioenergéticas*”, dissertação para a obtenção do Grau de Mestre em Engenharia do Ambiente – Tecnologias Ambientais, 2009.

- [5] Velez Jhon F., Chejne Farid, Valdés Carlos, Eder J. Emery, Londoño Carlos, “*Co-gasification of Colombian coal and biomass in fluidized bed: An experimental study*”, 11/03/2008.

- [6] Knoef, HAM., et al, “*Hand Book Biomass Gasification*”, BTG biomass technology group BV, Holanda, 2005.

[7] Loo, SjaakVan, et al, “*The Hand book of Biomass Combustion and Co-firing*”, Earthscan Publications Ltd”, 2007.

[8] Juan Manuel de Andrés, Adolfo Narros, María Encarnación Rodríguez, “*Behaviour of dolomite, olivine and alumina as primary catalysts in air-steam gasification of sewage sludge*”, 02/2011.

[9] D. Dayton, “*A Review of the Literature on Catalytic Biomass Tar Destruction*”, 12/2002.

[10] Coelho Pedro, Costa Mário, “*Combustão*”, Edições Orion, 1ª Edição, 2007.

[11] Doherty Wayne, Reynolds Anthony, Kennedy Kennedy, “*Simulation of a Circulating Fluidised Bed Biomass Gasifier using ASPEN Plus: a Performance Analysis*”, School of Mechanical and Transport Engineering at ARROW@DIT, 01/01/2008.

7 Notas sobre autores

Paulo Sérgio Duque de Brito

pbrito@estgp.pt

É Professor Coordenador com Nomeação Definitiva na Escola Superior de Tecnologia e Gestão, do Instituto Politécnico de Portalegre, onde exerce atualmente funções de Presidente do Departamento de Tecnologias e Design. É também, Coordenador Institucional do C3i-IPP.

É Licenciado em Engenharia Química, ramo de Processos e Indústria, pelo Instituto Superior Técnico; Mestre em “Corrosion Science and Engineering” pelo UMIST, Universidade de Manchester; Doutor em Engenharia Química, pelo Instituto Superior Técnico na área da electroquímica – sobre células galvânicas. Possui também um MBA – Master of Business and Administration.

As principais áreas de investigação estão relacionadas com bioenergia, tratamentos ambientais de resíduos, corrosão de materiais e produção galvânica de energia.

Tem cerca de 150 trabalhos publicados entre revistas científicas, capítulos de livros e apresentações em congressos.

Luís Filipe do Carmo Calado

lfcc22@gmail.com

Bolseiro de Investigação no âmbito do projeto ALTERCEXA, apoiado pelo C3i/Instituto Politécnico de Portalegre.

É licenciado em Engenharia do Ambiente pela Universidade Lusófona e mestrando em Energia e Ambiente na Universidade de Évora.

As áreas de investigação prendem-se com gaseificação térmica de biomassa em leito fluidizado borbulhante.