





# Considerações técnicas para reciclagem de espuma flexível de poliuretano.

Gerson Silva  
08.11.2018

# Fontes de Espuma Flexível de Poliuretano

## RESÍDUOS PÓS-INDUSTRIAIS

- Podem ser até 20% do peso da espuma produzida devido ao corte de blocos e cortes modelados;
- Esta espuma é biologicamente limpa;
- Tem uma composição conhecida.



# Fontes de Espuma Flexível de Poliuretano



## RESÍDUOS PÓS-CONSUMIDOR

- Resultado de produtos descartados como colchões, móveis e assentos de transporte;
- A espuma pode ter atividade microbiológica;
- Tem uma composição desconhecida.

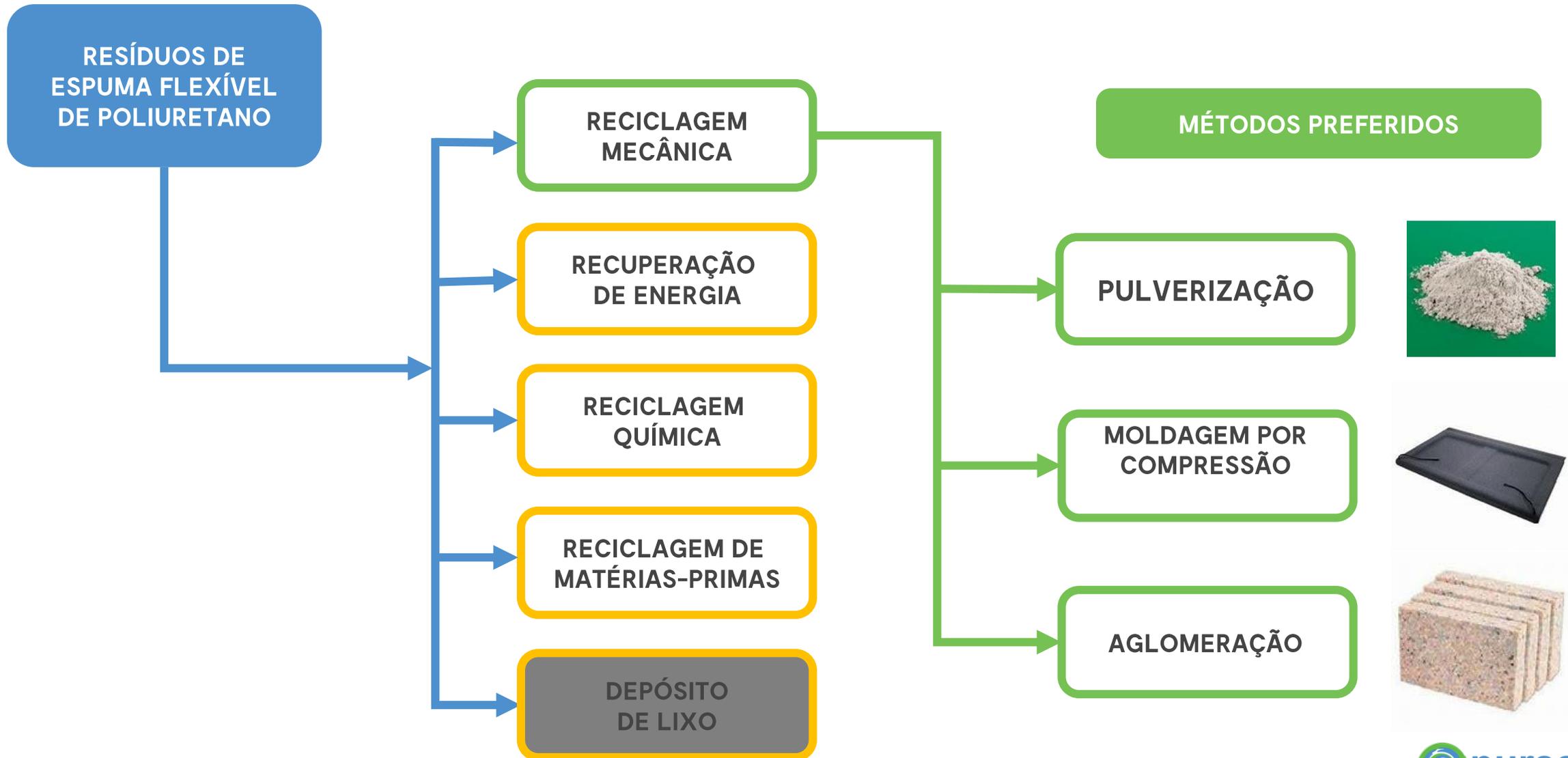


# Características dos Resíduos de Espuma Flexível de Poliuretano

	PÓS-INDUSTRIAL	PÓS-CONSUMIDOR
COMPOSIÇÃO QUÍMICA	Conhecida	Desconhecida
IMPUREZAS	Nenhum	Muitas possibilidades
PRESENÇA DE CONTAMINANTE	Não	Têxtil, Metal, Plásticos, Humidade
ATIVIDADE MICROBIOLÓGICA	Não	Micróbios - requer tratamento
QUALIDADE DA ESPUMA	Material novo	Perda de propriedades

A espuma flexível pós-industrial é comparável ao material novo, enquanto o material pós-consumo requer tratamento diferente para reciclagem adequada.

# Opções para Espuma Flexível Excedente



# Eliminação como Lixo

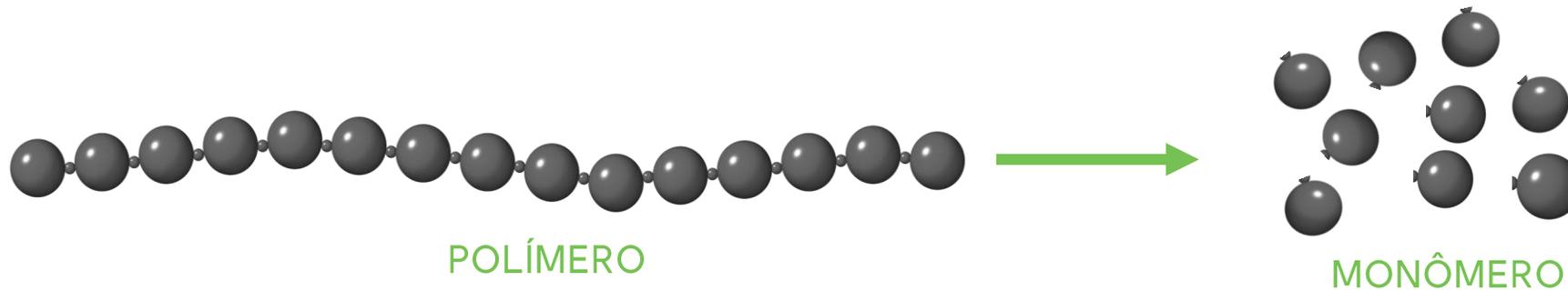


**Ecologicamente não é uma boa solução**

- O depósito de lixo não é o local ideal para o descarte da espuma;
- Material de baixa densidade requer grandes volumes no depósito;
- O material é difícil de compactar, causando instabilidade no depósito;
- Representa um terreno fértil para insetos e vermes;
- Hidrólise resulta na liberação de produtos químicos poluentes;
- Prejudicial aos nossos rios e terras agrícolas.

# Reciclagem de Matérias-Primas

- Polímeros podem ser despolimerizados por vários processos como calor, oxidação e decomposição catalítica.
- Polímeros de poliadição se decompõem na forma monomérica do polímero.



- Poliuretano é um Polímero de Adição
  - É produzido pela reação de dois monômeros - um polioli e um isocianato;
  - Despolimerização nos monômeros originais não ocorre;
  - O poliuretano se decompõe termicamente em alcatrões e gases que não têm uso prático na fabricação de novas moléculas de polímero.

**Descompactação da cadeia polimérica não ocorre com o poliuretano.**

# Recuperação de Energia

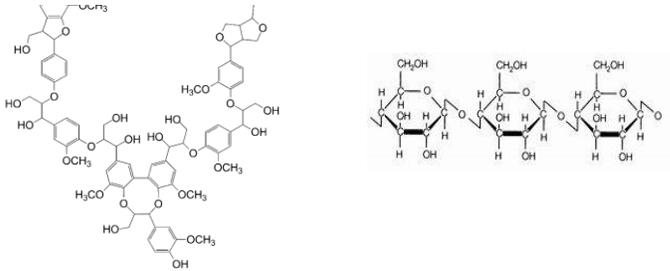
VALORES CALORÍFICOS DE COMBUSTÍVEIS PARA GERAÇÃO DE ENERGIA	
mega Joule/kg	
ÓLEO COMBUSTÍVEL	40
CARVÃO	29
POLIURETANO	25
LIGNITO	19
PAPEL	16
MADEIRA	14
RESÍDUOS MUNICIPAIS	9

- Geralmente o poliuretano seria misturado com outros materiais plásticos e incinerado como resíduos municipais mistos.
- O poder calorífico efetivo é, portanto, significativamente reduzido;
- Devido à baixa densidade de espuma, pode representar mais de 30% do volume de resíduos;
- Representando cerca de 2% do valor de combustível;
- A incineração reduz o volume de cinzas produzidas para 1%;
- A incineração apresenta uma opção prática para espuma de poliuretano pós-consumo que é altamente contaminada.

# Combustão – Madeira e PU

## MADEIRA

Estrutura complexa requer maior energia para decomposição térmica



Lignina e Celulose  
composto de Carbono, Hidrogênio e Oxigênio

OXIGÊNIO



COMBUSTÃO

14 mega Joule/kg

Fumaça

Dióxido de Carbono

Monóxido de Carbono



Vapor

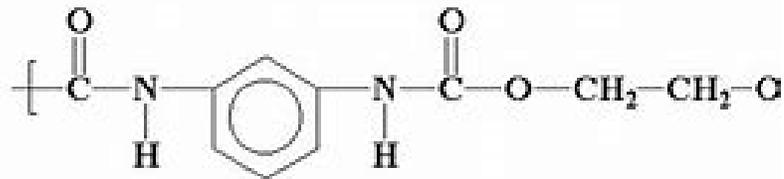
Aldeídos

Baixos Níveis de Óxidos de Nitrogênio

Pouco Cianeto e Hidrogênio

## POLIURETANO

Estrutura simples de baixa energia para decomposição térmica



Composto de Hidrogênio, Carbono  
Nitrogênio e Oxigênio

OXIGÊNIO



COMBUSTÃO

25 mega Joule/kg

Fumaça

Dióxido de Carbono

Monóxido de Carbono



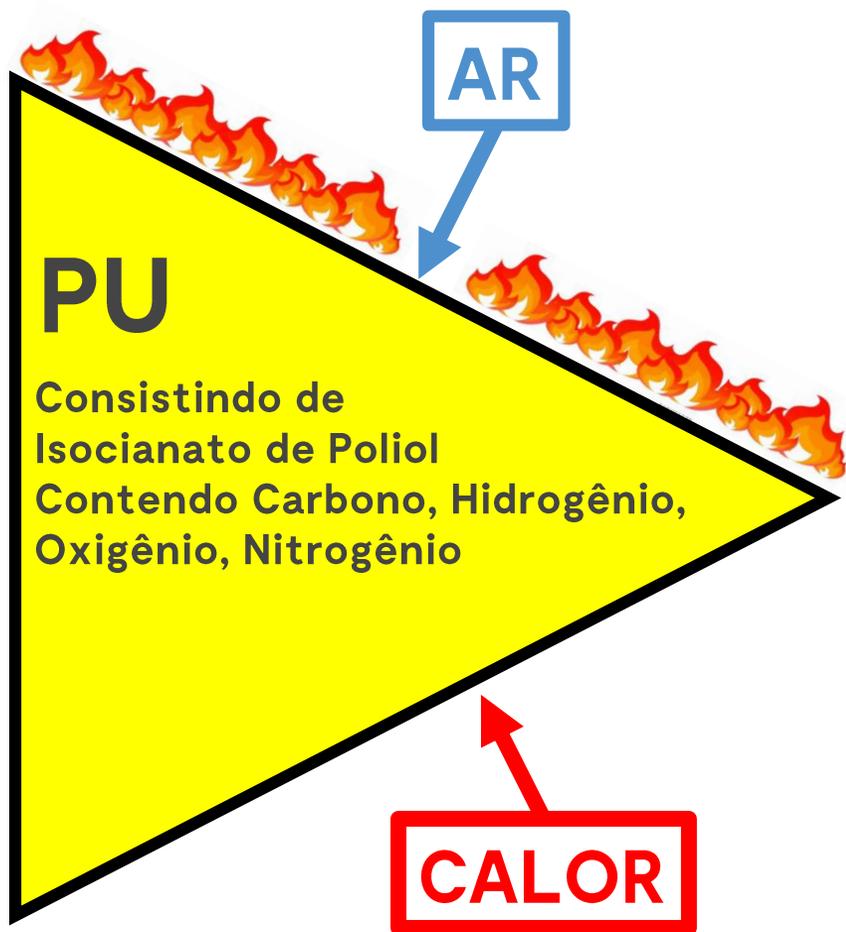
Aldeídos

Óxidos de Nitrogênio

Cianeto de Hidrogênio



# Produtos Químicos Resultantes da Queima de Poliuretano



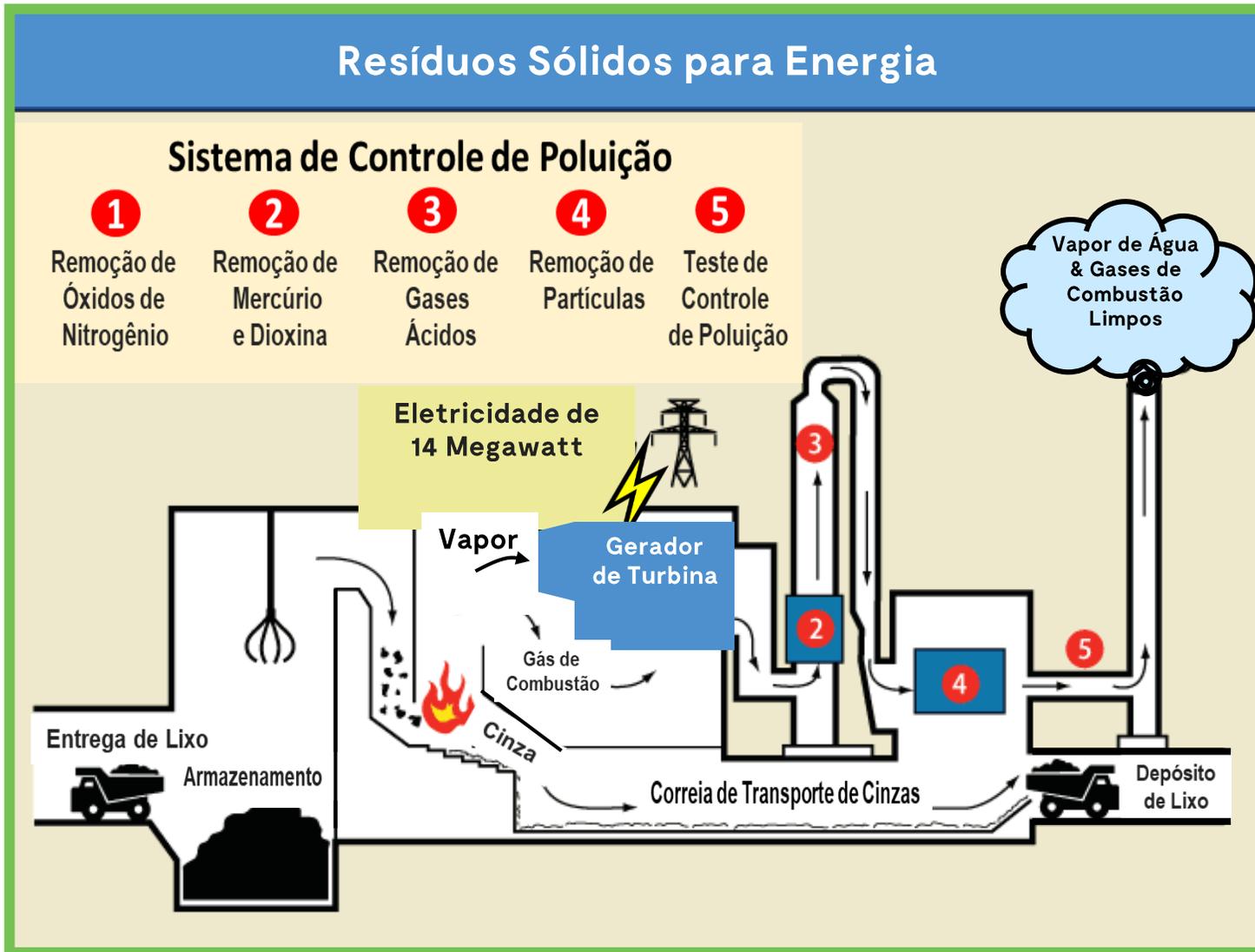
- Carbono → Fumaça, Monóxido de Carbono, Dióxido de Carbono;
- Nitrogênio → Óxido Nítrico, Óxido Nitroso, Dióxido de Nitrogênio, Pentóxido de Nitrogênio - No<sub>x</sub>;
- Cianeto de Hidrogênio;
- Aldeídos, como Formaldeído, Acetaldeído, Dioxina;
- Água também é produzida;
- Outros compostos usados na fabricação de poliuretano.

O catalisador de estanho produzirá Óxidos de Estanho. Retardadores anti-chama de fósforo halogenado produzem Ácido Fosfórico e Ácido Clorídrico.

C  
CO  
CO<sub>2</sub>  
NO  
NO<sub>2</sub>  
N<sub>2</sub>O  
N<sub>2</sub>O  
HCN  
HCHO  
CH<sub>3</sub>HCO  
H<sub>2</sub>O  
H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>  
HCl  
SnO<sub>2</sub>

Todos esses Gases são Tóxicos e Poluentes

# Recuperação de Energia



- Espuma de poliuretano pode ser queimada para converter em energia;
- A planta de incineração requer controles rigorosos contra a poluição;
- Gases de combustão de poliuretano incluem monóxido de carbono e dióxido de carbono, óxidos de nitrogênio e cianeto de hidrogênio.

# Reciclagem Mecânica

Uma alternativa viável à reutilização de espumas flexíveis pós-industriais e de pós-consumo.

## PULVERIZAÇÃO



para incorporação em espuma nova.

## MOLDAGEM POR COMPRESSÃO



fabricação de artigos sólidos.

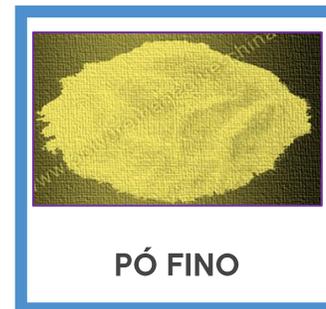
## AGLOMERAÇÃO



produção de blocos de espuma densificada.



# Reciclagem Mecânica – Via Pulverização



# Reciclagem Mecânica – Via Pulverização

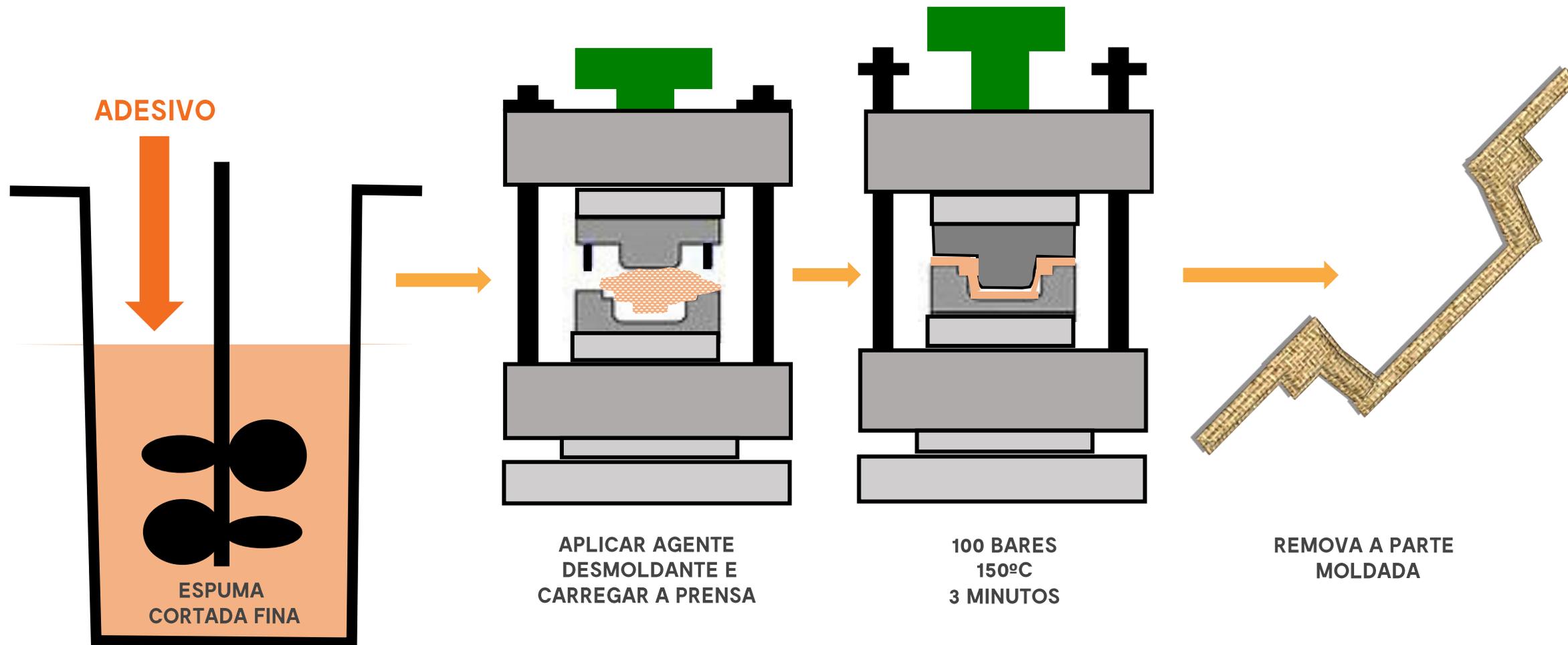
- O tipo preferido de espuma é pós-industrial limpo;
- A espuma de poliuretano granulado tem características de uma carga sólida;
- O tamanho da partícula varia de 100 a 200 microns (0,1 a 0,2 mm);
- Para referência, o tamanho de carbonato de cálcio é de 100 a 200 microns;
- Possibilidade de incorporar até 30% de pó de PU em peso;
- O pó tem uma grande área superficial e aumenta a viscosidade de polioli;
- Adição do pó de PU resulta em aumento da dureza e a densidade da espuma;
- Adição de pó não causa deterioração das propriedades da espuma.

# Reciclagem Mecânica Via Moldagem por compressão

- Este processo envolve o revestimento de partículas de espuma com ligantes líquidos baseados em poliuretano;
- Este material pode então ser moldado ou pressionado em placas por cura a temperatura e pressão elevadas;
- O processo aceita quantidades de material fibroso de têxteis e poliéster comumente usados em colchões.



# Reciclagem Mecânica - Via Moldagem por compressão



# Reciclagem Mecânica - Via Aglomeração

O MÉTODO MAIS COMUM PARA TRATAMENTO DE ESPUMA FLEXÍVEL EXCEDENTE.

## EXISTEM VÁRIOS MÉTODOS DE PROCESSAMENTO

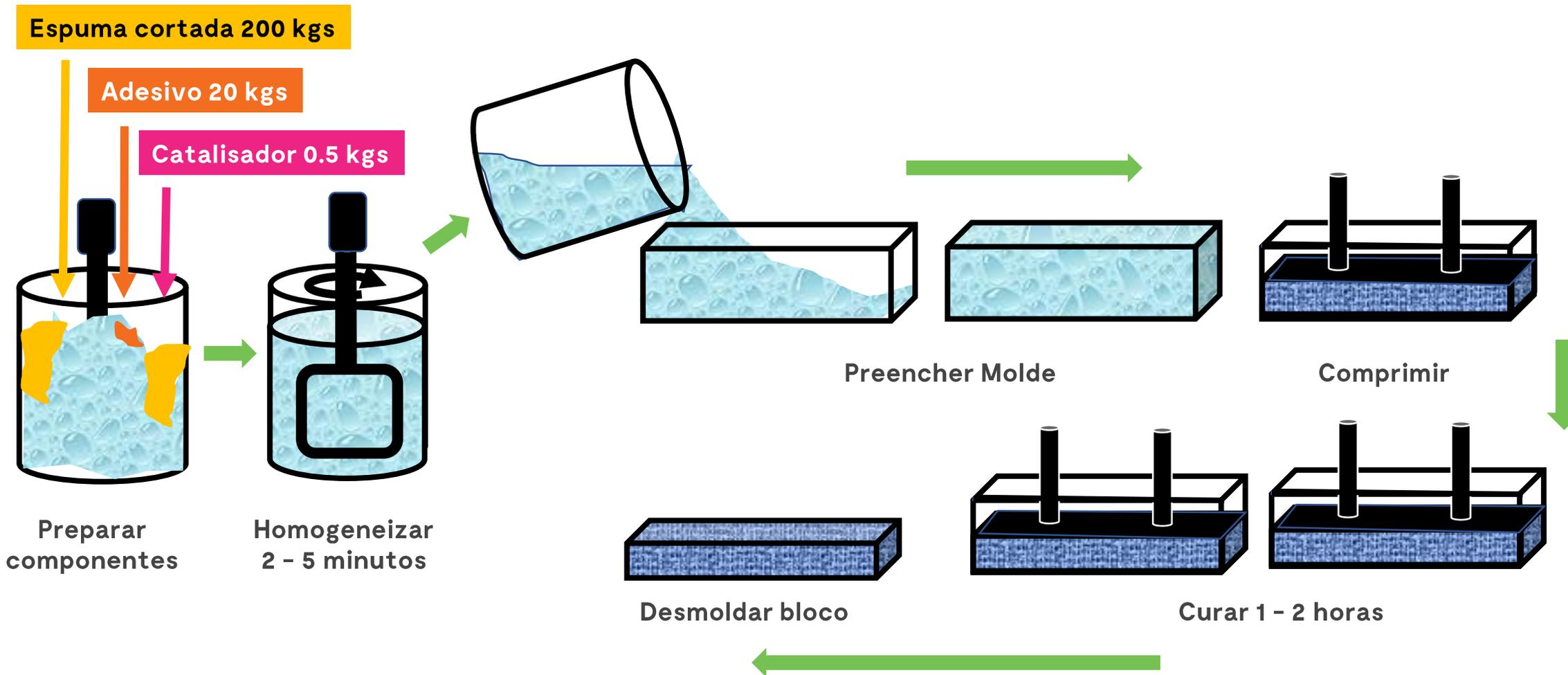
- Processo descontínuo
- Processo contínuo
- Reação a frio
- Reação a quente

## PRODUZINDO

- Blocos Retangulares
- Blocos cilíndricos
- Lâmina
- Peças moldadas

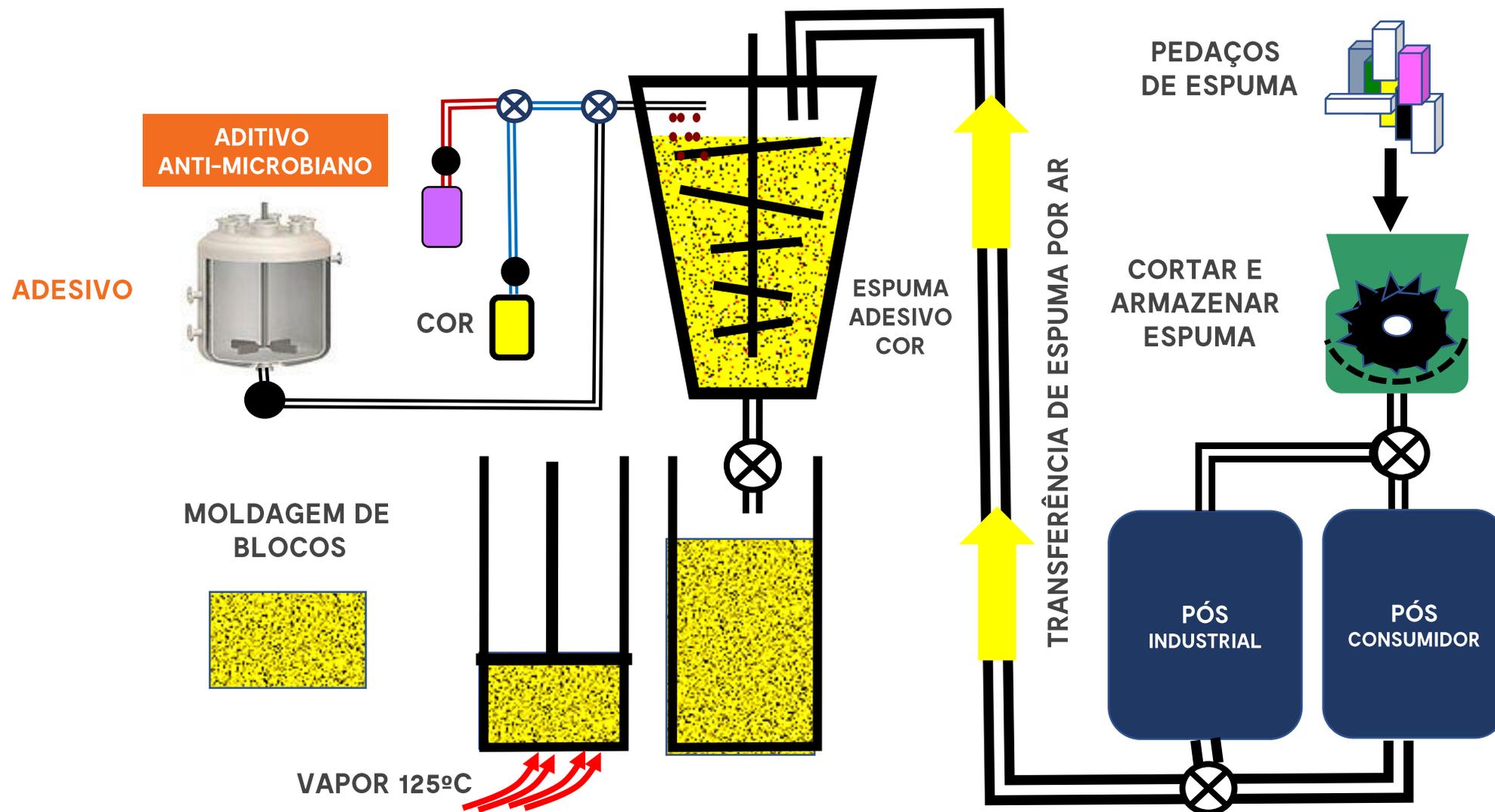
Espuma de baixa densidade é revestida com adesivo e compactada para um produto de maior densidade.

# Reciclagem Mecânica - Via Aglomeração



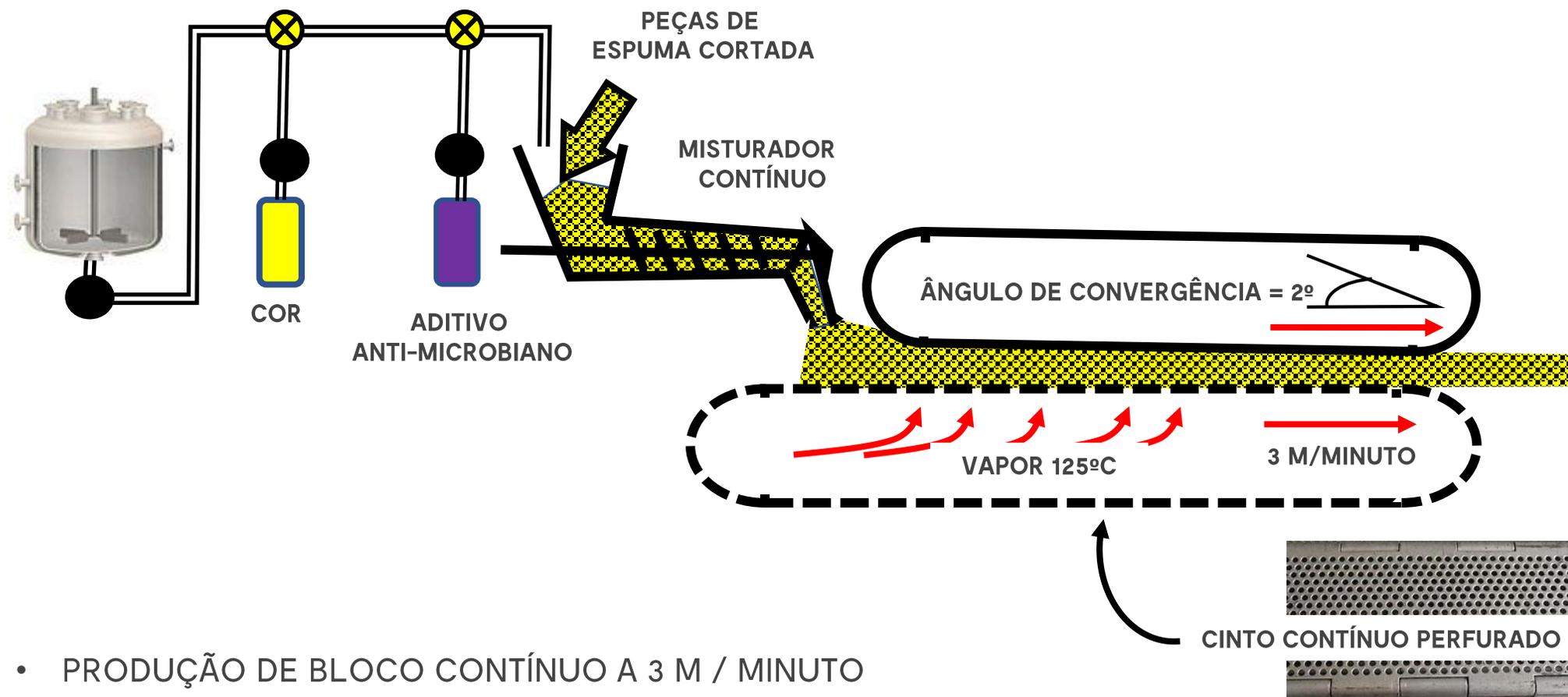
Espuma aglomerada – processo descontínuo de moldagem a frio.

# Reciclagem Mecânica - Via Aglomeração



Processo semi-automatizado para moldagem a quente de blocos cilíndricos.

# Reciclagem Mecânica - Via Aglomeração



- PRODUÇÃO DE BLOCO CONTÍNUO A 3 M / MINUTO
- 1,40 M DE LARGURA
- ESPESSURA DE 2,5 A 8 CMs
- DENSIDADE = 80 - 150 KG / M3

Espuma aglomerada – processo contínuo de moldagem a quente



## Atividade Microbiológica de Espumas Pós-Consumo

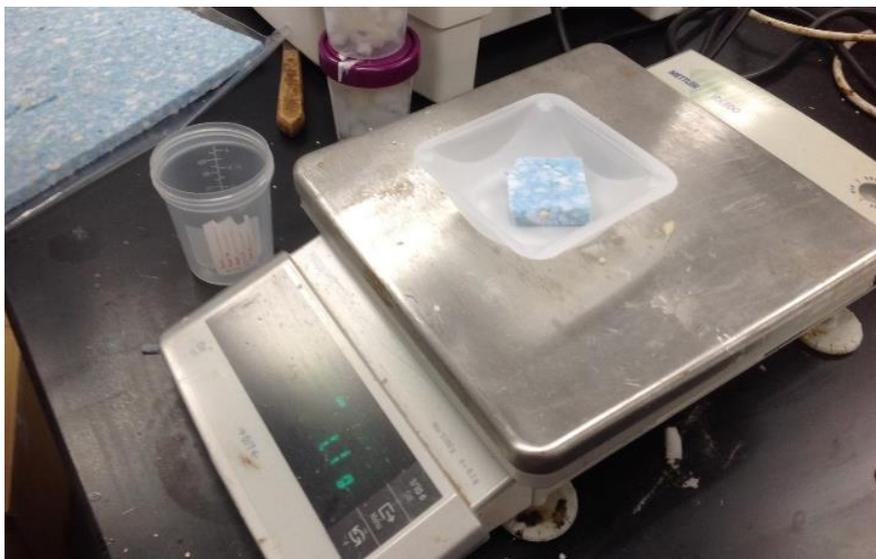
- Os produtos de pós consumo, como os colchões, podem ter níveis significativos de material biologicamente ativo;
- Avaliações do teor de biocarga cultiváveis de pós-consumo de espuma foram realizados;
- Os resultados do estudo levaram à escolha do agente antimicrobiano correto para incorporação em espuma aglomerada.

# Atividade Microbiológica de Espumas Pós-Consumo



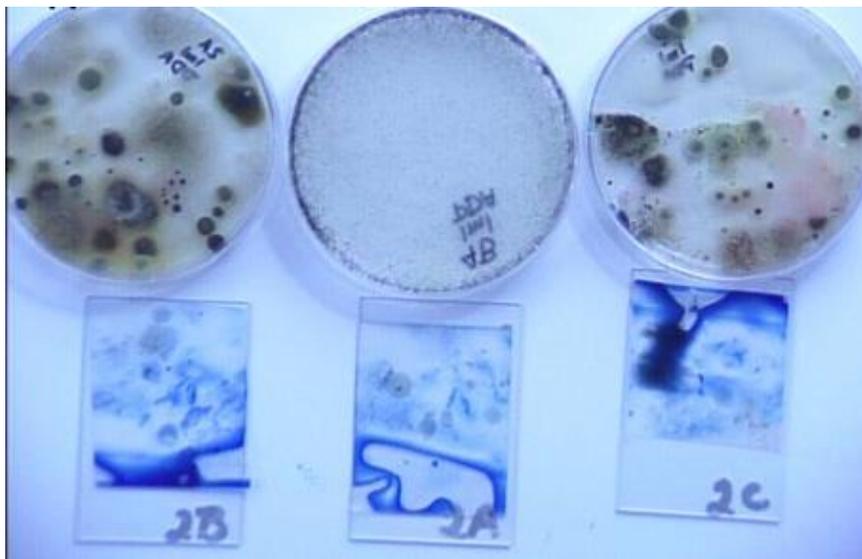
- As espumas aglomeradas foram produzidas a partir de 100% de resíduo pós-industrial, 100% de espuma de colchão e misturas de ambos tipos de espumas.
- As espumas aglomeradas podem ser produzidas com ou sem o aditivo antimicrobiano.

# Atividade Microbiológica de Espumas Pós-Consumo



PREPARAÇÃO DA AMOSTRA

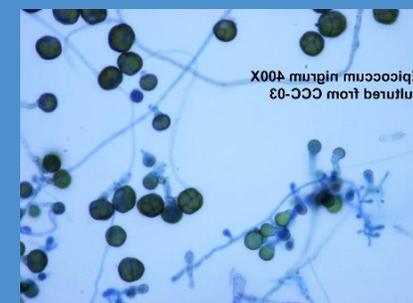
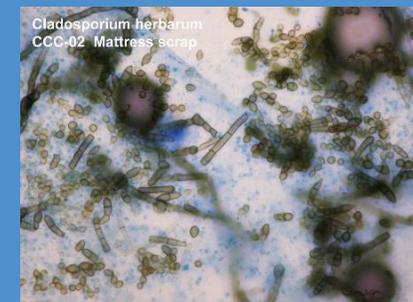
A avaliação laboratorial da biocarga cultivável foi realizada por um laboratório de testes especializado.



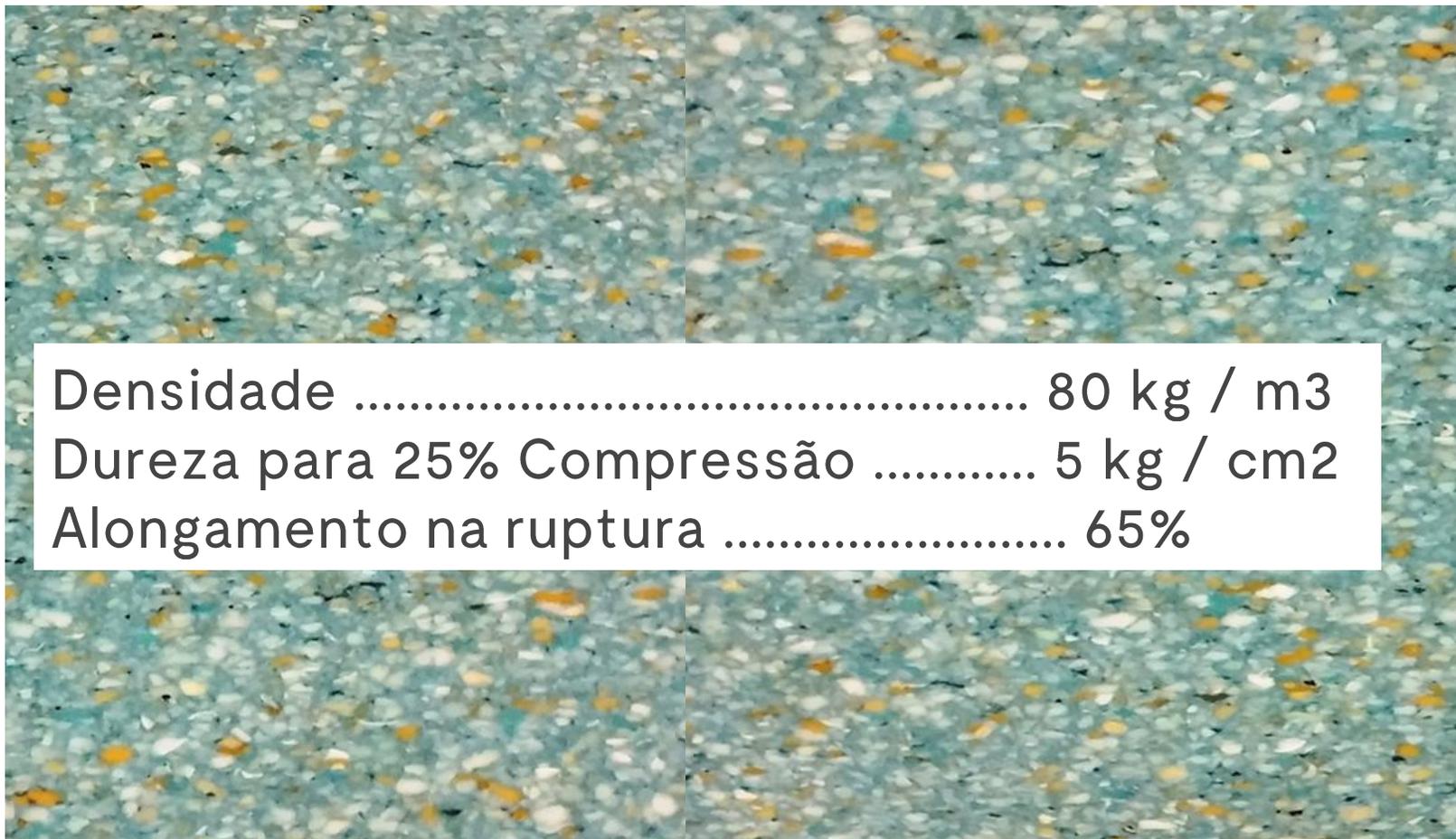
INCUBAÇÃO 1 SEMANA

A amostra do meio utilizou 30% de resíduos pós-consumo e agente bactericida e fungicida.

CRESCIMENTO DE FUNGOS E MICRÓBIOS



# Espuma de Reciclagem de Colchões

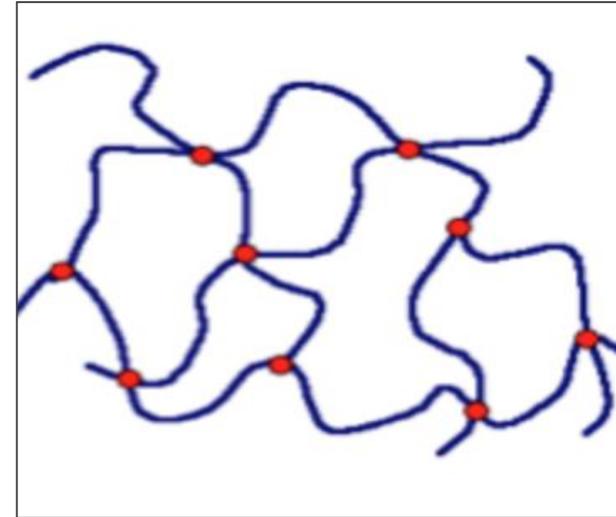
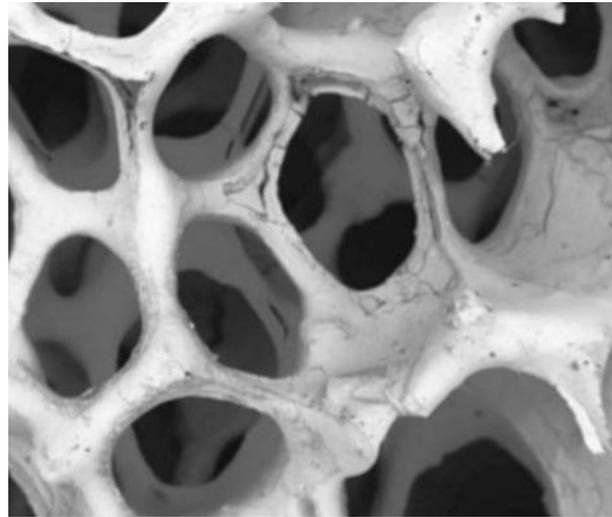
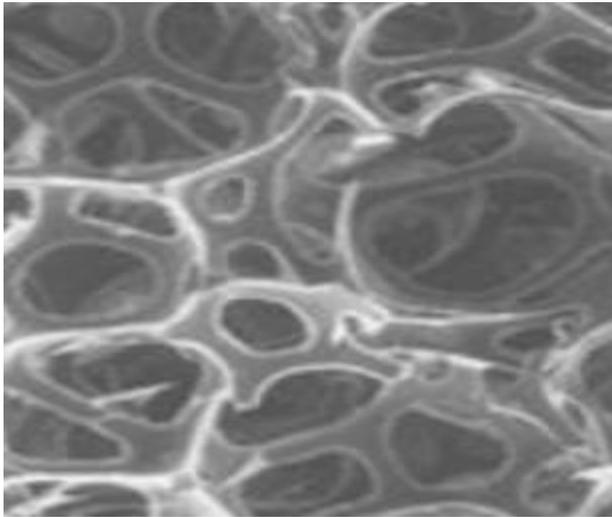


Densidade ..... 80 kg / m<sup>3</sup>  
Dureza para 25% Compressão ..... 5 kg / cm<sup>2</sup>  
Alongamento na ruptura ..... 65%

Espuma Aglomerada 70% Pós-industrial + 30% Espuma de Colchão Reciclado.

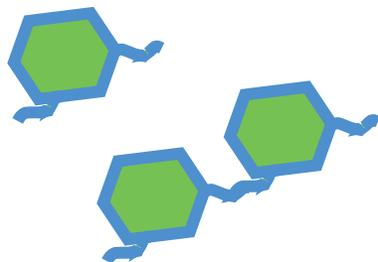
# Reciclagem Química

O que há na estrutura celular de uma espuma flexível?

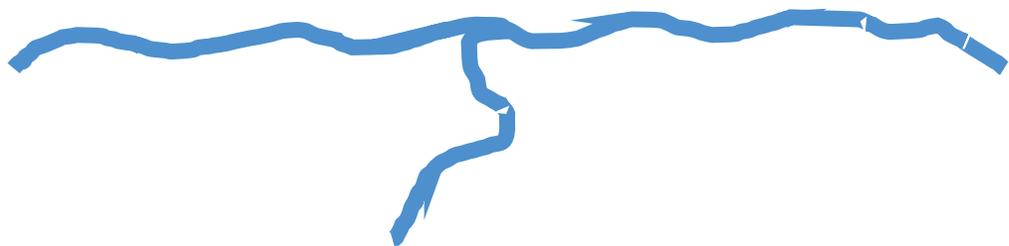


O poliuretano compreende uma mistura de segmentos alifáticos do polioli e segmentos aromáticos, a partir do isocianato.

Blocos de isocianato aromático com uma massa molecular de 200 a 500.  
Base de C, H, O e N 30% do poliuretano.



Segmentos de poliois alifáticos com uma massa molecular de 3000.  
Base de carbono hidrogênio e oxigênio - 70% do poliuretano



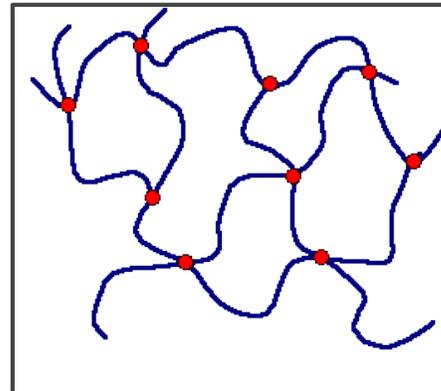
Estrutura química  
do poliuretano  
flexível

Estrutura química  
do poliuretano  
flexível

**A concentração molecular elevada de água na espuma flexível resulta na maior concentração de ligações de uréia do que ligações de uretano.**

Entre as ligações na cadeia de poliuretano são encontradas as seguintes ligações:

uréia  
uretano  
alofanato  
biureto  
carbodiimida  
uretonimina  
isocianurato



Não somente cadeias lineares são formadas, mas a maioria destas reações resultam em ramificação na estrutura do polímero.





# Decomposição Química de Poliuretano

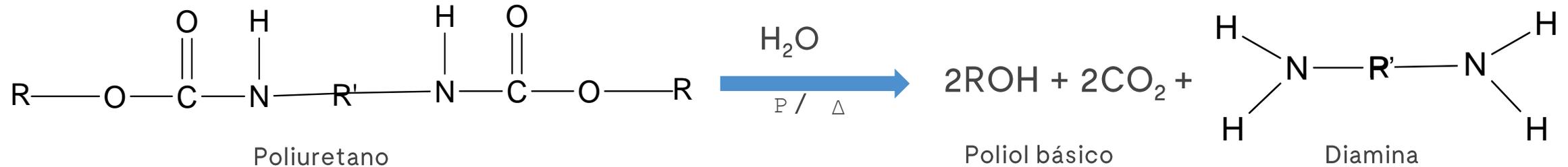
Desde a década de 60, várias técnicas têm sido estudadas e são utilizadas comercialmente hoje.

Alguns exemplos são:

- Hidrólise
- Amonólise e aminólise
- Glicólise

Estes processos requerem temperaturas elevadas e muitas vezes a utilização de pressão e longos tempos de reação.

# Hidrólise



Hidrólise é um processo onde a espuma de poliuretano é reagida com água sob pressão e alta temperatura.

O Resultado da hidrólise do poliuretano é o próprio poliol poliéter original utilizado, diaminas e gás carbônico.

## Amonólise e Aminólise

1m<sup>3</sup> de espuma pode ser quimicamente destruída por 1L de alkanolamina.

Os produtos obtidos são: o poliol básico, utilizado na fabricação da determinada espuma, carbamatos e aminas aromáticas.

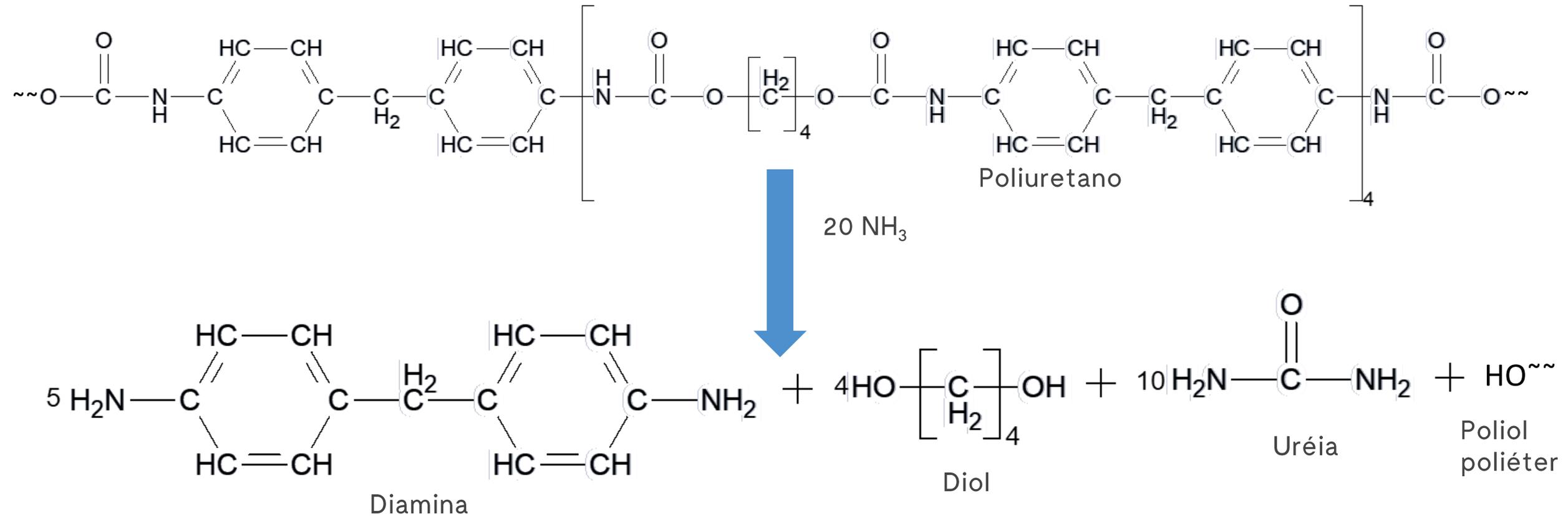
Este produto final tem duas fases: a fase superior é um poliol poliéter contaminado com aminas. A fase inferior é composta de "TDA" ou "MDA" e derivados das alkanolaminas.

Em um processo híbrido de aminólise/alkoxilação, o resíduo de poliuretano reage simultaneamente com a alkanolamina e com óxido de propileno, obtendo um produto mais puro, com maior rendimento de reação e melhores propriedades físicas.

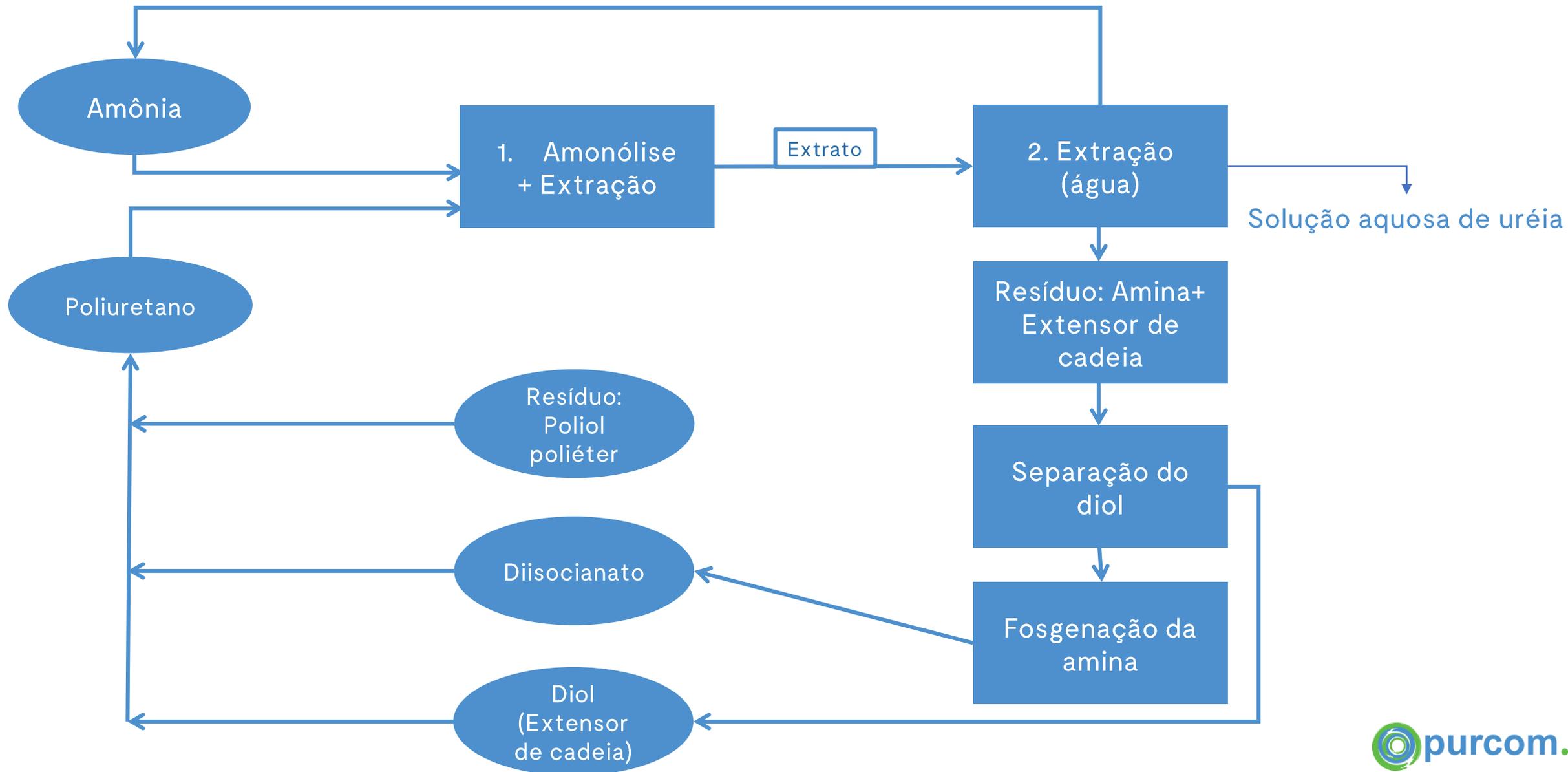
Aminólise é o nome que se dá à reação catalisada dos resíduos de poliuretano com aminas, sob pressão e alta temperatura.

# Amonólise e Aminólise

Amonólise: É a reação de amônia com resíduo de poliuretano



# Amonólise e Aminólise



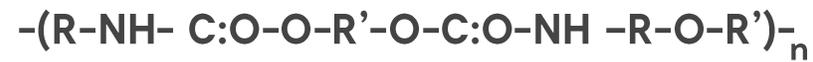
# Reciclagem Química

## Glicólise

O poliuretano pode ser glicolizado para produzir um componente líquido que é potencialmente útil para a fabricação de um novo poliuretano.



PLANTA DE GLICÓLISE

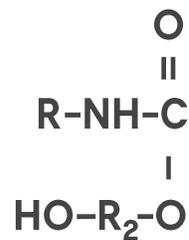


POLIURETANO

+



DIETILENO GLICOL



COMPOSTOS HIDROXÍLICOS  
DE AMINO AROMÁTICO

+



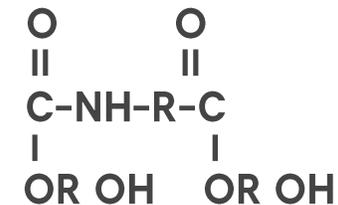
POLIOL  
ORIGINAL

+



MONOL

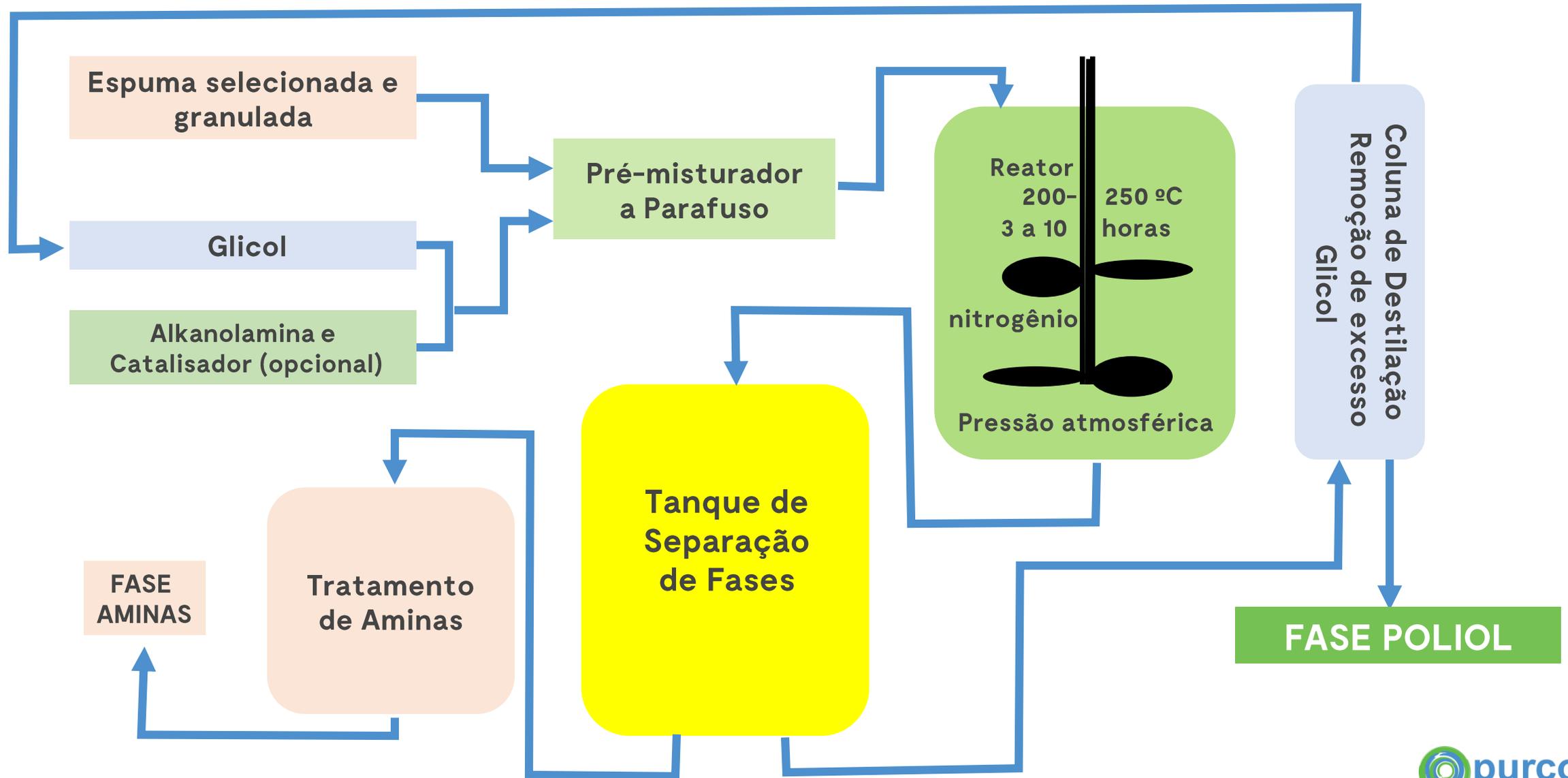
+



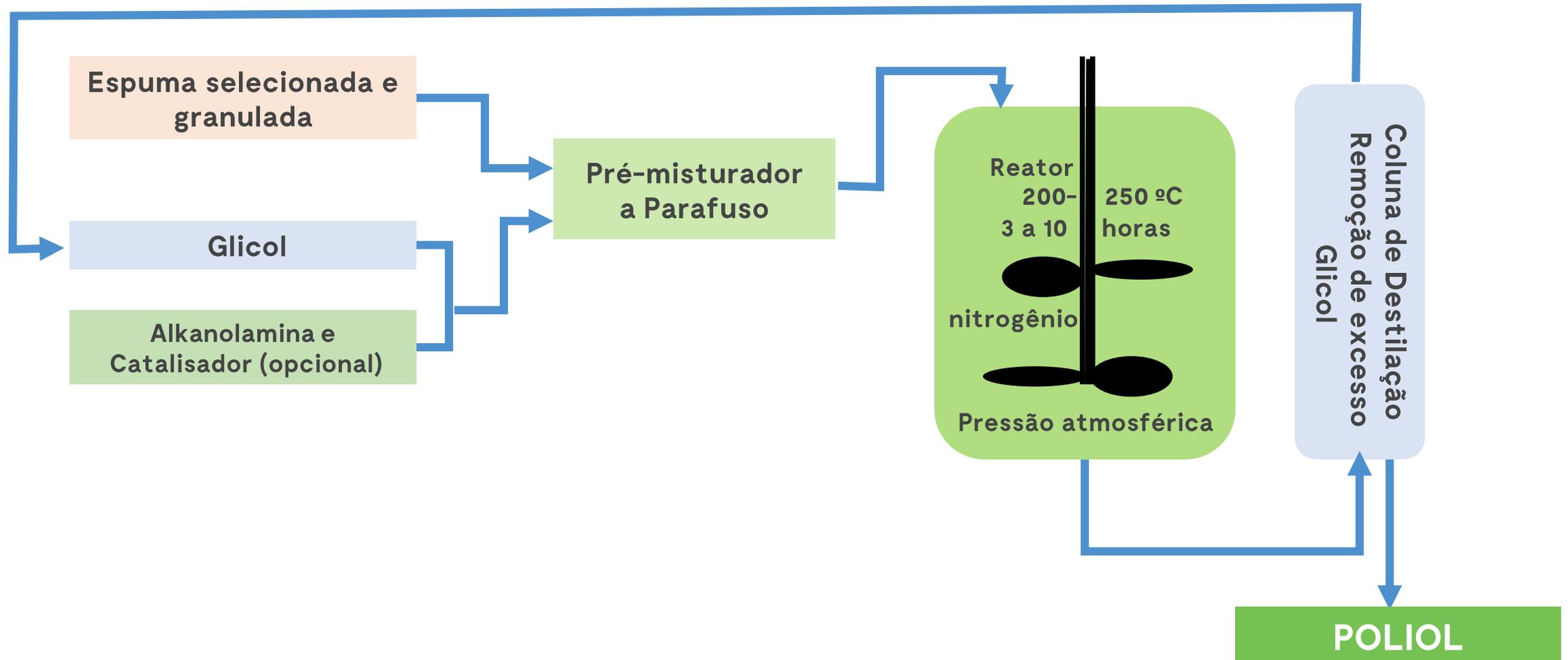
POLIOL DE AMINA  
AROMÁTICO

UMA MISTURA COMPLEXA DE PRODUTOS DIFERENTES AOS COMPONENTES ORIGINAIS.

# Glicólise de Espumas Flexíveis – Sistema 2 Fases



# Glicólise de Espumas Flexíveis – Sistema Monofásico



# Características dos Polióis da Glicólise de Espuma Flexível

	Sistema 2 fases			Sistema Monofásico		
Número de Hidroxila	100	200	400	150	350	500
Funcionalidade	2.5	2.5	2.2	2.5	3	2.5
Viscosidade a 25°C cPs	3000	4000	2000	3000	2500	2000
Cor	Sem cor (Transparente)			Âmbar		
Aplicação típica	Espuma Flexível			Espuma Flexível		
		Espuma Viscoelástica				
			Rígida		Espuma Rígida	

# Reciclagem Química

## Considerações Técnicas

1. A operação do processo precisa de um engenheiro químico;
2. Espuma granulada é alimentada em um reator de autoclave;
3. Catalisadores são adicionados;
4. Temperatura de processo típica 220°C – 250°C;
5. A composição do produto resultante depende da química da espuma original;
6. Espuma de qualidade desconhecida dará um resultado desconhecido e variável;
7. A mistura resultante pode ser bifase ou monofase de acordo com o processo;
8. As fases do produto são usadas em diferentes aplicações, como espuma rígida;
9. Possibilidade de ajustar o número de OH por variação da rota analítica;
10. Produto pode ter alta acidez;
11. Cor geralmente escura;
12. Incorporada a baixos níveis para uma nova espuma flexível;
13. Polioliol tem alto conteúdo aromático;
14. Compostos tóxicos como dimethyl anilina são formados no processo.

# Preferências para Reciclagem de Espuma Flexível de Poliuretano

MÉTODO	Complexidade Técnica	Questões Ecológicas
DEPÓSITO DE LIXO	Sem complicações	A poluição
RECICLAGEM DE MATÉRIAS-PRIMAS	Não apropriada para PU	
RECICLAGEM QUÍMICA	Significativa	Toxicidade de alguns subprodutos
RECUPERAÇÃO DE ENERGIA	Extenso	Eliminação de gases poluentes
RECICLAGEM MECÂNICA	Relativamente não complicado	Nenhum

Obrigado.

Gerson Silva  
tel +55 (11) 4161 8900  
gerson@purcom.com.br

[purcom.com.br](http://purcom.com.br)

