

MAIS DE 35 ANOS A CONVERTER CONHECIMENTO EM VALOR



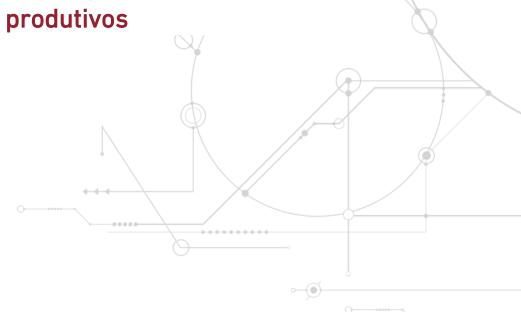
Análise de viabilidade de implementação de processos de reciclagem de painéis fotovoltaicos e reutilização de materiais resultantes em novos processos produtivos



2022

VIVIANA CORREIA PINTO Responsável do Grupo de Economia Circular Unidade de Gestão e Engenharia Industrial, INEGI











#### **AGENDA**

- 1. ENQUADRAMENTO
- 2. ANÁLISE DE VIABILIDADE DE IMPLEMENTAÇÃO DE PROCESSOS DE RECICLAGEM DE PAINÉIS FOTOVOLTAICOS
  - a) Análise técnico-económica
  - b) Comparação de cenários técnico-económicos
  - c) Análise ambiental
  - d) Comparação de cenários ambientais
- 3. ANÁLISE DE REUTILIZAÇÃO E INCORPORAÇÃO DE MATERIAIS RESULTANTES DA RECICLAGEM
- 4. NOTAS FINAIS





# 1. ENQUADRAMENTO





© INEGI todos os direitos reservados





# MERCADO ATUAL DOS PAINÉIS FOTOVOLTAICOS (PF)<sup>1,2</sup>



#### 139 GWdc

PF foram instalados e comissionados em 2020

#### 760 GWdc

Capacidade cumulativa global dos PF em 2020

# 877 Mton CO<sub>2</sub> evitado

Contribuição para descarbonização energética (2020)

#### 718 MW

Aumento de capacidade em PT em 2022 (face a 2021)

#### 1 801 MW

Energia solar instalada em Portugal em 2021

#### 60 a 78 Mton

de resíduos de PF até 2050 (estimativa)



Central de Alcoutim tem potência de 219 MW e cerca de 661.500 painéis instalados (a operar desde 2021)<sup>3</sup>

<sup>(1)</sup> Fonte: IEA Photovoltaic Power Systems Programme (IEA PVPS) - Technology Collaboration Programme (TCP) da International Energy Agency (IEA) 2020 Snapshot of Global PV Markets

<sup>(2)</sup> Fonte: DGEG (2013-2022)

<sup>(3)</sup> Fonte: https://www.sulinformacao.pt/2021/10/maior-central-fotovoltaica-do-pais-e-inaugurada-amanha-em-alcoutim/





# MERCADO ATUAL DOS PAINÉIS FOTOVOLTAICOS (PF) 1

#### **DESCOMISSIONAMENTO**

#### **REPOTENCIAÇÃO**

#### RECICLAGEM

- Nem o descomissionamento nem a repotenciação são corretamente rastreados.
- O descomissionamento real é relativamente incomum, dada a idade das instalações mais antigas.
- A substituição de componentes e dos módulos fotovoltaicos fazem parte da manutenção e operação normais do negócio, mas em geral não impacta a capacidade cumulativa total.
- Procedimentos de reciclagem não são comuns ainda, e a disponibilidade de dados ainda deve ser melhorada.

<sup>(1)</sup> Fonte: IEA Photovoltaic Power Systems Programme (IEA PVPS) - Technology Collaboration Programme (TCP) da International Energy Agency (IEA) 2020 Snapshot of Global PV Markets

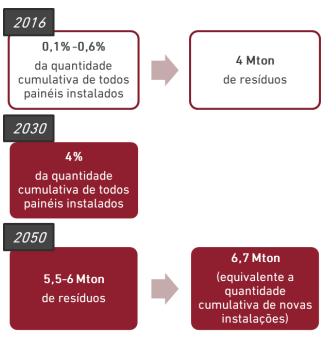


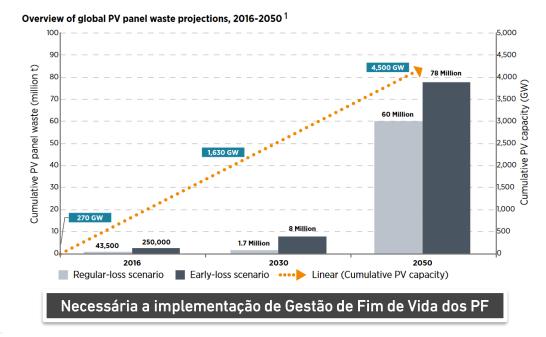




# GESTÃO DE FIM-DE-VIDA DOS PAINÉIS FOTOVOLTAICOS (PF)1

A crescente exploração dos Painéis Fotovoltaicos levará à indesejável **acumulação global dos respetivos resíduos** 









# GESTÃO DE FIM-DE-VIDA DOS PAINÉIS FOTOVOLTAICOS (PF)1

#### Potencial de criação de valor associado à implementação de Gestão de Fim de Vida

### Reutilização

Criação de um mercado secundário robusto para componentes de painel e materiais:

- PF podem ser revendidos no mercado mundial a um preço de mercado reduzido.
- PF ou componentes parcialmente reparados podem encontrar compradores dispostos ao mercado de segunda mão - compradores em países com recursos financeiros limitados e que ainda se queiram envolver no setor solar fotovoltaico.

# Reciclagem

Recicladores de PF tratarão do desmantelamento e separação dos componentes nas suas instalações, permitindo a recuperação do material dos principais componentes. Painéis c-Si podem ser recuperados em mais de 85% da massa total do PF.

A longo prazo, os recicladores terão instalações de reciclagem dedicadas aos PF, aumentando a capacidade de tratamento e separação, maximizando a qualidade de saída e a capacidade de recuperar uma maior fração de materiais incorporados.





#### PROJETO E-CYCLE | INEGI

Viabilidade de implementação de processos de reciclagem de painéis fotovoltaicos e reutilização de materiais resultantes em novos processos produtivos

#### **Objetivo:**

 Analisar e avaliar o grau de exequibilidade da instalação e implementação de uma linha de produção direcionada ao desmantelamento e reciclagem de PF com consequente recuperação dos materiais presentes na sua composição



Avaliação de subprocessos baseados nas propostas elaboradas pelo estudo anteriormente efetuado pela Universidade de Aveiro (2021), a utilizar para o desmantelamento de um PF e recuperação dos materiais que o compõem

# 2.

# ANÁLISE DE VIABILIDADE DE IMPLEMENTAÇÃO DE PROCESSOS DE RECICLAGEM DE PAINÉIS FOTOVOLTAICOS

- Análise técnico-económica
- Comparação de cenários técnicoeconómicos
- Análise ambiental
- Comparação de cenários ambientais





**Since 1986** 







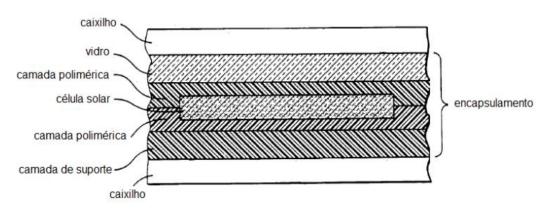
#### ESTRUTURA DO PAINEL FOTOVOLTAICO (PF)

#### PF de silício cristalino:

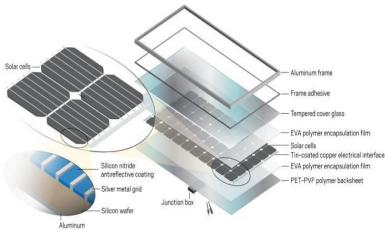
Número de células: 60;

Dimensões: 1.000 x 1.650 x 50 [mm];

Peso: 18 – 20 [kg]



Fonte: J. R. Bohland, I. I. Anisimov, "Recycling silicon photovoltaic modules," US 6063995, 2000



Fonte: G.A. Heath, T.J.Silverman, M. Kempe, et al. "Research and development priorities for silicon photovoltaic module recycling to support a circular economy". Nat Energy, 5, 502–510, 2020







#### ESTRUTURA DO PAINEL FOTOVOLTAICO (PF)

Materiais recuperados e respetivos pesos e densidades passíveis de recuperar por painel fotovoltaico (PF) de 18 kg

Material	Peso considerado¹ [kg]	Peso calculado para 1 PF [kg]	Peso calculado para 1 PF [%]	Densidade [g/cm3]
Pesototal	1.000,00	18,00		
Caixilho de Alumínio	180,00	3,24	18,00	-
Vidro	700,00	12,60	70,00	2,33
EVA (acetato-vinilo de etileno)	51,00	0,92	5,10	0,95
Célula solar / silício	36,50	0,66	3,65	2,33
Tedlar	15,00	0,27	1,50	1,55
Cabos	10,00	0,18	1,00	-
Condutor interno - alumínio	5,30	0,10	0,53	2,70
Condutor interno - cobre	1,14	0,02	0,11	8,96
Prata	0,53	0,01	0,05	10,50
Outros metais (estanho, chumbo)	0,53	0,01	0,05	-
Peso total dos cabos	3,37E-03	0,18		
Bainhaexterior	1,19E-03	0,06		
Bainhainterior	5,46E-04	0,03		
Metal condutor	1,63E-03	0,09		

<sup>(1)</sup> Fonte: João Labrincha, Paula Seabra, Rui Novais, André Capitão. Relatório final do Projeto WEEECYCLE. s.l., Universidade de Aveiro, 2020







#### Propostas analisadas



\*por magnetismo, correntes de *Foucault*, flutuação, raio-X, câmara de cor, densimetria, injeção de ar, ou outras adequadas







#### Considerações técnicas

1. Etapa prévia de limpeza: limpeza simplificada do painel, com foco na eliminação de impurezas à superfície que possam danificar, nomeadamente riscar, e assim influenciar negativamente a posterior e eventual reutilização do vidro temperado.

Não existindo trituração ou destruição do vidro temperado será necessário um cuidado extra na conservação do seu estado, para que este possa ser submetido a novos processos de recuperação ou reciclagem.

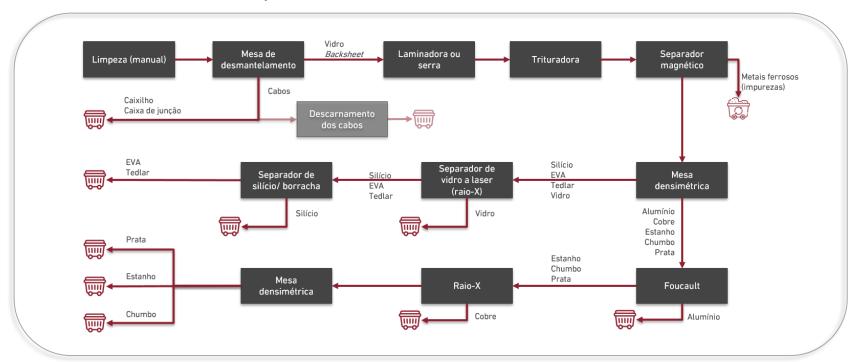
#### 2. Ciclo térmico para descolamento do vidro e do EVA:

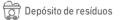
- Temperatura de fusão do EVA: entre 72° C e 102° C Temperatura máxima e de manutenção do ciclo térmico: 68° C.
- Verifica-se fusão ao fim de dois minutos sujeito ao intervalo de temperaturas mencionado e homogeneização ao fim de dez minutos nas mesmas condições.
- Duração total do ciclo térmico: 60 (sessenta) minutos.
- Ciclo térmico (proposta nº4) para facilitar o corte por fio quente para a remoção do vidro temperado não é necessário e por isso não foi incluída.







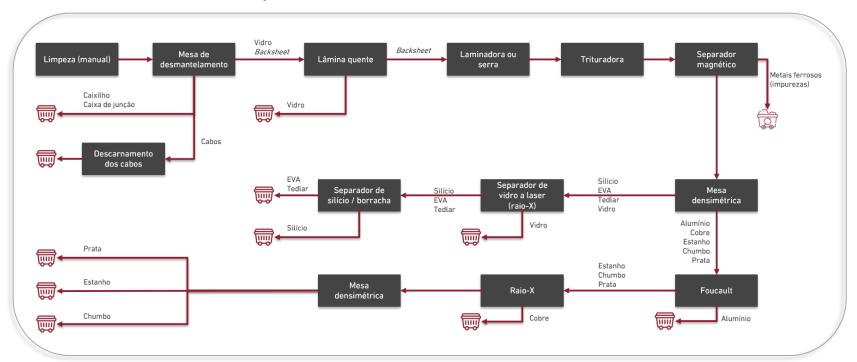


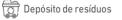








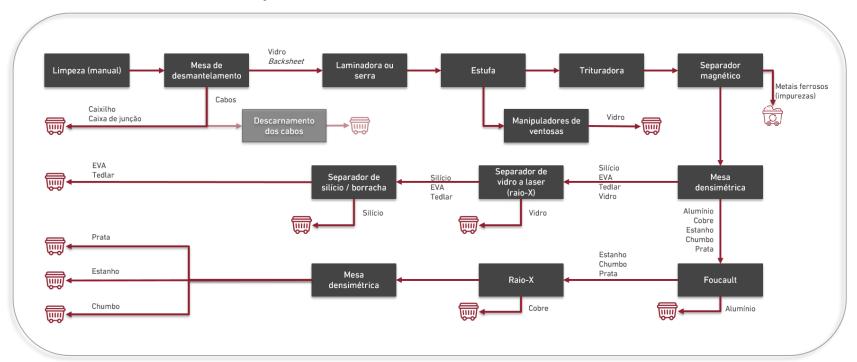


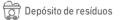








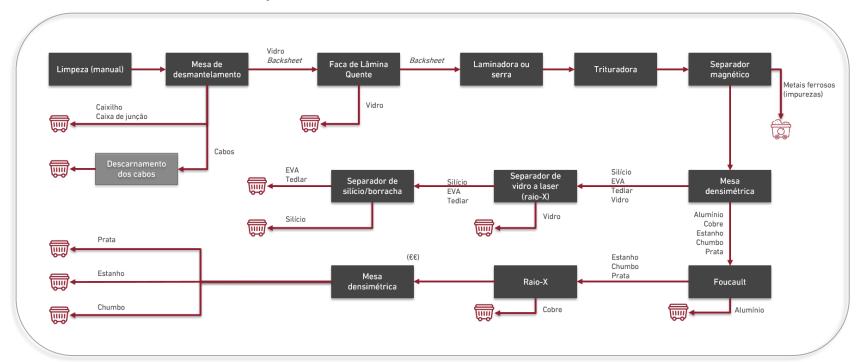


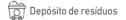


















Subprocesso	Desmantelamento	
Equipamento	Mesa de desmantelamento	
Marca	NPC Incorporated	
Características do equipamento	<ul> <li>Potência: 36 kW;</li> <li>Capacidade de produção: 1 painel a cada 40 segundos;</li> <li>Tensão elétrica: 200 V;</li> <li>Carga e processamento de uma unidade de cada vez.</li> </ul>	
Investimento¹ (€)	108 500	



Fonte: Imagem submetida a direitos de autor pela NPC Incorporated







Subprocesso	Descarnamento de cabos	
Equipamento	A. Equipamento semiautomático de descarnamento dos cabos	<b>B.</b> Linha automática de descarnamento e separação dos cabos
Características do equipamento	<ul> <li>Potência: 2,2 kW;</li> <li>Capacidade de produção: não especificada;</li> <li>Tensão elétrica: 220 V / 230 V;</li> <li>Intervalo de diâmetros admissível: 0 – 45 [mm]</li> </ul>	<ul> <li>Potência: 37 kW;</li> <li>Capacidade de produção: 100 – 1000 kg/h;</li> <li>Tensão elétrica: 110 V / 220 V / 380 V;</li> <li>Intervalo de diâmetros admissível: 0,1 – 30 [mm]</li> </ul>
Investimento¹ (€)	600	7.000



Fonte: Imagem retirada do website Alibaba



Fonte: Imagem retirada do website Alibaba







Subprocesso	Laminagem /Corte	
Equipamento	Equipamento de laminagem / corte	
Características do equipamento	<ul> <li>Potência: 37 kW;</li> <li>Capacidade de produção: não especificada;</li> <li>Tensão elétrica: 380 V ou customizada;</li> <li>Corrente elétrica: 100 A;</li> <li>Necessita de um tempo de aquecimento de 5 a 25 minutos.</li> </ul>	
Investimento¹ (€)	6.900 – 14.700	









Subprocesso	Trituração	
Equipamento	Equipamento de trituração	
Características do equipamento	<ul> <li>Potência: 18,5 kW;</li> <li>Capacidade de produção: 500 – 10 000 kg / h;</li> <li>Tensão elétrica: 380 V.</li> </ul>	
Investimento¹ (€)	11.700	



Fonte: Imagem retirada do website Alibaba







Subprocesso	Separação por Raios-X	
Equipamento	<b>A.</b> Equipamento por Raios-X para separação de vidro temperado e polímeros	<b>B.</b> Equipamento por Raios-X para separação de metais
Marca	Tomra (Autosort Laser)	Tomra (Combisense)
Características do equipamento	-	-
Investimento¹ (€)	600	7.000



Fonte: Imagens retiradas do website da Tomra







Subprocesso	Separação magnética	
Equipamento	A. equipamento em linha	B. equipamento suspenso
Características do equipamento	<ul> <li>Potência: 4 kW;</li> <li>Capacidade de produção: 120 – 190 m3/h;</li> <li>Tensão elétrica: de acordo com a instalação;</li> <li>Dimensões do material de input: 0 – 3 [mm].</li> </ul>	<ul> <li>Potência: N/A;</li> <li>Capacidade de produção: 1 – 20 t/h;</li> <li>Tensão elétrica: N/A;</li> <li>Velocidade do tapete: 4,5 m/s.</li> </ul>
Investimento¹ (€)	10.000 – 60.000	2.000





Fonte: Imagem retirada do website Alibaba

Fonte: Imagem retirada do website Alibaba







Subprocesso	Separação por correntes de <i>Foucault</i>	
Equipamento	Equipamento de separação de metais por correntes <i>Foucault</i>	
Características do equipamento	<ul> <li>Potência: 5 – 18 kW;</li> <li>Capacidade de produção: 2 – 20 m3/h;</li> </ul>	
Investimento¹ (€)	15.000 – 50.000	



Fonte: Imagem retirada do website Alibaba







Subprocesso	Corte a quente	
Equipamento	A. Linha de desmantelamento e corte a quente	B. Lâmina / faca quente
Características do equipamento	<ul> <li>Potência: 115,20 kW;</li> <li>Capacidade de produção: 1 painel a cada 60 segundos;</li> <li>Carga de uma unidade de cada vez;</li> <li>Tensão elétrica: 200 V.</li> </ul>	<ul> <li>Potência: N/A;</li> <li>Capacidade de produção: N/A;</li> <li>Tensão elétrica: N/A;</li> <li>Espessura máxima de corte: 330 mm.</li> </ul>
Investimento¹ (€)	1.012.200	800







Fonte: Imagem submetida a direitos de autor pela Brico Butikk







Subprocesso	Separação de semi-metais	
Equipamento	Linha de separação de silício e borracha de sílica dos restantes não metais resultantes do processo	
Características do equipamento	<ul> <li>Potência: 102 kW – 194 kW;</li> <li>Capacidade de produção: 200 kg – 1 000 kg;</li> <li>Tensão elétrica: 220 V / 380 V / customizada.</li> </ul>	
Investimento¹ (€)	5.000 - 65.000	



Fonte: Imagem retirada do site Alibaba







Subprocesso	Separação densimétrica
Equipamento	Equipamento de separação de metais
Marca	Stokkermill
Características do equipamento	- (não cedida pelos fornecedores)
Investimento¹ (€)	- (não cedida pelos fornecedores)



Fonte: Imagem submetida a direitos de autor pela Stokkermill

A utilização desta técnica está prevista em dois momentos: imediatamente após a separação magnética, separando metais de não metais, e no fim do processo de separação, separando e isolando prata, estanho e chumbo







Subprocesso	Ciclo térmico	
Equipamento	A. Estufa proposta pela Paralab	B. Câmara térmica proposta pela Concessus, Memmert
Características do equipamento	<ul> <li>Potência: 3,6 kW;</li> <li>Capacidade de produção: 1 000 kg / h;</li> <li>Tensão elétrica: 400 V;</li> <li>Tempo de ciclo: 60 minutos.</li> </ul>	<ul> <li>Potência: 50 kW;</li> <li>Capacidade de produção: 8 000 kg / h;</li> <li>Tensão elétrica: 400 V;</li> <li>Tempo de ciclo: 60 minutos.</li> </ul>
Investimento¹ (€)	11.500	196.000





Fonte: Imagem submetida a direitos de autor pela Paralab

Fonte: Imagem submetida a direitos de autor pela Memmert







Subprocesso	Descolamento do vidro	
Equipamento	A. Pinças/garras	<b>B.</b> Braço pneumático para elevação com ventosas
Características do equipamento	<ul><li>Capacidade: 1 000 kg;</li><li>Peso pretendido: 20 kg.</li></ul>	<ul><li>Capacidade: 300 kg;</li><li>Peso pretendido: 20 kg.</li></ul>
Investimento¹ (€)	600	8.000







Fonte: Imagem retirada do site Alibaba







Subprocesso	Condução de materiais		
Equipamento	A. Transportador de tapete	B. Transportador de tapete customizado	
Características do equipamento	<ul> <li>Potência: 1,5 kW;</li> <li>Capacidade de produção: N/A;</li> <li>Tensão elétrica: 220 V / 380 V;</li> <li>Capacidade de carga: 50 – 100 kg/m;</li> <li>Velocidade: 0,83 m/s.</li> </ul>	<ul> <li>Potência: 0,4 - 22 kW;</li> <li>Capacidade de produção: N/A;</li> <li>Tensão elétrica: 220 V / 380 V;</li> <li>Capacidade de carga: não especificada;</li> <li>Velocidade: 0,42 m/s.</li> </ul>	
Investimento¹ (€)	380 €/m	200 €/m	



Fonte: Imagem retirada do site Alibaba



Fonte: Imagem retirada do site Alibaba





#### CAPACIDADE PRODUTIVA DOS EQUIPAMENTOS

Equipamento	Materiais separados	Potência	Capacidade de produção
Mesa de desmantelamento	Caixilho Caixa de junção Cabos elétricos	36 kW	1 painel / 40 s
Descarnados de cabos	Cobre Revestimentos	2.2 kW	1 Cabo / 4 s (600 - 1200 kg / h)
Descarnador de cabos - linha	Cobre Revestimentos	37 kW	100 – 1 000 kg / h
Laminadora	Corte em frações	24 kW	26 m³ / h
Trituradora	Trituração em grão	18,5 kW	500 – 10 000 kg / h
Raio-X (vidro)	Vidro Polímeros	10 kW	500 kg / h
Separador magnético de linha	Ferrosos (impurezas ferrosas)	4 kW	120 – 190 m³ / h
Separador magnético suspenso	Ferrosos (impurezas ferrosas)	N/A	1 000 – 20 000 kg /h
Correntes de <i>Foucault</i>	Alumínio Cobre	5 - 18 kW	2 – 20 m³ / h







#### **CAPACIDADE PRODUTIVA DOS EQUIPAMENTOS (2)**

Equipamento	Materiais separados	Potência	Capacidade de produção
Mesa de desmantelamento com corte a quente	Caixilho Caixa de junção Cabos elétricos Vidro temperado	115,2kW	1 painel / 60 s
Lâmina de corte a quente	Corte de vidro	N/A	N/A
Separador de sílica e borracha	Silício	102 – 194 kW	200 – 1 000 kg / h
Mesa densimétrica	Prata Estanho Chumbo	24 kW	500 kg / h
Raio-X	Cobre	10 kW	500 kg / h
Câmara Térmica	Descolamento do vidro	50 kW	60 minutos por ciclo (8 000 kg / h)
Estufa	Descolamento do vidro	3,6 kW	60 minutos por ciclo (300 - 1000 kg / h)
Pinças	Vidro	N/A	N/A
Elevação por ventosas	Vidro	N/A	N/A
Elevação por ventosas	Vidro	N/A	N/A







#### **CAPACIDADE PRODUTIVA DOS EQUIPAMENTOS (3)**

Equipamento	Materiais separados	Potência	Capacidade de produção
Tapete de transporte	Transportes intermédios	1.5 kW	0.83 m/s
Tapete de transporte inclinado (customizado)	Transportes intermédios	0.4 - 22 kW	0.42 m/s







# **VALORIZAÇÃO DOS MATERIAIS**

#### Valorização dos metais no estado puro

Material	Valor
Alumínio	2 397,71 € / t
Vidro temperado	41 390,00 € / t
EVA	1 143,88 € / t
Célula solar / silício	1 972,21 € / t
Tedlar	2,83 € / m <sup>2</sup>
Estanho	24 849,85 € / t
Condutor interno — alumínio	2 397,71 € / t
Condutor interno – cobre	7 345,00 € / t
Prata	590 250,00 € / t
Chumbo	1 992,92 € / t

#### Valores médios estimados para a compra dos materiais recuperados

Material	Tipo de	Valor	
	processamento	[€/kg]	
Alumínio	Perfil	1,00	
Alumínio	Triturado	0,78	
Vidro	Triturado /inteiro	-	
EVA	Triturado	-	
Célula solar /	Triturado	-	
silício			
Tedlar	Triturado	-	
Estanho	Triturado	1,90	
Chumbo	Triturado	1,00	
Prata	Triturado	-	
Cobre	Triturado	2,90	
Cabos	Triturado	0,40	







# **VALORIZAÇÃO DOS MATERIAIS**

Valores médios estimados para cada material

Material	Peso do estudo [kg]	Peso de 1 PF [kg]	Valor de cada material [€/kg]
Peso total	1 000,00	18,00	N/A
Alumínio	180,00	3,24	1,05
Vidro	700,00	12,60	0,00
EVA	51,00	0,92	0,00
Célula solar / sílicio	36,50	0,66	0,00
Tedlar	15,00	0,27	0,00
Cabos	10,00	0,18	0,90
Condutor interno - alumínio	5,30	0,10	0,90
Condutor interno - cobre	1,14	0,02	0,90
Prata	0,53	0,01	639,00
Outros metais (estanho, chumbo)	0,53	0,01	2,17
Total	1 000,00	18,00	644,92







# COMPARAÇÃO DE CENÁRIOS TÉCNICO-ECONÓMICOS

#### Pressupostos para a comparação de cenários

- Foram considerados 16 cenários os cenários 1 a 8 utilizam os menores valores de capacidade
   de produção nas especificações dos diferentes equipamentos.
- Os cenários 9 a 16 utilizam os maiores valores do mesmo parâmetro.
- Para diferentes cenários pode-se observar, que por vezes, há repetição de alguns processos, isto deve-se ao objetivo de obter uma triagem mais limpa e mais eficaz ao longo de todo o processo.
- Os tempos de produção não estão afetados pelo manuseamento dos operadores.
- O tempo total de processamento das linhas está a ser considerado como o tempo de trabalho da linha em série (falta de informação de todos os tempos de processamento).







## Pressupostos para a comparação de cenários (2)

- Como referência foi utilizada a capacidade de produção da mesa de desmantelamento (equipamento com menor capacidade de produção) para estimar a capacidade total da linha:
  - Se a mesa de desmantelamento, sem corte a quente, seria capaz de desmantelar 1 painel a cada 40 segundos, então em 1 hora seria capaz de desmantelar 90 painéis, se não existissem outras questões a considerar, como o manuseamento e a integração em linha com outros equipamentos.
  - Para comparação consideraram-se 1 e 90 painéis como os limites inferior e superior da capacidade de produção e, ainda um ponto intermédio de 45 painéis.
  - Avaliou-se a capacidade de produção total da linha em cada cenário para cada um destes pontos.







## Pressupostos para a comparação de cenários (3)

- Foram calculados os seguintes indicadores de custo-benefício:
  - ROI: Retorno sobre o investimento return over investment é uma medida de desempenho financeiro que representa o ganho ou a perda com determinado Investimento.
  - PRI: prazo de retorno do investimento ou payback traduz o tempo previsto para a recuperação do investimento.

$$ROI = \frac{(Receita - Custo)}{Custo}$$

$$PRI = \frac{Investimento\ inicial}{Ganho\ no\ periodo}$$







## Pressupostos para a comparação de cenários (4)

- Dependendo de:
  - equipamento escolhido e da sequência de equipamentos capacidade de produção da linha,
  - do custo total da linha quer a nível de investimento, quer a nível de operação, incluindo o consumo energético,

Existirão cenários com maior ou menor prazo de retorno de investimento e com maior ou menor retorno sobre o investimento







								Cen	ários							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
							Pro	postas	associ	adas						
	1	1	2	2	3	3	4	4	1	1	2	2	3	3	4	4
Subprocessos		ME	NOR C	APACIE	ADE P	RODUT	IVA			MA	AIOR CA	APACID	ADE P	RODUTI	VA	
Limpeza	Х	Χ	Х	Х	Х	Х	Х	Х	Χ	Х	Х	Х	Х	Х	Х	Х
Desmantelamento	X	Х			X	X	X	Х	Х	X			Х	Х	Х	Х
Desmantelamento com			Х	Х							Х	Х				
corte a quente			^	^							^	^				
Lâmina a quente							X	Х							Χ	X
Laminagem	Χ	Х	Х	X	X	X	X	Х	X	X	Х	Χ	X	X	X	X
Câmara térmica					X								X			
Estufa						X								Х		
Trituração	Х	Х	Х	Х	Х	Х	Х	Х	Х	Х	Х	Х	Х	Х	Х	Х
Separação magnética de linha	Х		Х		Х		Х		Х		Х		Х		Х	
Separação magnética suspensa		Х		Х		Х		Х		Х		Х		Х		Х
Separação densimétrica	X	Х	Х	X	X	X	X	Х	Х	X	Х	Х	Х	Х	Х	Х
Separação por correntes <i>Foucault</i>	Х	Х	Х	Х	Х	Х	Х	Х	Х	Х	Х	Х	Х	Х	Х	Х
Separação por Raio-X	Х	Χ	Х	Х	Х	Х	Х	Х	Х	Х	Χ	Χ	Х	Х	Χ	Х
Separação densimétrica	X	Х	Χ	X	Х	X	Х	Х	X	X	Х	Х	X	Х	Х	Х







				Cena	ários							
Parâmetros	1	2	3	4	5	6	7	8				
calculados	Propostas associadas											
			2	2	3	3						
Capacidade de produção [painéis / h]	21,6	16,5	19,3	15,1	20,8	0,9	10,4	9,0				
Investimento inicial [€]	239 763	200 284	1 143 562	1 104 083	443 763	211 814	240 470	200 992				
Custos mensais [€ / mês]	19 938	18 314	23 251	21 628	22 030	18 465	19 938	18 314				
Receitas mensais [€ / mês]	37 218	28 420	33 228	26 033	35 818	1 624	17 889	15 571				
ROI [%]	-86	-87	-97	-98	-92	-99	-93	-93				
PRI [anos]	1,2	1,7	9,6	20,9	2,7	-1,1	-9,8	-6,1				







				Cena	ários							
Parâmetros	9	10	11	12	13	14	15	16				
calculados	Propostas associadas											
			2	2	3	3						
Capacidade de produção [painéis / h]	48,8	47,3	38,4	37,5	44,9	1,0	14,1	14,1				
Investimento inicial [€]	239 763	200 287	1 143 562	1 104 083	443 763	211 814	240 471	200 992				
Custos mensais [€ / mês]	19 938	18 315	23 251	21 628	22 030	18 465	19 938	18 315				
Receitas mensais [€ / mês]	84 083	81 511	66 142	64 541	77 263	1 687	24 434	24 212				
ROI [%]	-68	-63	-94	-94	-83	-99	-91	-89				
PRI [anos]	0,3	0,3	2,2	2,1	0,7	-1,1	4,5	2,8				







## Considerações para Análise Ambiental | Metodologia de avaliação do ciclo de vida



#### 1ª ETAPA

Definição do objetivo e do âmbito Unidade Funcional



#### 3ª ETAPA

Avaliação do Impacte ambiental



#### 2ª ETAPA

Análise do Inventário



#### 4ª ETAPA

Interpretação dos resultados

Melhorias Futuras







## Metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida



1ª ETAPA

Definição do objetivo e do âmbito

Unidade Funcional

**Objetivo:** analisar a "Viabilidade de implementação de processos de reciclagem de painéis fotovoltaicos e reutilização de materiais resultantes em novos processos produtivos".

Realização de um estudo de avaliação de ciclo de vida de vida da(s) linha(s) de desmantelamento de painéis solares. O estudo consistiu em avaliar os impactos ambientais teóricos de cada proposta e entender as vantagens e/ou desvantagens das quatro propostas consideradas.

#### Unidade Funcional

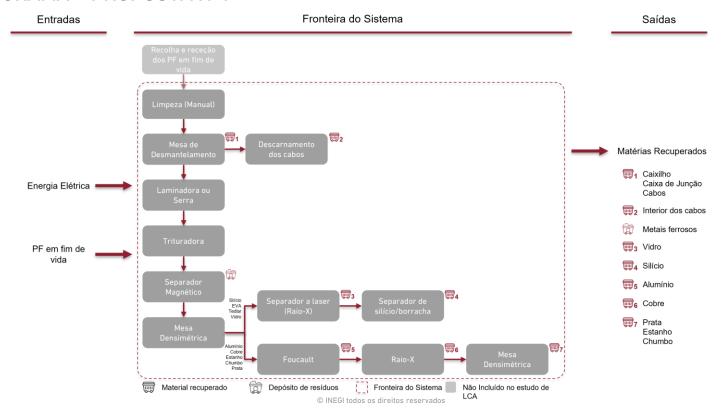
Desmantelamento de um painel fotovoltaico para as 4 propostas diferentes.







#### FLUXOGRAMA – PROPOSTA N°1

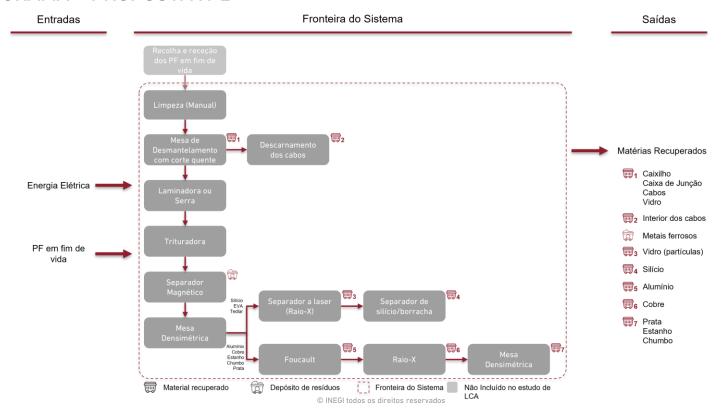








#### FLUXOGRAMA – PROPOSTA N°2

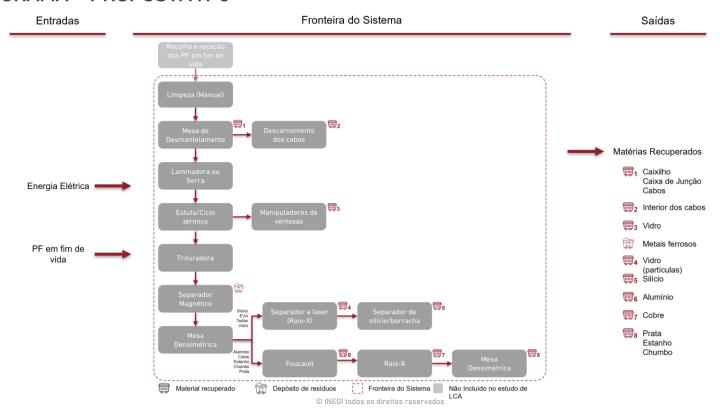








#### FLUXOGRAMA – PROPOSTA N°3

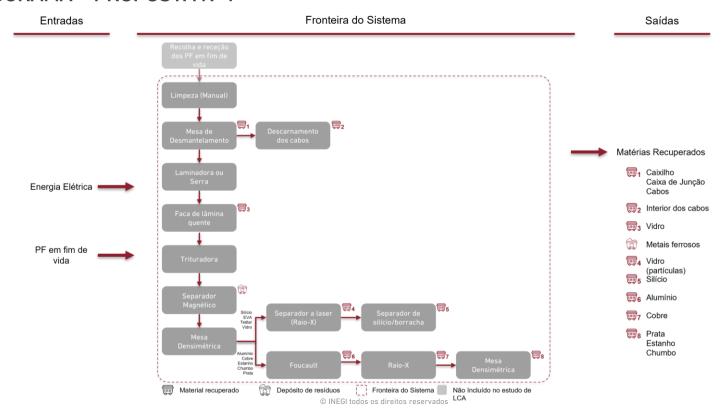








#### FLUXOGRAMA - PROPOSTA N°4









## METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA



#### 2ª ETAPA

#### Análise do Inventário

Etapas	Cenário 1 [kWh]	Cenário 2 [kWh]	Cenário 9 [kWh]	Cenário 10 [kWh]
Limpeza (manual)	0,00	0,00	0,00	0,00
Mesa de Desmantelamento	0,40	0,40	0,40	0,40
Descarnamento de cabos	-	6,64E-04	-	3,32E-04
Descarnamento de cabos - linha	6,70E-02	-	6,70E-03	-
Laminagem	7,49E-03	7,49E-03	7,49E-03	7,49E-03
Trituração	5,42E-01	5,42E-01	2,71E-02	2,71E-02
Separação magnética de linha	2,70E-04	-	1,71E-04	-
Separação magnética suspensa	-	0,00E+00	-	0,00E+00
Separação densimétrica	7,04E-01	7,04E-01	7,04E-01	7,04E-01
Separação por raio-X	2,90E-01	2,90E-01	2,90E-01	2,90E-01
Separação de silício/borracha	1,80E+00	1,80E+00	3,60E-01	3,60E-01
Foucault	4,08E-02	4,08E-02	4,08E-03	4,08E-03
Separação por raio-X	7,96E-04	7,96E-04	7,96E-04	7,96E-04
Mesa densimétrica	9,21E-04	9,21E-04	9,21E-04	9,21E-04







## ANÁLISE DE INVENTÁRIO - RESUMO

								Cena	ários							
Etapas		Propo	osta 1			Propo	osta 2			Prop	osta 3			Propo	osta 4	
	1	2	9	10	3	4	11	12	5	6	13	14	7	8	15	16
Consumo de energia total da linha [kWh]	3,85	3,79	1,79	1,79	4,05	3,98	2,44	2,43	52,52	6,06	50,92	4,51	2,46	2,46	0,92	0,91



A proposta **nº3 é a que apresenta maior consumo energético**, principalmente no caso onde se utiliza a câmara térmica (cenário 5 e 13).



O cenário 15 e 16 da proposta nº4 são os que apresentam menores consumos energéticos.







## METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA



3ª ETAPA

Avaliação do Impacte ambiental

#### BASE DE DADOS E METODOLOGIA

A metodologia utilizada foi a IPCC 2013. A base de dados utilizada foi a do Ecolovent (versão 3.5, 2018).

### Categoria de impacte

Potencial de aquecimento global | Global warming potential

- •As mudanças climáticas podem causar alterações adversas, altamente prejudicais para os ecossistemas, e que se encontram diretamente relacionadas com as emissões de gases com efeito de estufa (GEE) para a atmosfera.
- O resultado do impacte ambiental desta categoria é expresso em massa de dióxido de carbono equivalente (kg  $CO_2$  eq.). A categoria do *Global Warming* considerada foi a de 100 anos.



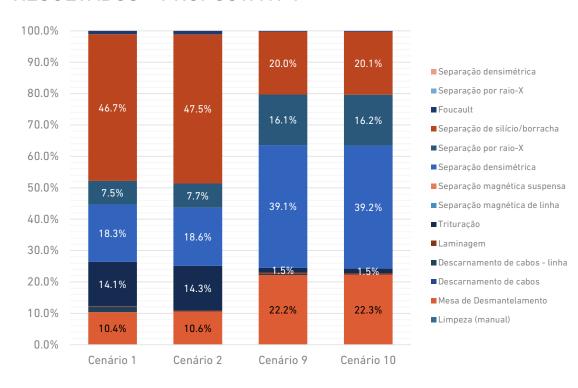


Etapas	Cenário 1 [kg CO2 eq.]	Cenário 2 [kg CO2 eq.]	Cenário 9 [kg CO2 eq.]	Cenário 10 [kg CO2 eq.]
Limpeza (manual)	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Mesa de Desmantelamento	1,57E-01	1,57E-01	1,57E-01	1,57E-01
Descarnamento de cabos	-	2,61E-04	-	1,30E-04
Descarnamento de cabos - linha	2,63E-02	-	2,63E-03	-
Laminagem	2,94E-03	2,94E-03	2,94E-03	2,94E-03
Trituração	2,13E-01	2,13E-01	1,07E-02	1,07E-02
Separação magnética de linha	1,06E-04	-	6,71E-05	-
Separação magnética suspensa	-	0,00E+00	-	0,00E+00
Separação densimétrica	2,77E-01	2,77E-01	2,77E-01	2,77E-01
Separação por raio-X	1,14E-01	1,14E-01	1,14E-01	1,14E-01
Separação de silício/borracha	7,07E-01	7,07E-01	1,41E-01	1,41E-01
Foucault	1,60E-02	1,60E-02	1,60E-03	1,60E-03
Separação por raio-X	3,13E-04	3,13E-04	3,13E-04	3,13E-04
Mesa densimétrica	3,62E-04	3,62E-04	3,62E-04	3,62E-04
TOTAL	1,51E+00	1,49E+00	7,05E-01	7,05E-01

ANÁLISE DE VIABILIDADE DE IMPLEMENTAÇÃO DE PROCESSOS DE RECICLAGEM DE PAINÉIS FOTOVOLTAICOS – ANÁLISE AMBIENTAL



## **ANÁLISE AMBIENTAL**



- O Cenário 10 tem melhor desempenho ambiental, devido a seleção da maior capacidade de produção.
- O Cenário 1 tem pior desempenho ambiental: a separação de silício é responsável por cerca de 50% do impacte final.



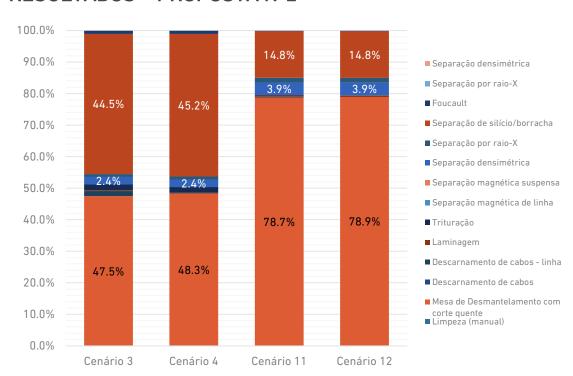


Etapas	Cenário 3 [kg CO2 eq.]	Cenário 4 [kg CO2 eq.]	Cenário 11 [kg CO2 eq.]	Cenário 12 [kg CO2 eq.]
Limpeza (manual)	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Mesa de Desmantelamento com corte quente	7,55E-01	7,55E-01	7,55E-01	7,55E-01
Descarnamento de cabos	-	2,61E-04	-	1,30E-04
Descarnamento de cabos - linha	2,63E-02	-	2,63E-03	-
Laminagem	3,89E-03	3,89E-03	3,89E-03	3,89E-03
Trituração	2,89E-02	2,89E-02	1,45E-03	1,45E-03
Separação magnética de linha	1,41E-04	-	7,99E-05	-
Separação magnética suspensa	-	0,00E+00	-	0,00E+00
Separação densimétrica	3,76E-02	3,76E-02	3,76E-02	3,76E-02
Separação por raio-X	1,46E-02	1,46E-02	1,46E-02	1,46E-02
Separação de silício/borracha	7,07E-01	7,07E-01	1,41E-01	1,41E-01
Foucault	1,60E-02	1,60E-02	1,60E-03	1,60E-03
Separação por raio-X	3,13E-04	3,13E-04	3,13E-04	3,13E-04
Mesa densimétrica	3,62E-04	3,62E-04	3,62E-04	3,62E-04
TOTAL	1,59E+00	1,56E+00	9,58E-01	9,56E-01

ANÁLISE DE VIABILIDADE DE IMPLEMENTAÇÃO DE PROCESSOS DE RECICLAGEM DE PAINÉIS FOTOVOLTAICOS – ANÁLISE AMBIENTAL



## **ANÁLISE AMBIENTAL**



- A mesa densimétrica com corte quente tem elevada relevância para os resultados finais de cada categoria.
- O Cenário 12 tem melhor desempenho ambiental: a mesa densimétrica com corte quente é responsável por cerca de 80% do impacte final.
- O Cenário 3 tem pior desempenho ambiental.





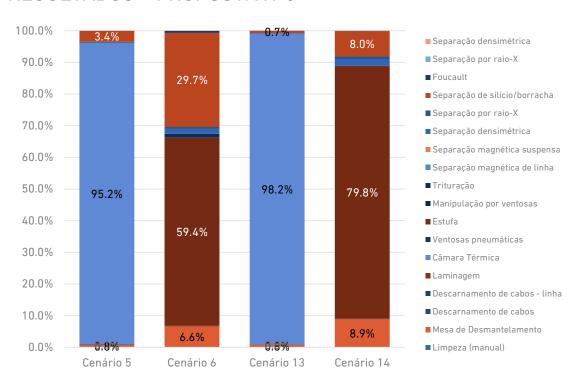
Etapas	Cenário 5 [kg CO2 eq.]	Cenário 6 [kg CO2 eq.]	Cenário 13 [kg CO2 eq.]	Cenário 14 [kg CO2 eq.]
Limpeza (manual)	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Mesa de Desmantelamento	1,57E-01	1,57E-01	1,57E-01	1,57E-01
Descarnamento de cabos	-	2,61E-04	-	1,30E-04
Descarnamento de cabos - linha	2,63E-02	-	2,63E-03	-
Laminagem	2,94E-03	2,94E-03	2,94E-03	2,94E-03
Câmara Térmica	1,96E+01	-	1,96E+01	-
Estufa	-	1,41E+00	-	1,41E+00
Manipulação por ventosas	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Trituração	2,89E-02	2,89E-02	1,45E-03	1,45E-03
Separação magnética de linha	1,41E-04	-	8,88E-05	-
Separação magnética suspensa	-	0,00E+00	-	0,00E+00
Separação densimétrica	3,76E-02	3,76E-02	3,76E-02	3,76E-02
Separação por raio-X	1,46E-02	1,46E-02	1,46E-02	1,46E-02
Separação de silício/borracha	7,07E-01	7,07E-01	1,41E-01	1,41E-01
Foucault	1,60E-02	1,60E-02	1,60E-03	1,60E-03
Separação por raio-X	3,13E-04	3,13E-04	3,13E-04	3,13E-04
Mesa densimétrica	3,62E-04	3,62E-04	3,62E-04	3,62E-04
TOTAL	2,06E+01	2,38E+00	2,00E+01	1,77E+00

ANÁLISE DE VIABILIDADE DE IMPLEMENTAÇÃO DE PROCESSOS DE RECICLAGEM DE PAINÉIS FOTOVOLTAICOS – ANÁLISE AMBIENTAL





## **ANÁLISE AMBIENTAL**



- A adição do ciclo térmico influencia significativamente os resultados finais.
- A câmara térmica apresenta pior desempenho comparativamente com a estufa.
- O Cenário 5 apresenta pior desempenho ambiental e o Cenário 14 apresenta o melhor desempenho ambiental.





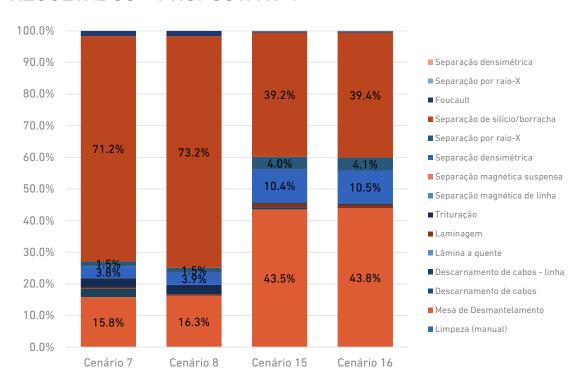
Etapas	Cenário 7 [kg CO2 eq.]	Cenário 8 [kg CO2 eq.]	Cenário 15 [kg CO2 eq.]	Cenário 16 [kg CO2 eq.]
Limpeza (manual)	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Mesa de Desmantelamento	1,57E-01	1,57E-01	1,57E-01	1,57E-01
Descarnamento de cabos	-	2,61E-04	-	1,30E-04
Descarnamento de cabos - linha	2,63E-02	-	2,63E-03	-
Faca de lâmina quente	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Laminagem	3,89E-03	3,89E-03	3,89E-03	3,89E-03
Trituração	2,89E-02	2,89E-02	1,45E-03	1,45E-03
Separação magnética de linha	1,41E-04	-	8,88E-05	-
Separação magnética suspensa	-	0,00E+00	-	0,00E+00
Separação densimétrica	3,76E-02	3,76E-02	3,76E-02	3,76E-02
Separação por raio-X	1,46E-02	1,46E-02	1,46E-02	1,46E-02
Separação de silício/borracha	7,07E-01	7,07E-01	1,41E-01	1,41E-01
Foucault	1,60E-02	1,60E-02	1,60E-03	1,60E-03
Separação por raio-X	3,13E-04	3,13E-04	3,13E-04	3,13E-04
Mesa densimétrica	3,62E-04	3,62E-04	3,62E-04	3,62E-04
TOTAL	9,92E-01	9,66E-01	3,61E-01	3,58E-01

ANÁLISE DE VIABILIDADE DE IMPLEMENTAÇÃO DE PROCESSOS DE RECICLAGEM DE PAINÉIS FOTOVOLTAICOS - ANÁLISE AMBIENTAL





## **ANÁLISE AMBIENTAL**



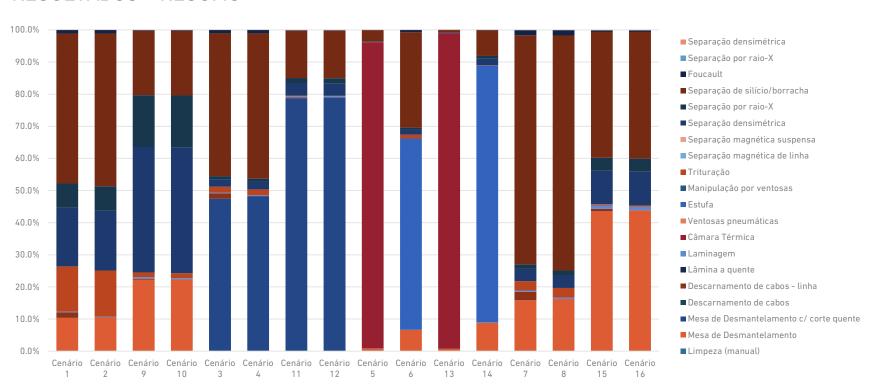
- O Cenário 16 apresenta melhor desempenho ambiental.
- O processo de lâmina quente não apresenta impacte significativo, pois seu consumo de energia é desprezável.







### **RESULTADOS – RESUMO**









## METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA



#### 4ª ETAPA

Interpretação dos resultados

Melhorias Futuras

								Cen	ários							
Global Warming	Proposta I				Proposta 2				Proposta 3			Proposta 4				
warming	1	2	9	10	3	4	11	12	5	6	13	14	7	8	15	16
[kg <i>CO</i> <sub>2</sub> eq.]	1.51	1.49	0.71	0.71	1.59	1.56	0.96	0.96	20.64	2.38	20.01	1.77	0.99	0.97	0.36	0.36



Os cenários 15 e 16 da proposta nº4 apresentam o melhor desempenho ambiental.



O pior desempenho ambiental deve-se essencialmente a utilização do ciclo térmico realizado com a câmara térmica, referente aos cenários 5 e 13. Estes resultados podem alterar significativamente aquando de uma análise para uma maior quantidade de painéis, devido à capacidade de produção dos equipamentos.

3.

ANÁLISE DE REUTILIZAÇÃO E INCORPORAÇÃO DE MATERIAIS RESULTANTES DA RECICLAGEM













#### PROJETO CABRISS

#### Materiais secundários de resíduos fotovoltaicos complexos

- Empresas gestoras de resíduos (metais: alumínio, cobre)
- Produtores (fabrico) de vidro
- Recicladores de vidro
- Refinarias
- Estações de tratamento de águas residuais
- Indústria de papel (PAC)
- Fabricantes de PF
- Fornecedores de materiais: silício desmetalizado, índio / compostos, prata / compostos

#### Silício de sobras de produção

- Fabricantes de PF
- Indústria dos refratários
- Indústria de cerâmicas avançada
- Indústria de nitretos de silício
- Indústria de silicones
- Indústria de aditivos para ligas
- Explosivos
- Baterias

#### Silício reciclado purificado de resíduos de PF

- Fabricantes de PF (produção de lingotes e pastilhas)
- · Para grau inferior purezas, mercados para cerâmicas avançadas e metais (ligas)

#### Prata recuperada dos resíduos de painéis

- Indústria solar fotovoltaica
- Indústria microeletrónica
- Aviação
- Indústria automóvel
- Produtores de Eletrónica impressa
- Produtores de monitores, sensores. filtros e OLEDs

#### Índio recuperado dos painéis de 2ª geração

• Utilizado na produção de alvos de pulverização de Índio (para utilização em ecrãs planos)







#### Indústria Transformadora

- Fabricação de vidro
- Cristalaria
- Cerâmica
- Química
- Farmacêutica
- Semicondutores

#### Energia

- Fabrico de painéis fotovoltaicos
- Fabrico de baterias lítio

Operadores de tratamento de resíduos

Aviação

**Automóvel** 

Eletrónica







**Objetivo**: analisar o mercado das empresas portuguesas e o possível interesse em incorporar os materiais provenientes do desmantelamento dos painéis fotovoltaicos nos processos produtivos. Avaliar as cadeias de valor com potencial interesse de incorporação

#### Lista de Materiais

#	Material
1	Perfil de alumínio (caixilho) Alumínio triturado
2	Vidro temperado (triturado ou inteiro)
3	EVA (acetato-vinilo de etileno) triturado
4	Silício triturado
5	Tedlar triturado
6	Cabos (triturados ou inteiros)
7	Cobre triturado (resultado dos condutores internos)
8	Prata triturada
9	Estanho, chumbo, outros materiais triturados







Pesquisa em base de dados nacionais: o Insight View, SICAE e o Kompass Portugal, considerando CAE, dimensão e localização da empresa.

		CAE	
Material	Designação	Específico	Designação
	Indústrias transformadoras	25120	Fabricação de portas, janelas e elementos similares em metal
	Indústrias transformadoras	24420	Obtenção e primeira transformação de alumínio
1- Alumínio (perfil ou	Indústrias transformadoras	24540	Fundição de outros metais não ferrosos
triturado)	Captação, tratamento e distribuição de água; saneamento, gestão de resíduos e despoluição	38321	Valorização de resíduos metálicos
	Comércio por grosso e a retalho; reparação de veículos automóveis e motociclos	46690	Comércio por grosso de outras máquinas e equipamentos
2- Vidro temperado	Indústrias transformadoras	23120	Moldagem e transformação de vidro plano
(triturado ou inteiro)	Indústrias transformadoras	23190	Fabricação e transformação de outro vidro (inclui vidro técnico)
	Indústrias transformadoras	13962	Fabricação de têxteis para uso técnico e industrial
3- EVA (acetato-vinilo	Indústrias transformadoras	22210	Fabricação de chapas, folhas, tubos e perfis de plástico
de etileno) (triturado)	Comércio por grosso e a retalho; reparação de veículos automóveis e motociclos	46494	Outro comércio por grosso de bens de consumo
4- Silício (triturado)	Indústrias transformadoras	23992	Fabricação de outros produtos minerais não metálicos diversos







Pesquisa em base de dados nacionais: o Insight View, SICAE e o Kompass Portugal, considerando CAE, dimensão e localização da empresa (cont).

	CAE						
Material	Designação	Específico	Designação				
	Indústrias transformadoras	22210	Fabricação de chapas, folhas, tubos e perfis de plástico				
5- Tedlar (triturado)	Comércio por grosso e a retalho; reparação de veículos automóveis e motociclos	46494	Outro comércio por grosso de bens de consumo				
6- Cabos (triturados ou inteiros) Indústrias transformadoras		27320	Fabricação de outros fios e cabos elétricos e eletrónicos				
	Indústrias extrativas	7290	Extração e preparação de outros minérios metálicos não ferrosos				
	Indústrias transformadoras	24440	Obtenção e primeira transformação de cobre				
		25940	Fabricação de rebites, parafusos e porcas				
7- Cobre (triturado)		25992	Fabricação de outros produtos metálicos diversos				
		28992	Fabricação de outras máquinas diversas para uso específico				
	Captação, tratamento e distribuição de água; saneamento, gestão de resíduos e despoluição	38321	Valorização de resíduos metálicos				
	Indústrias transformadoras	24410	Obtenção e primeira transformação de metais preciosos				
8- Prata (triturada)	Indústrias transformadoras	32122	Fabricação de artigos de joalharia e de outros artigos de ourivesaria				
O Fatanha ahumba	Indústrias transformadoras	24430	Obtenção e primeira transformação de chumbo, zinco e estanho				
9- Estanho, chumbo (triturados)	Indústrias transformadoras	25992	Fabricação de outros produtos metálicos diversos				
(ti itul duos)	Indústrias extrativas	7290	Extração e preparação de outros minérios metálicos não ferrosos				







#### Material

1- Alumínio

#### Setores de mercado

	Produção e comercialização de portões, portas, persianas, grades em alumínio	Extrusão, produção de perfis de alumínio e tratamento de superfícies	Valorização de resíduos metálicos		
	Fabricação de sistemas de janelas de metal	Extrusão e transformação de alumínio	Reciclagem de metais, separação e		
	Fabricação de aço para construção e metalomecânica	Extrusão, tratamento de superfície e comercialização de perfis de alumínio e acessórios	valorização em materiais ferrosos e não ferrosos enviados para fundições da especialidade		
	Construção metálica, fachadas de alumínio  Fabricação e comercialização de portões e	Mineração- Extrusão de alumínio, tratamento e	Comércio por grosso de sucatas e de desperdícios metálicos		
	janelas de alumínio	lacagem de perfis Reciclagem, valorização e comércio de	Comercialização e gestão de resíduos		
	Fabricação e comercialização de portões e janelas de aço e alumínio	resíduos e desperdícios metálicos ferrosos e	Fundição injetada e mecanização de peças		
	Fabricação de aparelhos elétricos e eletrónicos	Comércio de sucatas, desmantelamento doméstico, industrial e recolha de resíduos	Produção de ligas e lingotes		
	Comércio por grosso de outras máquinas e equipamentos	Comércio por grosso de produtos químicos, cerâmicos, tintas, plástico, metalurgia,	Fabricação de ligas de bronze e fundição contínua		
	Fabricação de equipamentos médicos	argamassas e alimentação animal	Produção de peças através da fundição de		
	Comércio por grosso de outras máquinas e equipamentos	Fabricação de semicondutores de energia renovável	alumínio Produção de peças em alumínio por fundição		
	Fabricação de aparelhos elétricos e eletrónicos	Indústria transformadora Fundição de outros metais não ferrosos	injetada a incorporar em produtos próprios e em subcontratação		
ı	Fabricação de máquinas de automação	Recicladora de metais não ferrosos para	Fundição injetada		
	, , , , , , , , , , , , , , , , , , , ,	produção de alumínio em lingotes e em estado	Fabricação de peças fundidas por gravidade em alumínio		
		líquido Fabricação de máquinas de automação	6		
			i —		

Outros



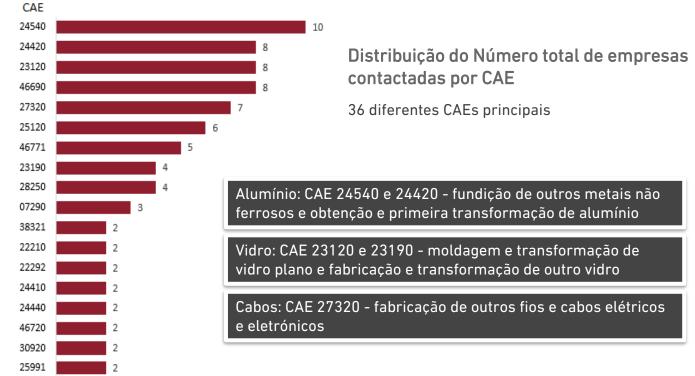




### **METODOLOGIA**

Foram contactadas 97 empresas (por e-mail, telefone e formulário), de acordo com a tipologia de material

de potencial interesse

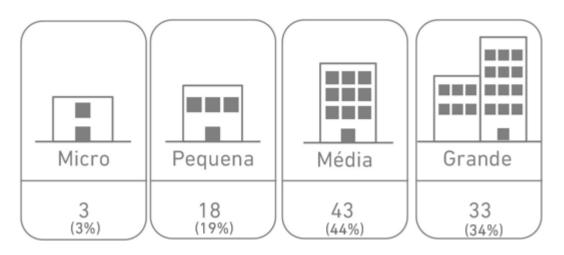








## Distribuição do Número total de empresas contactadas por dimensão

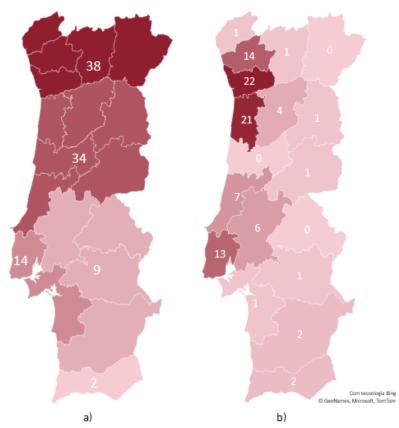








Distribuição do Número total de empresas contactadas por localização



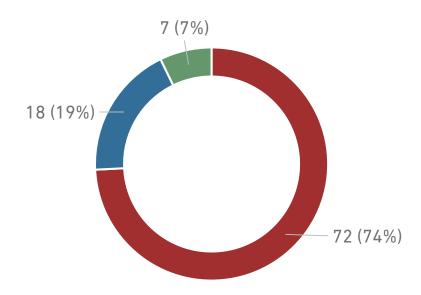






## MERCADO POTENCIAL: RESULTADOS

## Resultados dos inquéritos



■ Sem resposta ■ Resposta sem interesse ■ Resposta com interesse



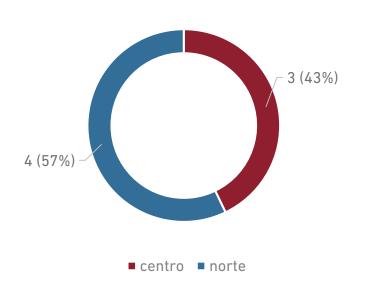


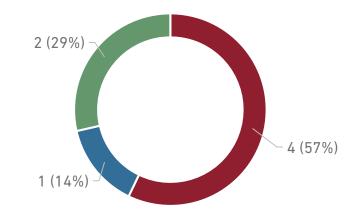


## MERCADO POTENCIAL: RESULTADOS

## Resultados dos inquéritos

Distribuição de respostas de empresas que revelaram ter interesse





■ Dimensão grande ■ Dimensão media ■ Dimensão pequena







#### **Resultados Positivos**

CAE	Setor de atividade	Materiais com potencial interesse	Processos Produtivos	Características dos materiais	Quantidades de materiais	Preço de compra / material atual
46771	Comercialização e gestão de resíduos metálicos	1-Alumínio 6- Cabos (triturados ou inteiros) 7- Cobre triturado 8-Prata 9- Estanho e chumbo triturado	Revenda a fundições de metais.	Ter quantidade de impurezas reduzidas	Sem mínimo exigido	Alumínio: 1500-2000 €/ton Cabos: 1500-4000 €/ton Cobre triturado: 6000- 7500 €/ton Prata: 400-500 €/Kg Estanho: 5000-15000 €/ton Chumbo: 1000-1700 €/ton
46771	Reciclagem, valorização e comércio de resíduos e desperdícios metálicos ferrosos e não ferrosos	1- Perfis de alumínio 7- Cabos inteiros 9- Estanho e chumbo triturado	Revenda a fundições, extrusoras, indústria de produção de alumínio, cobre, etc ou com potencial para operadores de resíduos devidamente licenciados.	Materiais devem estar separados por tipologia, sem impurezas ou contaminação (>90- 98%)	Sem mínimo exigido	-







## Resultados Positivos (cont.)

CAE	Setor de atividade	Materiais com potencial interesse	Processos Produtivos	Características dos materiais	Quantidades de materiais	Preço de compra / material atual
46762	Produtos e equipamentos para a preparação de superfícies por jateamento	<ul><li>1- Alumínio</li><li>2- Vidro temperado triturado</li><li>4- Silício triturado</li><li>6- Cobre triturado</li></ul>	Processos de jateamento Utilizado em operações de limpeza sensíveis seco ou húmido, em equipamentos de pressão ou sucção.	Forma angular Dimensões entre 40-800 µm Densidade ~2.5g/cm <sup>3</sup> Dureza ~ 6 mohs	Sacos de 25 Kg Paletes de 1200 Kg	Granalha de vidro ronda os 0.30 € /Kg
28992	Concebe, produz e monta equipamentos	1-Alumínio 6-Cobre	Consomem uma pequena quantidade de alumínio na desoxidação das ligas em cada vazamento.	Alumínio: este material deve estar devidamente limpo de impurezas a fim de não contaminar as ligas em questão Cobre: neecssário saber a composição química correta, que afeta a composição química do aço a produzir	Alumínio: 200 Kg/ano Cobre: 3000 Kg/ano	-







## Resultados Positivos (cont.)

CAE	Setor de atividade	Materiais com potencial interesse	Processos Produtivos	Características dos materiais	Quantidades de materiais	Preço de compra / material atual
38321	Reciclagem de metais ferrosos e não-ferrosos	<ul><li>1- Perfil alumínio</li><li>6- Cobre triturado</li><li>7- Cabos</li><li>9- Chumbo</li></ul>	-	Perfil alumínio: limpo Cabos: sujeito a análise de percentagens Cobre triturado: de primeira sem qualquer contaminação Chumbo: limpo	-	Perfil alumínio: 1500 €/ton Cabos: 1400 €/ton Cobre triturado: 7300 €/ton Chumbo: 1400 €/ton
24520	Fundição de ferro e aço	4- Silício triturado 6- Cobre triturado	Produção de ligas ferrosas Fusão.	Composição química Nível de pureza	1000 Kg	-
46900	Comércio e Indústria de Espumas para Calçado	3- EVA	Venda de material em rolo e corte em peças.	Densidade: 79 kg/m³ Composição: 45% EVA virgem; 45% PE reciclado; 10% outros.	-	-

# NOTAS FINAIS













#### Análise Técnico-Económica

- Verifica-se benefício de uma etapa prévia de limpeza simples dos painéis solares, de forma a retirar impurezas que possam danificar os materiais nos subprocessos de separação.
- Os valores de receita mais aproximados por cenário, bem como o setor de destino mais apropriado, estarão diretamente relacionados com o nível de pureza dos materiais recuperados e/ou o envio de amostras para potenciais clientes.
- Não existindo interesse na aquisição do vidro temperado não triturado pode ser considerada a eliminação da etapa de corte / laminagem nas propostas e a aquisição de um equipamento de trituração com a capacidade de resposta de processamento do vidro temperado.
- Relativamente à proposta n°3 deve considerar-se que a etapa de trituração ocorreria apenas após o ciclo térmico.







## Análise Técnico-Económica (cont.)

- Existem 4 cenários sem viabilidade económica para as empresas, já que têm uma capacidade de produção muito baixa, um PRI negativo e os custos mensais são sempre superiores às receitas mensais: cenários 6 e 14 - Proposta nº 3, 7 e 8 - Proposta nº 4 e 14.
- Ainda pela negativa, destaca-se os cenários 3 e 4 Proposta nº2, já que o prazo de retorno de investimento é demasiado longo.
- Pela positiva, destaca-se os cenários 1 e 2 Proposta nº1: investimento inicial e capacidade de produção são semelhantes entre si, ambos têm um prazo de retorno do investimento reduzido.
- Por último, os cenários 9 e 10 Proposta nº1, cujo investimento inicial é bastante semelhante entre si e o cenário 13 Proposta nº 3, cujo investimento inicial é significativamente superior aos dois primeiros: Todos têm uma capacidade de produção semelhante entre si, e significativamente mais elevada que os cenários 1 e 2, e um prazo de retorno do investimento abaixo de 1 ano.







#### Análise Ambiental

- A proposta nº4 apresenta melhor desempenho ambiental relativamente às outras propostas, contudo apenas os cenários 15 e 16 apresentam o melhor desempenho ambiental relativamente aos restantes cenários.
- Os cenários 5 e 13 referentes à proposta nº3 são os que apresentam pior desempenho ambiental devendo-se essencialmente ao uso da câmara térmica.
- Em cada proposta, os melhores cenários são os seguintes:
  - Na proposta nº1, o cenário 10;
  - Na proposta n°2, o cenário 12;
  - Na proposta n°3, o cenário 14;
  - Na proposta nº4, o cenário 16.
- Quando se considera a maior capacidade de produção dos equipamentos, o descarnamento de cabos isolado da linha e a separação magnética em suspensão, os resultados apresentam melhor desempenho ambiental.
- A adição do ciclo térmico à linha de desmantelamento e a linha de separação de silício/borracha de sílica são críticos para o desempenho ambiental.







## **Análise Completa**

 Na conjugação da análise técnico-económica e ambiental, todos os cenários analisados relativos à proposta nº1 evidenciam-se como as melhores soluções a prosseguir para uma avaliação mais aprofundada e para uma fase de teste à escala industrial.







## CONCLUSÕES - ANÁLISE DE REUTILIZAÇÃO E INCORPORAÇÃO DE MATERIAIS RESULTANTES DA RECICLAGEM

- Foram contactadas 97 empresas nacionais, de acordo com o seu CAE, dimensão e localização.
- Das respostas de empresas com interesse na valorização dos materiais recebidas (7):
  - 3 localizam-se na região centro (43 %), nos distritos de Leiria, Santarém e Aveiro,
  - e 4 estão sediadas na região norte (57 %), mais especificamente 3 no Porto e 1 em Braga.
- O número de respostas obtidas ficou aquém do esperado, o que revela que este tema ainda é desconhecido para o contexto nacional.
- Poderá existir mercado nacional para o silício e o vidro temperado.
- Futuramente, seria interessante poderem ser analisadas simbioses industriais, com base no conhecimento de intervenientes identificados da cadeia de valor





MAIS DE 35 ANOS A CONVERTER CONHECIMENTO **EM VALOR** 



## **OBRIGADO**

Viviana Correia Pinto Responsável do Grupo de Economia Circular Unidade de Engenharia e Gestão Industrial

vpinto@ineqi.up.pt +351 22 957 87 10 / +351 92 519 66 94

INSTITUTO DE CIÊNCIA E INOVAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA E ENGENHARIA INDUSTRIAL

www.inegi.pt

















Consultora



Luiz Rodrigues



Consultora



Consultor / Investigador













© INEGI todos os direitos reservados