

POTENCIAL BIOMÁSSICO PARA ENERGIA



GRELHA DE CARACTERIZAÇÃO PARA ENERGIA

<http://converte.lneg.pt/>



ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO

CONVERTE - Potencial biomássico para energia	5
Tipologia de amostras – casos de estudo	6
Soluções tecnológicas e produtos energéticos	7
Valor sustentável	9

2. GRELHA DE CARACTERIZAÇÃO PARA ENERGIA

Distribuição das amostras por tipos de matriz	11
Admissibilidade das amostras às tecnologias	12
Caracterização físico-química, definição de parâmetros discriminantes por tipo de matriz e grelha de critérios de admissibilidade às tecnologias	13
Grelha de caracterização para energia – Notas explicativas para aplicação aos casos de estudo	19

3. ADMISSIBILIDADE DAS AMOSTRAS ÀS TECNOLOGIAS - Aplicação a casos de estudo

Tipo de Matriz 1: RESÍDUOS SÓLIDOS E LAMAS ESPESSAS	24
FRAÇÃO ORGÂNICA DE RESÍDUOS URBANOS E LAMAS DE ETAR (I.1.)	24
Resíduos da recolha seletiva de orgânicos (HORECA)	25
Resíduos da recolha seletiva de verdes	26
Fração para composto após tratamento mecânico e biológico	27
Fração para valorização orgânica após tratamento mecânico	28
Lamas de ETAR	29
RESUMO I.1.	30
BIORRESÍDUOS E SUBPRODUTOS PRODUZIDOS EM CONTEXTO INDUSTRIAL E LAMAS DE ETARI (I.2.)	31
Resíduos da produção de azeite (bagaço)	32





ÍNDICE

Resíduos da produção de azeite (folhas de oliveira)	33
Resíduos da produção de azeite (caroço de azeitona)	34
Resíduos do processamento da castanha	35
Resíduos do processamento da alfarroba	36
Resíduos da produção do vinho (folhelho)	37
Resíduos do processamento do tomate	38
Lamas de ETARI do processamento do tomate	39
Resíduos de avicultura	40
Lamas primárias da indústria da pasta e papel	41
Lamas de ETARI da indústria do laticínios	42
Lamas de ETARI do processamento de fruta	43
RESUMO I.2.	44
Tipo de Matriz 2: LAMAS LÍQUIDAS E GORDURAS	46
FRAÇÃO ORGÂNICA DE RESÍDUOS URBANOS (II.1.)	47
Fração para valorização orgânica por digestão anaeróbia (líquida)	47
BIORRESÍDUOS E SUBPRODUTOS PRODUZIDOS EM CONTEXTO INDUSTRIAL E LAMAS DE ETARI (II.2.)	48
Resíduos da produção de azeite com elevado teor de gordura	49
Resíduos do processamento de fruta	50
Subprodutos da indústria dos laticínios	51
Lamas da ETARI da produção de vinho	52





ÍNDICE

Lamas da ETAR do processamento da castanha	53
Lamas da ETAR da indústria dos laticínios, com elevado teor de gordura	54
RESUMO II.1. e II.2.	55
Tipo de Matriz 3: EFLUENTES	56
BIORRESÍDUOS E SUBPRODUTOS PRODUZIDOS EM CONTEXTO INDUSTRIAL E LAMAS DE ETAR (III.1.)	56
Efluentes da produção de azeite	57
Efluentes da indústria dos laticínios	58
Efluentes de suinicultura	59
Efluentes de avicultura	60
RESUMO III.1.	61
4. RENDIMENTOS E TAXAS DE CONVERSÃO- Casos de estudo por tecnologia	
Fração orgânica de resíduos urbanos: resíduos sólidos e lamas espessas / lamas líquidas e gorduras	63
Biorresíduos e subprodutos produzidos em contexto industrial: resíduos sólidos e lamas espessas	64
Biorresíduos e subprodutos produzidos em contexto industrial: lamas líquidas e gorduras	67
Biorresíduos e subprodutos produzidos em contexto industrial: efluentes	69
5. FLUXOGRAMAS DE PROCESSO E VALOR SUSTENTÁVEL POR TECNOLOGIA	70
6. GRELHA DE CARACTERIZAÇÃO PARA ENERGIA – Ficha técnica	75
7. BIBLIOGRAFIA	78
8. EQUIPA	79





RENDIMENTOS e TAXAS de CONVERSÃO

Casos de estudo por tecnologia



Fração orgânica dos resíduos urbanos



TECNOLOGIA AMOSTRAS	Ref. ^a	T1 (Trans)- esterificação	T2 Digestão Anaeróbia	T3 Fermentação alcoólica	T4 Fermentação escura	T5 Combustão	T6 Gasificação em leito fluidizado	T7 Pirólise líquida	T8 Liquefação hidrotérmica
Resíduos da recolha seletiva de orgânicos (HORECA)	313/LBB/2017				Y _{PIS} : 72 L H ₂ / kg biomassa seca Q _P : 0,26 L H ₂ / L.h C _P : 93% (v/v) H ₂ no gás de saída				
Resíduos da recolha seletiva de verdes	347/LBB/2017								Y _{PIS} : 700 g bio-óleo / kg biomassa seca T _{Proc} : 0,5 horas Obtenção de bio-óleo bruto que requer refinação
Fração para composto após TMB	várias								
Fração para valorização orgânica após TM	várias								
Lamas de ETAR	várias								
Fração para valorização orgânica por digestão anaeróbia (líquida)	10/LBB/2018								
PRODUTO		Biodiesel	Biogás e Biometano	Etanol	Hidrogénio	Elettricidade e calor	Gás de síntese	Bio-óleo	Bio-óleo

Y_{PIS} - Rendimento em produto; Q_P - Taxa de produção; T_{Proc} - Tempo de reação; C_P - Concentração em produto



Biorresíduos e subprodutos produzidos em contexto industrial (I): resíduos sólidos e lamas espessas

Resíduos
sólidos e lamas
espessas



TECNOLOGIA AMOSTRAS	Ref. ^a	T1 (Trans)- esterificação	T2 Digestão Anaeróbia	T3 Fermentação alcoólica	T4 Fermentação escura	T5 Combustão	T6 Gasificação em leito fluidizado	T7 Pirólise líquida	T8 Liquefação hidrotérmica
Resíduos da produção de azeite (bagaço)	353/LBB/2017		Y _{PIS} : 4 L CH ₄ / kg biomassa recebida Q _P : 0,01 L CH ₄ / kg.h T _{Proc} : 25 dias C _P : 69% (v/v) CH ₄ no biogás						
	364/LBB/2017					Y _{PIS} : 5 – 9 MJ / kg biomassa seca † T _{Proc} : < 5 minutos	Y _{PIS} : 1 m ³ gás síntese / kg biomassa seca T _{Proc} : < 5 minutos C _P [% v/v]: H ₂ : 43,6; CO ₂ : 27,6; CO: 15,5; hidrocarbonetos: 13,3		
Resíduos da produção de azeite (folhas de oliveira)	354/LBB/2017					Y _{PIS} : 6 – 10 MJ / kg biomassa seca † T _{Proc} : < 5 minutos	Y _{PIS} : 1 m ³ gás síntese / kg biomassa seca T _{Proc} : < 5 minutos C _P [% v/v]: H ₂ : 30,6; CO ₂ : 20,7; CO: 27,4; hidrocarbonetos: 21,3		
Resíduos da produção de azeite (caroço de azeitona)	352/LBB/2017					Y _{PIS} : 6 – 10 MJ / kg biomassa seca † T _{Proc} : < 5 minutos	Y _{PIS} : 1 m ³ gás síntese / kg biomassa seca T _{Proc} : < 5 minutos C _P [% v/v]: H ₂ : 41,1; CO ₂ : 31,2; CO: 14,2; hidrocarbonetos: 13,5		
PRODUTO		Biodiesel	Biogás e Biometano	Etanol	Hidrogénio	Eletricidade e calor	Gás de síntese	Bio-óleo	Bio-óleo

Y_{PIS} - Rendimento em produto; Q_P - Taxa de produção; T_{Proc} - Tempo de reação; C_P - Concentração em produto

†, valores expectáveis



Biorresíduos e subprodutos produzidos em contexto industrial (I-cont.ção): resíduos sólidos e lamas espessas

Resíduos
sólidos e lamas
espessas



TECNOLOGIA AMOSTRAS	Ref. ^a	T1 (Trans)- esterificação	T2 Digestão Anaeróbia	T3 Fermentação alcoólica	T4 Fermentação escura	T5 Combustão	T6 Gasificação em leito fluidizado	T7 Pirólise líquida	T8 Liquefação hidrotérmica
Resíduos do processamento da castanha	350/LBB/2017		Y _{P/S} : 11 L CH ₄ / kg biomassa recebida Q _P : 0,06 L CH ₄ / kg.h T _{Proc} : 30 dias C _P : 46% (v/v) CH ₄ no biogás		Y _{P/S} : 12 LH ₂ / kg biomassa seca Q _P : 0,13 L H ₂ / L.h C _P : 50% (v/v) H ₂ no gás saída				
Resíduos do processamento da alfarroba	18/LBB/2018	*		Y _{P/S} : 0,24 L EtOH / kg biomassa seca Q _P : 1,8 g EtOH / L.h C _P : 63 g EtOH / L	Y _{P/S} : 84 L H ₂ / kg biomassa seca Q _P : 0,20 L H ₂ / L.h C _P : 93% (v/v) H ₂ no gás de saída				
Resíduos da produção do vinho (folhelho)	42/LBB/2018								
Resíduos do processamento do tomate	várias								
Lamas de ETAR do processamento do tomate	290/LBB/2018								
PRODUTO		Biodiesel	Biogás e Biometano	Etanol	Hidrogénio	Elettricidade e calor	Gás de síntese	Bio-óleo	Bio-óleo

* AMOSTRA	Ref. ^a	Fermentação com levedura oleaginosa	PRODUTO
Resíduos do processamento da alfarroba	18/LBB/2018	Y _{P/S} : 0,17 g biomassa de levedura / g biomassa seca Y _{P/S} (lípidos): 0,06 g lípidos / g biomassa seca Q _P (lípidos): 0,05 g lípidos / L.h C _P (lípidos): 36 % (m/m biomassa de levedura)	Óleo de origem microbiana produzido previamente a partir de resíduos não-oleosos

Y_{P/S} - Rendimento em produto; Q_P - Taxa de produção; T_{Proc} - Tempo de reação; C_P - Concentração em produto



Biorresíduos e subprodutos produzidos em contexto industrial (I-cont.ção): resíduos sólidos e lamas espessas



TECNOLOGIA AMOSTRAS	Ref. ^a	T1 (Trans)- esterificação	T2 Digestão Anaeróbia	T3 Fermentação alcoólica	T4 Fermentação escura	T5 Combustão	T6 Gasificação em leito fluidizado	T7 Pirólise líquida	T8 Liquefação hidrotérmica
Resíduos de avicultura	várias								
Lamas primárias da indústria da pasta e papel	99/LBB/2018			Y _{P/S} : 0,26 L EtOH / kg biomassa seca Q _P : 1,4 g EtOH / L.h C _P : 50 g / L EtOH					
Lamas de ETARI da indústria dos laticínios	367/LBB/2017		Y _{P/S} : 2 L CH ₄ / L biomassa recebida Q _P : 0,01 L CH ₄ / L.h T _{Proc} : 45 dias C _P : 73% (v/v) CH ₄ no biogás						
Lamas de ETARI do processamento de fruta	192/LBB/2018								
PRODUTO		Biodiesel	Biogás e Biometano	Etanol	Hidrogénio	Eletricidade e calor	Gás de síntese	Bio-óleo	Bio-óleo

Y_{P/S} - Rendimento em produto; Q_P - Taxa de produção; T_{Proc} - Tempo de reação; C_P - Concentração em produto



Biorresíduos e subprodutos produzidos em contexto industrial (II): lamas líquidas e gorduras



TECNOLOGIA AMOSTRAS	Ref. ^a	T1 (Trans)-esterificação	T2 Digestão Anaeróbia	T3 Fermentação alcoólica	T4 Fermentação escura	T5 Combustão	T6 Gasificação em leito fluidizado	T7 Pirólise líquida	T8 Liquefação hidrotérmica
Resíduos da produção de azeite com elevado teor de gordura	30/LBB/2018	Y_{PIS} : $Y_{FAME/óleo} = 40,5\%$ (m/m); Y_{PIS} : $Y_{FAME/biomassa} = 19,7\%$ (m/m) C_p : 34,9% (m/m) de ésteres ‡						Y_{PIS} : 830 g bio-óleo/ kg biomassa seca T_{Proc} : 0,5 horas C_p : 76% (v/v) de fração destilada no bio-óleo bruto	
	84/LBB/2018	Y_{PIS} : $Y_{FAME/óleo} = 3,6\%$ (m/m); Y_{PIS} : $Y_{FAME/biomassa} = 2,9\%$ (m/m) C_p : 9,4% (m/m) de ésteres ‡						Y_{PIS} : 700 g bio-óleo/ kg biomassa seca T_{Proc} : 0,5 horas C_p : 70% (v/v) de fração destilada no bio-óleo bruto	
Resíduos do processamento de fruta	191/LBB/2018		Y_{PIS} : 2 L CH ₄ / L biomassa recebida Q_p : 0,01 L CH ₄ / L.h T_{Proc} : 30 dias C_p : 62% (v/v) CH ₄ no biogás		Y_{PIS} : 34 L H ₂ / L biomassa recebida Q_p : 0,23 L H ₂ / L.h C_p : 74% (v/v) H ₂ no gás de saída				
Subprodutos da indústria dos laticínios	190/LBB/2018				Y_{PIS} : 0,33 L H ₂ / L Q_p : 56 mL H ₂ / L.h C_p : 46% (v/v) H ₂ no gás de saída				
PRODUTO		Biodiesel	Biogás e Biometano	Etanol	Hidrogénio	Eletricidade e calor	Gás de síntese	Bio-óleo	Bio-óleo

Y_{PIS} - Rendimento em produto; Q_p - Taxa de produção; T_{Proc} - Tempo de reação; C_p - Concentração em produto

‡, a introdução de um passo prévio de extração por solventes (como o hexano) seguido de destilação do solvente e (trans)esterificação do óleo obtido permitiria aumentar bastante o teor em ésteres no produto final.



Biorresíduos e subprodutos produzidos em contexto industrial (II-cont.ção): lamas líquidas e gorduras



TECNOLOGIA AMOSTRAS	Ref. ^a	T1 (Trans)-esterificação	T2 Digestão Anaeróbia	T3 Fermentação alcoólica	T4 Fermentação escura	T5 Combustão	T6 Gasificação em leito fluidizado	T7 Pirólise líquida	T8 Liquefação hidrotérmica
Lamas de ETARI da produção de vinho	várias								
Lamas de ETARI do processamento da castanha	349/LBB/2017		Y_{PIS} : 2 L CH ₄ / L biomassa recebida Q_P : 0,01 L CH ₄ / L.h T_{Proc} : 35 dias C_P : 70% (v/v) CH ₄ no biogás						
Lamas de ETARI da indústria dos laticínios, com elevado teor de gordura	368/LBB/2017	Y_{PIS} : $Y_{FAME/óleo} = 1,5\%$ (m/m) Y_{PIS} : $Y_{FAME/biomassa} = 0,9\%$ (m/m) C_P : 7,8% (m/m) de ésteres ‡						Y_{PIS} : 810 g bio-óleo / kg biomassa seca Q_P : 0,5 horas C_P : 71% (v/v) de fração destilada no bio-óleo bruto	
PRODUTO		Biodiesel	Biogás e Biometano	Etanol	Hidrogénio	Elettricidade e calor	Gás de síntese	Bio-óleo	Bio-óleo

Y_{PIS} - Rendimento em produto; Q_P - Taxa de produção; T_{Proc} - Tempo de reação; C_P - Concentração em produto

‡, a introdução de um passo prévio de extração por solventes (como o hexano) seguido de destilação do solvente e (trans)esterificação do óleo obtido permitiria aumentar bastante o teor em ésteres no produto final.



Biorresíduos e subprodutos produzidos em contexto industrial (III): efluentes



TECNOLOGIA AMOSTRAS	Ref. ^a	T1 (Trans)- esterificação	T2 Digestão Anaeróbia	T3 Fermentação alcoólica	T4 Fermentação escura	T5 Combustão	T6 Gasificação em leito fluidizado	T7 Pirólise líquida	T8 Liquefação hidrotérmica
Efluentes da produção de azeite	vários								
Efluentes da indústria dos laticínios	369/LBB/2017		$Y_{p/s}$: 2 L CH ₄ / L efluente Q_p : 0,005 L CH ₄ / L.h T_{proc} : 50 dias C_p : 75% (v/v) CH ₄ no biogás						
Efluentes de suinicultura	187/LBB/2018		$Y_{p/s}$: 7 L CH ₄ / L efluente Q_p : 0,02 L CH ₄ / L.h T_{proc} : 25 dias C_p : 70% (v/v) CH ₄ no biogás						
Efluentes de avicultura	384/LBB/2018								
PRODUTO		Biodiesel	Biogás e Biometano	Etanol	Hidrogénio	Elettricidade e calor	Gás de síntese	Bio-óleo	Bio-óleo

$Y_{p/s}$ - Rendimento em produto; Q_p - Taxa de produção; T_{proc} - Tempo de reação; C_p - Concentração em produto





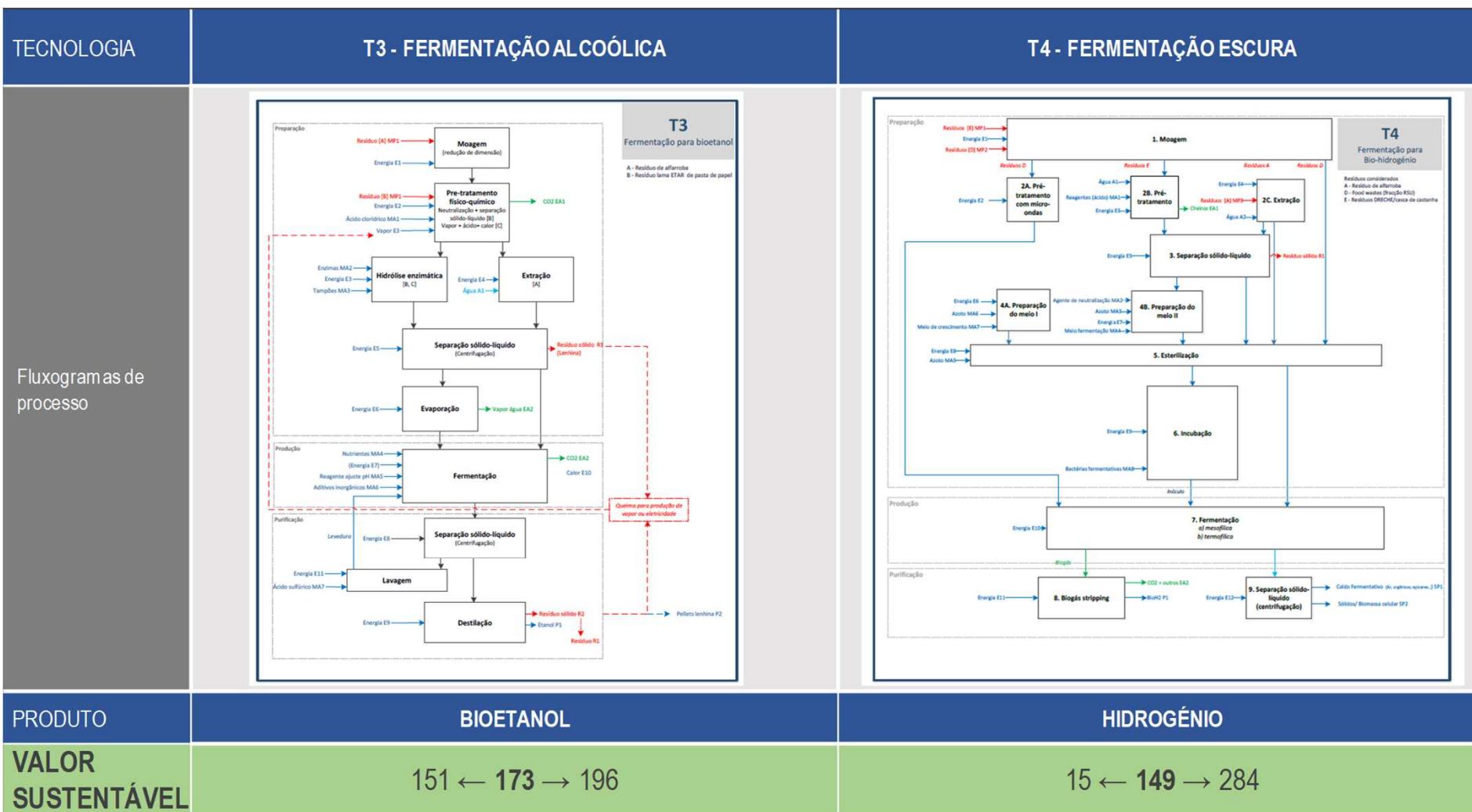
FLUXOGRAMAS de PROCESSO e VALOR SUSTENTÁVEL por TECNOLOGIA



Fluxogramas de processo



Fluxograma / Valor Sustentável (II)



Fluxograma / Valor Sustentável (III)



TECNOLOGIA	T5 - COMBUSTÃO	T6 - GASIFICAÇÃO
Fluxogramas de processo	T5 Combustão para eletricidade e calor (CHP)	T6 Gasificação para biogás e gás de síntese
PRODUTO	ELETRICIDADE E CALOR	GÁS DE SÍNTESE
VALOR SUSTENTÁVEL	276 ← 387 → 644	389



Fluxograma / Valor Sustentável (IV)



TECNOLOGIA	T7 - PIRÓLISE	T8 - LIQUEFAÇÃO HIDROTÉRMICA
Fluxogramas de processo	T7 Pirólise para bio-óleos	T8 Liquefação hidrotérmica (LHT) para bio-óleos
PRODUTO	BIO-ÓLEO	BIO-ÓLEO
VALOR SUSTENTÁVEL	151 ← 183 → 214	130 ← 168 → 206





GRELHA de CARACTERIZAÇÃO para ENERGIA – Dados técnicos



Grelha de Caracterização para Energia – dados técnicos



Amostras de Resíduos Urbanos e Lamas de ETAR e Biorresíduos e Subprodutos Produzidos em Contexto Industrial e Lamas de ETARI recebidas e caracterizadas no CONVERTE

RESÍDUOS SÓLIDOS E LAMAS ESPESSAS	Nº AMOSTRAS
Resíduos da recolha seletiva de orgânicos (HORECA)	2
Resíduos da recolha seletiva de verdes	3
Fração para composto após TMB	4
Fração para valorização orgânica após TM	5
Lamas de ETAR	2
Resíduos da produção de azeite (bagaço)	3
Resíduos da produção de azeite (folhas de oliveira)	2
Resíduos da produção de azeite (caroço de azeitona)	1
Resíduos do processamento da castanha	2
Resíduos do processamento da alfarroba	1
Resíduos da produção do vinho (folhelho)	1
Resíduos do processamento do tomate	2
Lamas de ETARI do processamento do tomate	1
Resíduos do setor avícola	2
Lamas primárias da indústria da pasta e papel	5
Lamas da ETARI da indústria dos laticínios	1
Lamas da ETARI do processamento de fruta	1
Total	38

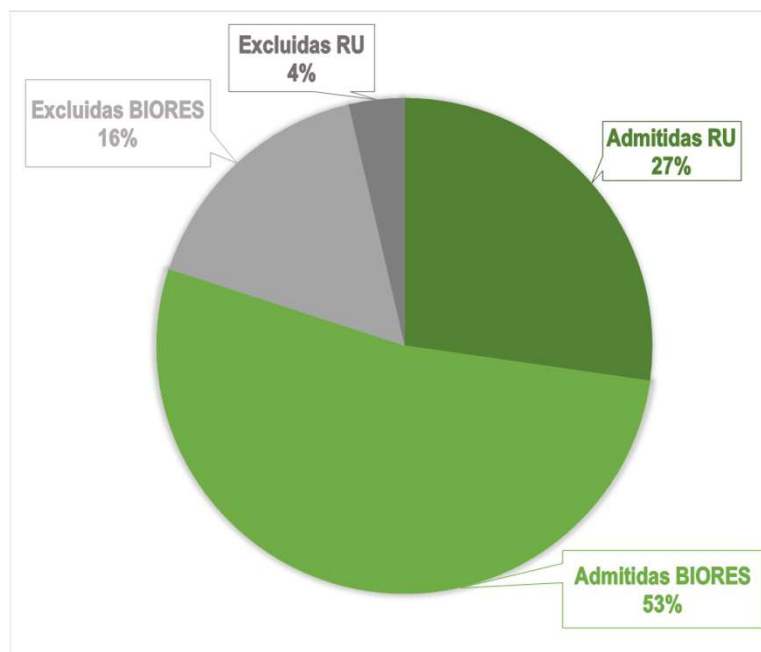
LAMAS LÍQUIDAS E GORDURAS	Nº AMOSTRAS
Fração para valorização orgânica por digestão anaeróbia (líquidos)	1
Resíduos da produção de azeite com elevado teor de gordura	2
Resíduos do processamento de fruta	1
Subprodutos da indústria dos laticínios	2
Lamas da ETARI da produção de vinho	2
Lamas da ETARI do processamento da castanha	1
Lamas da ETARI da indústria dos laticínios, com elevado teor de gordura	1
Total	10

EFLUENTES	Nº AMOSTRAS
Efluentes da produção de azeite	4
Efluentes da indústria dos laticínios	1
Efluentes de suinicultura	1
Efluentes de avicultura	1
Total	7

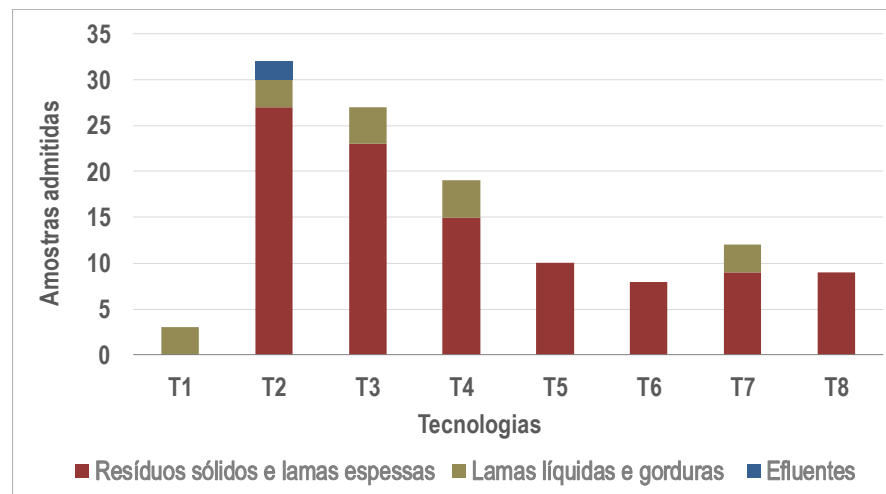




Percentagem de amostras recebidas de Resíduos Urbanos e Lamas de ETAR (RU) e Biorresíduos e Subprodutos Produzidos em Contexto Industrial e Lamas de ETARI (BIORES) que foram admitidas ou excluídas do encaminhamento para valorização energética nas oito tecnologias consideradas no CONVERTE



Número de amostras de RU e BIoRES admitidas para valorização energética, por tecnologia/produto e tipo de matriz



TECNOLOGIAS: T1 – (Trans)esterificação para biodiesel; T2 – Digestão anaeróbia para biogás; T3 – Fermentação para bioetanol; T4 – Fermentação para bio-hidrogénio; T5 – Combustão para eletricidade e calor; T6 – Gasificação para gás de síntese; T7 – Pirólise para bio-óleos; T8 – Liquefação hidrotérmica para bio-óleos





BIBLIOGRAFIA

ENTREGÁVEIS:

Entregável E-A4.2 – E-A4.10

FICHAS DAS 8 TECNOLOGIAS DE CONVERSÃO DE BIOMASSA EM ENERGIA CONSIDERADAS NO PROJETO CONVERTE (TIPOLOGIAS DE BIOMASSA, PROCESSOS DE PRODUÇÃO, POTENCIAL NACIONAL E EUROPEU, SUSTENTABILIDADE E LEGISLAÇÃO APLICÁVEL)

Entregável E-A5.3 a E-A5.10

VALOR SUSTENTÁVEL: TECNOLOGIAS CONVERTE

PUBLICAÇÃO EM CONFERÊNCIA INTERNACIONAL:

M.A. Trancoso, T. Crujeira, R. Sousa, S. Calisto, J. Branco, A.C. Oliveira, P.C. Passarinho, M. Abreu, P. Moura, F. Gírio (2019) ANALYTICAL PROTOCOL FOR THE CHARACTERISATION OF SOLID ORGANIC FRACTIONS: CONTRIBUTION FOR THE BIOCHEMICAL AND THERMOCHEMICAL POTENTIAL ASSESSMENT OF BIOMASS. Book of Abstracts Summaries p. 617, 27th EUBCE - European Biomass Conference, 27-31 May, Lisbon, Portugal (POSTER)

Os documentos estão disponíveis em:

<http://converte.lneg.pt/resultados/>





CONVERTE

EQUIPA

Coordenador do CONVERTE

Francisco Gírio

Gestora do CONVERTE

Patrícia Moura

Seleção casos de estudo

Testes em tecnologias

Ana Eusébio

Cristina Oliveira

Filomena Pinto

Helena Albergaria

Isabel Paula Marques

Joana Ortigueira

Luís Silva

Natércia Sousa

Paula Passarinho

Paula Costa

Paula Marques

Rui André

Santino diBerardino

Susana Marques

Teresa Lopes da Silva

Coordenadora da caracterização físico-química

Maria Ascensão Trancoso

Caracterização físico-química

Amélia Caldeira

Ana Passarinho

Ana Rita Sousa

Ana Teresa Crujeira

Cristina Oliveira

Graça Gomes

Jorgiana Branco

Luís Ramalho

Paula Passarinho

Sandra Calisto

Cálculo Valor Sustentável

Jorge Alexandre

João Henriques

Justina Catarino

Tiago Lopes

Bolseiras do CONVERTE

Mariana Abreu

Diana Cipriano



Laboratório Nacional de Energia e Geologia, I. P.

LNEG

Estrada do Paço do Lumiar, 22

1649-038 Lisboa

Tel: + 351 210 924 600 / 1

info@lneg.pt

www.lneg.pt

<http://converte.lneg.pt/>

Documento elaborado em:

Fevereiro de 2020

