

**ABQ – 51 CBQ**

**QUÍMICA VERDE E  
DESENVOLVIMENTO  
SUSTENTÁVEL**

**ADÉLIO MACHADO**

**amachado@fc.up.pt**

# OBJECTIVOS GERAIS

1

RELAÇÕES

QV - DS

2

DISCUTIR O ENQUADRAMENTO DE

REFORMATAÇÃO

QUÍMICA ► QV

# REFORMATAÇÃO

ENVOLVE

MUDANÇAS DE PARADIGMAS  
DE ATUAÇÃO

- NA PRÓPRIA QUÍMICA
- NO INVÓLUCRO SOCIOAMBIENTAL

1

**RELAÇÕES QV - DS**

**ANÁLISE**



**IMPORTÂNCIA DA QV PARA  
A PROSSECUÇÃO DO DS**

**QV FULCRAL!**

# RELAÇÕES QV - DS

ESTABELECIDAS POR MEIO DOS 3P DO  
BANCO DA SUSTENTABILIDADE

**P<sub>1</sub>** Povo: **QUALIDADE DE VIDA**

**P<sub>2</sub>** PROSPERIDADE /PROVEITO:  
**DESENVOLVIMENTO ECONÓMICO**

**P<sub>3</sub>** PLANETA : **PRESERVAÇÃO DO  
AMBIENTE**

# DS – BRUNDTLAND : 3P

## O BANCO DA SUSTENTABILIDADE



**QUÍMICA ◀▶ P<sub>1</sub> - POVO**

**PRODUTOS QUÍMICOS:**

**ESSENCIAIS PARA A**

**QUALIDADE DE VIDA**

**POBREZA HUMANA**

**POBREZA TECNOLÓGICA:**

**POBREZA ENERGÉTICA**

**+**

**POBREZA QUÍMICA**

**INACESSIBILIDADE A QUÍMICOS**

**(VIVER SOB CONTAMINAÇÃO)**



**QUÍMICA ◀▶ P<sub>1</sub> - POVO**

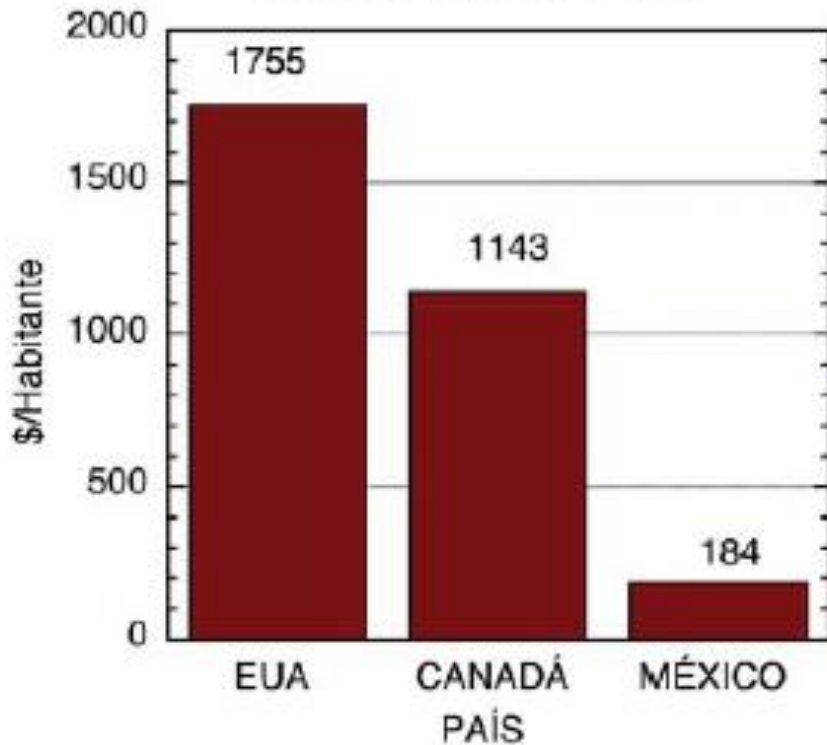
**POBREZA QUÍMICA**

**QUÍMICA –BOLETIM DA SPQ, 114 (2009) 27-33**

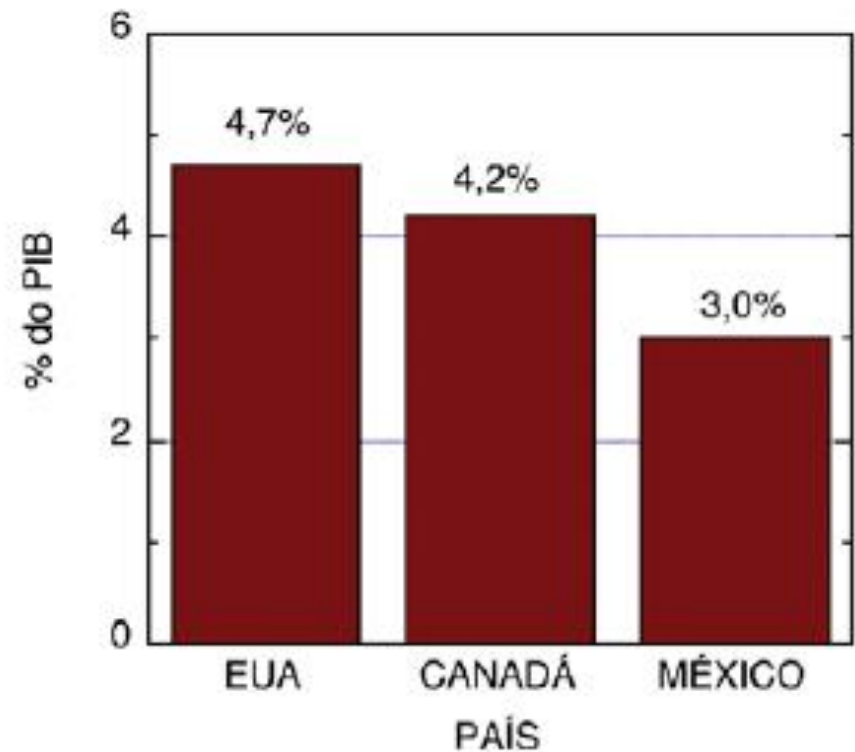
**DA POBREZA QUÍMICA À SUSTENTABILIDADE E QUÍMICA VERDE**

# PRODUTOS QUÍMICOS E QUALIDADE DE VIDA

Valor de Produtos Químicos Produzidos por Habitante



Valor do Fabrico de Produtos Químicos na Economia Nacional



# POBREZA QUÍMICA

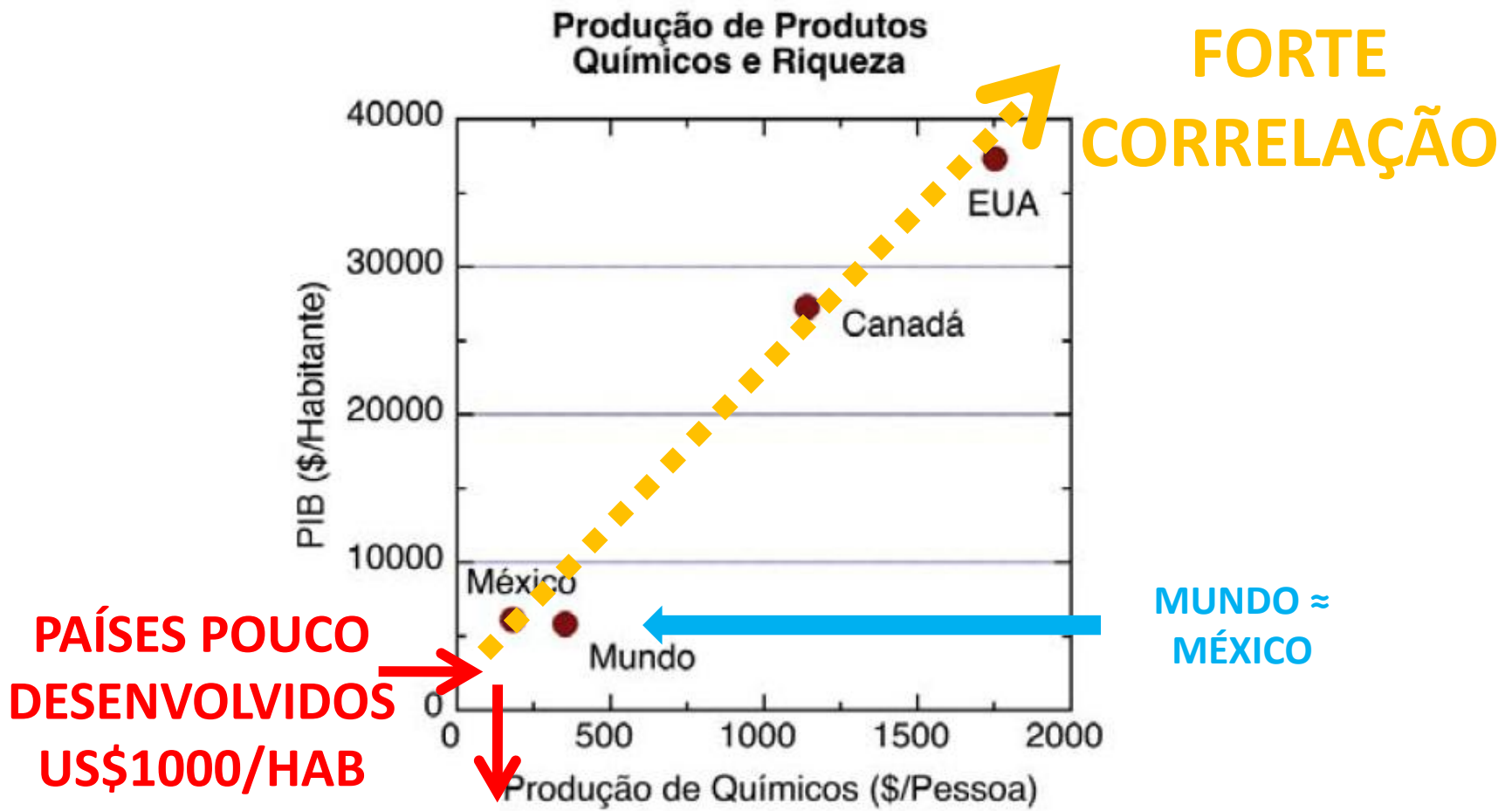


Figura 2 A qualidade de vida dos habitantes de um país, medida pelo PIB/habitante, apresenta uma forte correlação com valor de produtos químicos produzidos

## POBREZA QUÍMICA

# OBJECTIVO DO DS

**ELIMINAR AS DESIGUALDADES:**

**PAÍSES DESENVOLVIDOS /OUTROS**



**AUMENTO DA PRODUÇÃO DE  
PRODUTOS QUÍMICOS**

**CRESCIMENTO PREDOMINANTE:**

**PAÍSES EM DESENVOLVIMENTO**

**QUÍMICA ◀ ▶ DS**

**DS**

**EXIGIRÁ /SUPPORTARÁ**

**CRESCIMENTO**

**DA**

**INDÚSTRIA QUÍMICA**

# QUÍMICA ◀▶ P<sub>2</sub> - PROSPERIDADE

**PAÍSES AVANÇADOS:**

**PRODUTOS QUÍMICOS ≈ 4% PIB**

**CORRELAÇÃO:**

**PIB - VALOR DE QUÍMICOS (/PESSOA)**



**CADEIA DE CRESCIMENTO**

# CADEIA DE CRESCIMENTO

**PROCURA DE QUÍMICOS**



**INDÚSTRIA QUÍMICA**



- **DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL**
  - **EMPREGO, ETC.**



**DESENVOLVIMENTO ECONÓMICO**

**QUÍMICA ◀▶ P<sub>2</sub> - PROSPERIDADE**

## **CRESCIMENTOS**

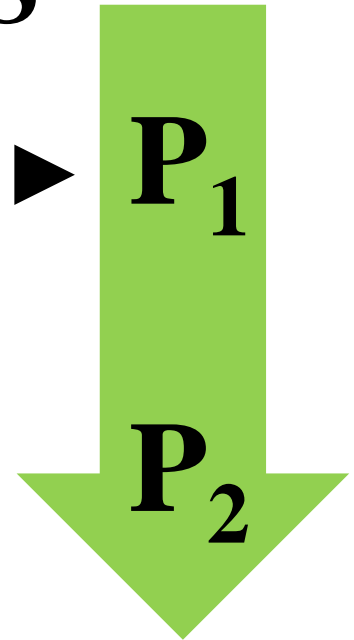
**DIMENSÃO DA I. QUÍMICA ▶ P<sub>1</sub>**

≈

**PROSPERIDADE ▶**



**DS**





# QUÍMICA ◀▶ P<sub>3</sub> - PLANETA

**SEC XX: PROGRESSO BRUTAL DA QUÍMICA  
MAS...**

**MUITOS DOS  
PRODUTOS/PROCESSOS DE FABRICO**

**INVENTADOS SEM CONSCIÊNCIA DE  
CAUSAREM EFEITOS DELETÉRIOS  
NO AMBIENTE**

# QUÍMICOS ► AMBIENTE

## FABRICO/UTILIZAÇÃO:

### VARIADOS PROBLEMAS AMBIENTAIS

- POLUIÇÃO/CONTAMINAÇÃO GLOBAL
- MALEFÍCIOS: SAÚDE HUMANA /BIOSFERA
- PRODUÇÃO DE RESÍDUOS (► AMBIENTE)
  - ◆ GRANDE QUANTIDADE
  - ◆ PROBLEMÁTICOS/TÓXICOS

# QUÍMICOS ◀ AMBIENTE

## CONSUMO BRUTAL DE RECURSOS NATURAIS

- ENERGIA FÓSSIL  
(≡ CARBONO)
- VARIADOS MINERAIS
- OUTROS RECURSOS NATURAIS  
ETC.

# **INCOMPLETUDE DO CONHECIMENTO**

- **MUITOS DOS EFEITOS NOCIVOS  
NÃO COMPLETAMENTE CARATERIZADOS**
- **OUTROS NEM AINDA RECONHECIDOS**

# REMEDIAÇÃO PROBLEMÁTICA

**RESULTADOS DÉBEIS:**

**REDUÇÃO DE EFEITOS DE**

- **MAIOR EXTENSÃO/SEVERIDADE**
- **NÍVEL LOCAL/REGIONAL**

**MAS...**

**NÃO A SUA COMPLETA RESOLUÇÃO**

# ESSENCIAL PARA O DS

## INTENSA REVISÃO DA Q. INDUSTRIAL

- NATUREZA DOS **PRODUTOS**

- ▶ **INÓCUOS** PARA A SAÚDE HUMANA/ECOLÓGICA

- **PROCESSOS DE MANUFATURA:  
ELIMINAR**

- ▶ **PROCESSOS POLUENTES**

- ▶ **REAGENTES PERIGOSOS**

- ▶ **VORAZES DE R. NATURAIS (ENERGIA, ETC)**

**QUÍMICA ◀ ▶ “3P”**

**CRESCIMENTOS**

**DIMENSÃO DA I. QUÍMICA ▶**

**PROSPERIDADE ▶**

**MUDANÇA DE ▶**

**RELAÇÃO COM AMBIENTE**

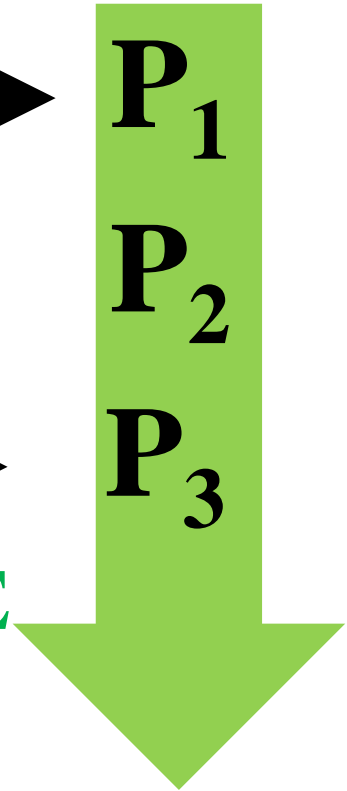


**DS**

**P<sub>1</sub>**

**P<sub>2</sub>**

**P<sub>3</sub>**



**CONCLUSÃO**

**REFORMATAÇÃO**

**QUÍMICA ► QV**

**ESSENCIAL PARA O DS!**



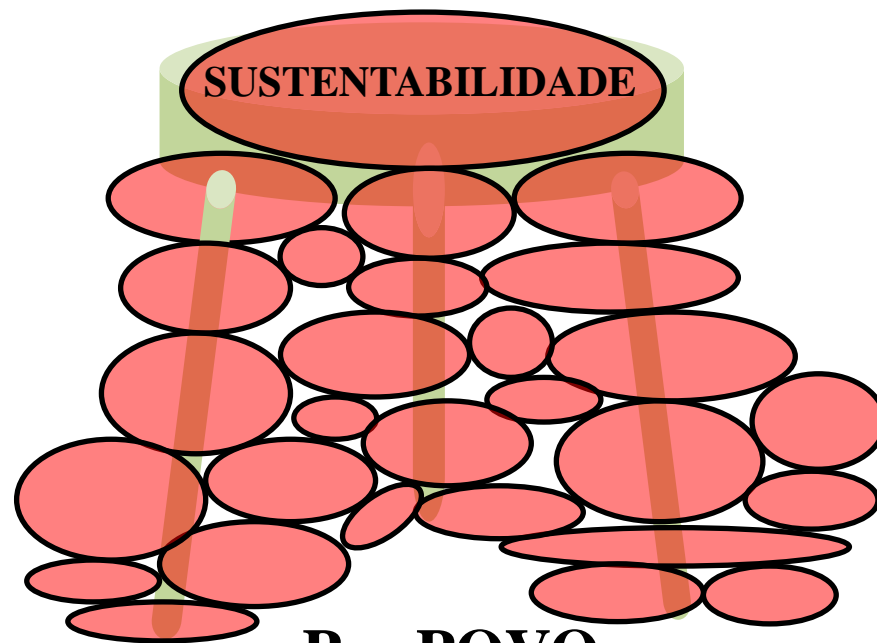
# CICLO VIRTUOSO QV-DS

DS INTENSIFICA A TRANSIÇÃO  
QUÍMICA → QV E VICE-VERSA



# BANCO DOS 3P: REDUACIONISTA

## MOBÍLIA MODERNA (BALÕES INSUFLADOS)

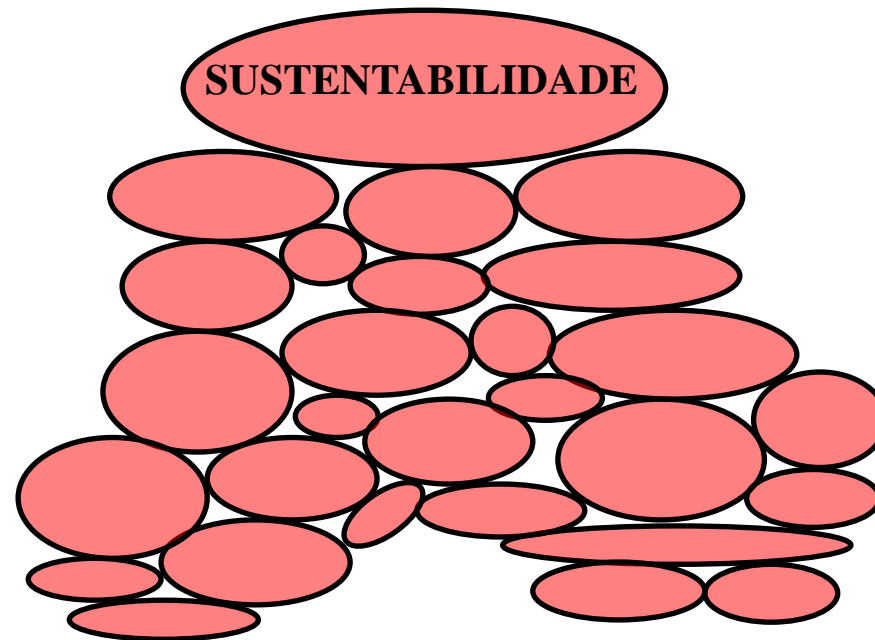


**P<sub>1</sub> - POVO**

**P<sub>3</sub> - PLANETA**

**P<sub>2</sub> - PROVEITO  
(LUCRO)**

# BANCO INSUFLADO: SISTÊMICO



**OUTRAS DIMENSÕES:**

**TECNOLOGIA**

**LEGISLAÇÃO**

**POLÍTICA**

**2**

**ENQUADRAMENTO DE**

**REFORMATAÇÃO**

**QUÍMICA ► QV**

# **REFORMATAÇÃO**

**EXIGE FORTES MUDANÇAS**

- **BASE CIENTÍFICA:**

**QUÍMICA**

- **IMPLEMENTAÇÃO TECNOLÓGICA:**  
**ENGENHARIA QUÍMICA**

# CADEIA DE VERDURA DA QUÍMICA

## A CADEIA DE VERDURA DA QUÍMICA

QUÍMICA VERDE



DESENVOLVIMENTO DE PROCESSO VERDE



ENGENHARIA QUÍMICA VERDE



PROCESSOS QUÍMICOS VERDES



INDÚSTRIA QUÍMICA VERDE



DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

# **QUÍMICA INDUSTRIAL**

## **SISTEMA MUITO COMPLEXO**

**FABRICO: 70.000-100.000 COMPOSTOS**

**PROCESSOS DE FABRICO: 2.000-3.000**

**FORMULAÇÃO DE PROD. QUÍMICOS: 2-6 MILHÕES**



**PÚBLICO/SERVIÇOS/OUTRAS INDÚSTRIAS**

# QUÍMICA ACADÉMICA

CAS: <http://www.cas.org/index.html>

**COMPOSTOS SINTETISADOS**

**(2011.10.10 -17h 30m):**

**63.329.438**

**63 MILHÕES**

**12.000-13.000 /DIA**



# REFORMATAÇÃO QUÍMICA ► QV

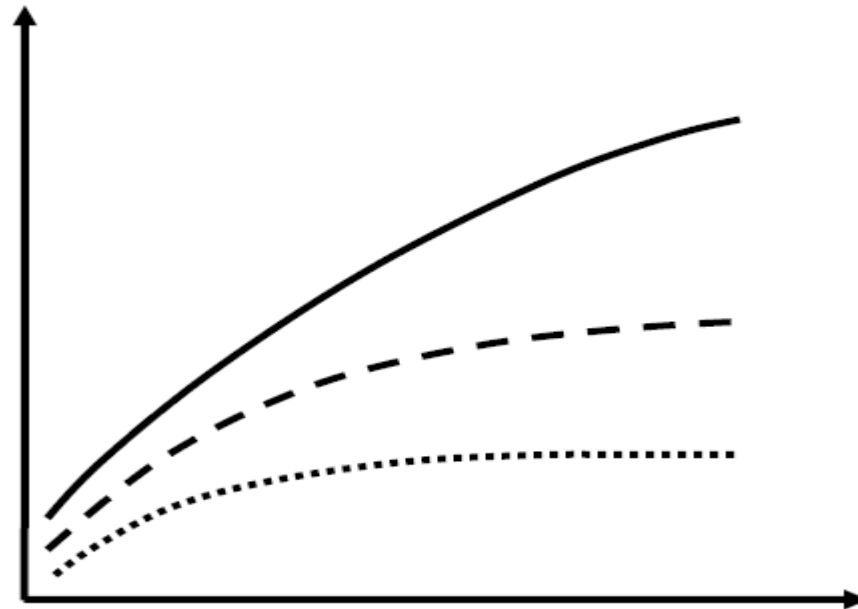
## MUDANÇA **SISTÊMICA**

- **NATURALMENTE DIFÍCIL**
- **FEITA A POUCO E POUCO**
  - **(VIA INCREMENTAL)**

# EFICÁCIA NA MUDANÇA SISTÊMICA

## CURVAS CUSTO-BENEFÍCIO

BENEFÍCIOS



INVESTIMENTOS

- ..... OPTIMIZAÇÃO DO SISTEMA VIGENTE
- - - - REENGENHARIA DO SISTEMA
- REDEFINIÇÃO DO PROBLEMA

**SISTEMAS COMPLEXOS**

**MUDANÇAS SISTÉMICAS**

**ALAVANCAS**



**MUDANÇA DE PARADIGMAS**

# REFORMATAÇÃO Q ► QV

## 2 MUDANÇAS DE PARADIGMAS

1

QUÍMICA LABORATORIAL → QV

2

MODO COMO A SOCIEDADE PRÁTICA A  
REGULAMENTAÇÃO DOS QUÍMICOS

CONTROLO DE ACEITAÇÃO PARA FABRICO/  
LANÇAMENTO/DEPOSIÇÃO NO AMBIENTE

**SISTEMAS COMPLEXOS**

**MEIO EXTERIOR IMPORTANTE**

**MUDANÇA NO**

**INVÓLUCRO SOCIOAMBIENTAL**

# COMPLEXIDADE DA MUDANÇA

EXEMPLIFICADA PELOS **4R**

**REAÇÕES**

**RESÍDUOS**

**RECURSOS NATURAIS**

**REAGENTES**

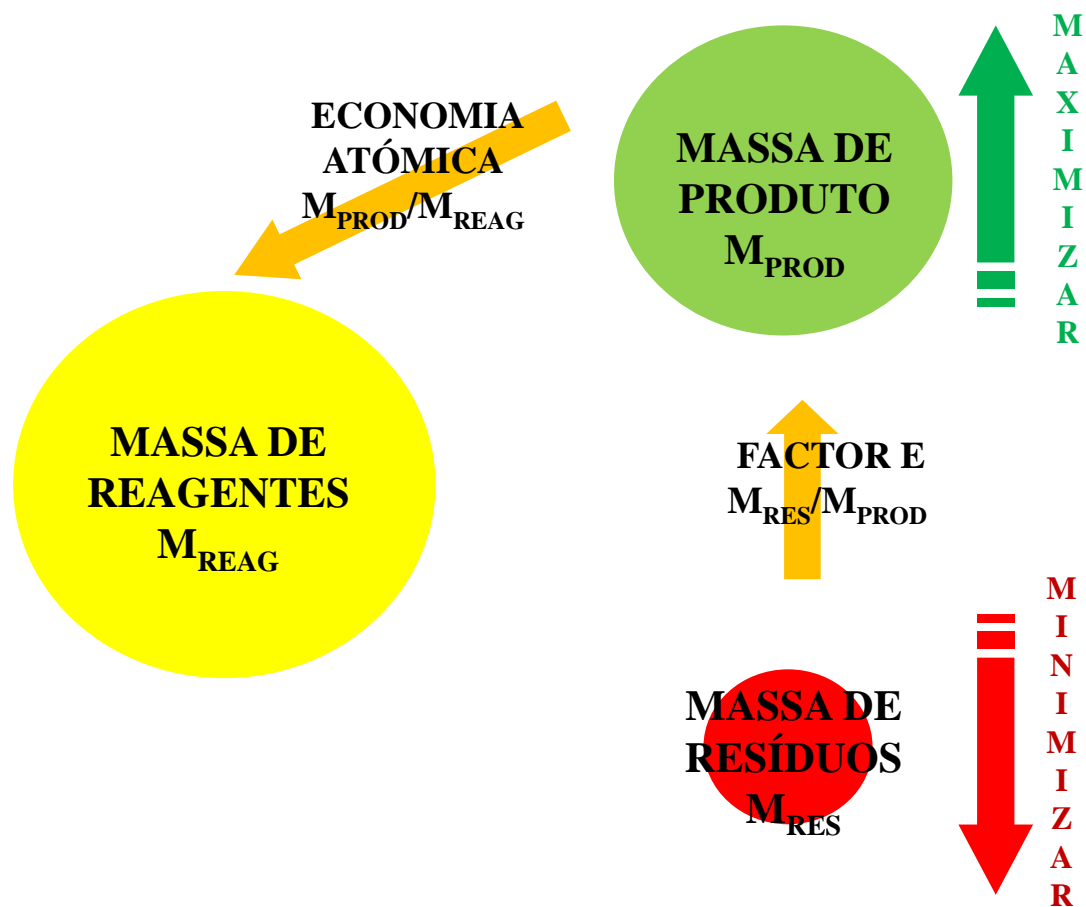
**INVENÇÃO DE NOVAS REAÇÕES**

**ELIMINAR O USO DE S. TÓXICAS**

**MAXIMIZAR A ECONOMIA ATÓMICA  
(INCLUSÃO DOS ÁTOMOS NO PRODUTO)**

**MINIMIZAR SOLVENTES E  
SUBSTÂNCIAS AUXILIARES**

# ECONOMIA ATÓMICA E FACTOR E





**DIMINUIR RESÍDUOS PRODUZIDOS**

**SIMPLIFICAR VIAS DE SÍNTESE**

- **REDUZIR NÚMERO DE PASSOS**
- **ELIMINAR DERIVATIZAÇÕES**
- **AGLOMERAR PASSOS EM ETAPAS**

USAR MENOS **RECURSOS NATURAIS**

**NÃO RENOVÁVEIS**

**ENERGIA**

**MATÉRIAS-PRIMAS**

**NÃO RENOVÁVEIS**



**RENOVÁVEIS**

# INOVAÇÃO DE REAGENTES

(SENTIDO LATO)

PRESSIONADA PELA INOVAÇÃO DE REACÇÕES

## NATUREZA

PRIVILEGIAR USO DE REAGENTES RENOVÁVEIS

## FUNÇÃO

NOVOS CATALISADORES

REAÇÕES: ESTEQUIOMÉTRICAS → CATALÍTICAS

VIAS DE SÍNTESE MAIS DIRETAS E SIMPLES

**REFORMATAÇÃO Q ► QV**

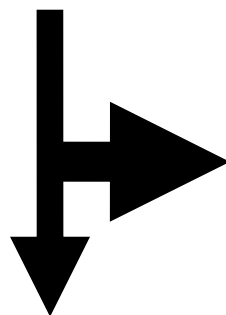
**QV EXIGE**

**“PERSEGUIÇÃO” SIMULTÂNEA  
DE OBJECTIVOS**

- **MÚLTIPLOS**
- **DE DIFERENTE NATUREZA**
- **INTERRELACIONADOS**

# QUÍMICA SINTÉTICA TRADICIONAL

## REAGENTES

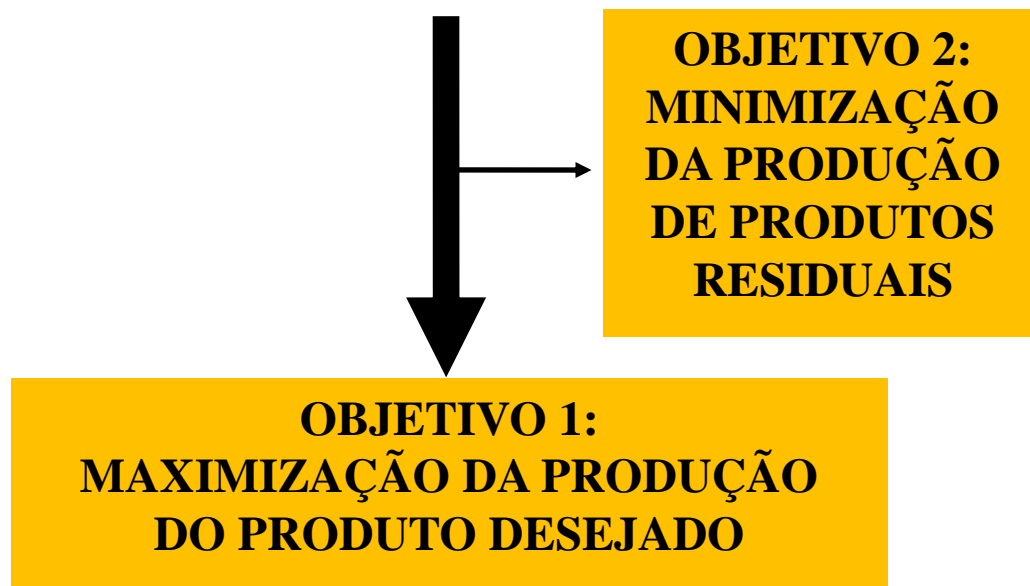


**PRODUTOS  
RESIDUAIS  
IGNORADOS**

**OBJECTIVO ÚNICO:  
MAXIMIZAÇÃO DA PRODUÇÃO  
DO PRODUTO DESEJADO**

# SÍNTESE VERDE

## REAGENTES



# ELEMENTOS DA POSTURA VERDE

VISÃO AMPLA ► **CICLO DE VIDA**

ABAIXAMENTO DE RISCOS ►  
► **BENIGNIDADE EMBUTIDA**

FAZER ► **FIM DE VIDA** (≡ DESFAZER)

AVALIAÇÃO CRITERIOSA ► **MÉTRICAS**

# MÉTRICAS DE VERDURA

**AFERIR E COMPROVAR OS  
PROGRESSOS ALCANÇADOS NA  
AQUISIÇÃO DE VERDURA  
QUÍMICA**

**CONSTRUÇÃO/UTILIZAÇÃO DE  
FERRAMENTAS DE AVALIAÇÃO**



**QV PRECOCE**

**INDÚSTRIA QUÍMICA TEM**

**PERSEGUIDO OBJETIVOS DESTES**

**TIPOS DE FORMA**

**PONTUAL/INCREMENTAL**

**DESDE HÁ MUITO TEMPO**

# DUAS QUÍMICAS ORGÂNICAS INDUSTRIAIS



**QV**

**VISA**

**CUMPRIMENTO INTEGRADO  
DE FORMA HOLÍSTICA**



**MUDANÇA DE  
ESTILO DE PENSAMENTO  
DOS QUÍMICOS ACADÉMICOS**

**MUDANÇA DE POSTURA MENTAL**

**REDUCCIONISMO**



**HOLISMO (SISTÉMICA)**

**MUDANÇA DE POSTURA MENTAL**

**REDUCCIONISMO**

**(CIÊNCIA)**



**HOLISMO (SISTÉMICA)**

**(TECNOLOGIA)**

**MUDANÇA DE POSTURA MENTAL**

**REDUCCIONISMO**

**(CIÊNCIA)**



**HOLISMO (SISTÉMICA)**

**(TECNOLOGIA)**

# SISTEMAS

## 3 COMPONENTES

**MATÉRIA**

**ENERGIA**

**INFORMAÇÃO**

**QUÍMICA SISTÊMICA**

**OTIMIZAÇÃO CONJUNTA**

**DOS 3 FATORES**



**AUMENTO SIMULTÂNEO DE**

**PRODUTIVIDADES**



# QUÍMICA SISTÊMICA

1

USAR MENOS **MATÉRIA**  
**DESMATERIALIZAÇÃO**

**AUMENTAR**  
**PRODUTIVIDADE ATÓMICA**

# PRODUTIVIDADE ATÓMICA

ÁTOMOS  
NO  
PRODUTO

ÁTOMOS  
DOS  
REAGENTES

(+)  
MAXIMIZA

MINIMIZA

(-)  
ÁTOMOS  
EM RESÍDUOS

SÍNTESE  
PRODUTIVA



# QUÍMICA SISTÊMICA

2

USAR MENOS **ENERGIA**  
“**DESENERGIZAÇÃO**”

**AUMENTAR**

**PRODUTIVIDADE ENERGÉTICA**

**BAIXAR**

**INTENSIDADE ENERGÉTICA**

# I. QUÍMICA E ENERGIA

**RAZÕES HISTÓRICAS:  
MUITO VORAZ DE ENERGIA**

**REATORES**

**SEPARAÇÃO/PURIFICAÇÃO**

# QUÍMICA SISTÊMICA

3

USAR MENOS **INFORMAÇÃO**  
“**DESINFORMACIZAÇÃO**”

**SIMPLIFICAÇÃO**

**VIAS DE SÍNTESES**



**PROCESSOS INDUSTRIAIS**

**OBJETIVO FINAL DA QV**

**AUMENTO DAS 3  
PRODUTIVIDADES**



**AUMENTO DA ECO-EFICIÊNCIA**



**SUPORTE DO DS**

# **INVÓLUCRO SOCIOAMBIENTAL**

**NOVA POSTURA EM EMERSÃO :  
CONTROLO E RESOLUÇÃO EFICAZ DOS  
PROBLEMAS DE:**

**POLUIÇÃO**

**PRODUÇÃO DE RESÍDUOS**



**DESENVOLVIMENTO DA QV**

# PARADIGMAS DE RELAÇÕES COM O AMBIENTE

**PARADIGMA DA DILUIÇÃO**



**AMBIENTALISMO:**

**PARADIGMA DO RISCO**



**PARADIGMA ECOLÓGICO  
(OU DA SUSTENTABILIDADE)**



# **SUBSTITUIÇÃO DE PARADIGMAS**

## **PARADIGMA DO RISCO**

**NATUREZA REATIVA**

**VARIADAS LIMITAÇÕES**



## **PARADIGMA ECOLÓGICO**

**NATUREZA PROATIVA**

**NÃO DEIXAR CRIAR PROBLEMAS**

# PARADIGMA ECOLÓGICO

**ADOÇÃO VOLUNTÁRIA DE**

**DESIGN**

**QUE EMBUTA**

**BENIGNIDADE/SEGURANÇA**

**DE RAIZ**

- **PRODUTOS QUÍMICOS**
- **PROCESSOS**

# PARADIGMA DO RISCO

**AVALIAÇÃO DOS RISCOS DAS SUBSTÂNCIAS  
PARA A SAÚDE HUMANA/ECOLÓGICA**

## FRAGILIDADES INTRÍNSECAS

**CAPACIDADE ASSIMILATIVA DA NATUREZA LIMITADA  
INCERTEZAS ELEVADAS NAS AVALIAÇÕES  
DADOS INCOMPLETOS (TOXICOLOGIA/EXPOSIÇÃO)  
S. ECOLÓGICOS COMPLEXOS → COMPREENSÃO???**

# PARADIGMA DO RISCO

## RISK ASSESSMENT DATA

CAN BE LIKE THE CAPTURED SPY:  
IF YOU TORTURE IT LONG ENOUGH,  
IT WILL TELL YOU ANYTHING YOU  
WANT TO KNOW.

**W. D. RUCKELSHAURS (1984)**

*Risk in a Free Society, Risk Analysis, 4 (1984) 157-162.*

# PARADIGMA DO RISCO

**PERMITE PROGRESSOS  
NO COMBATE À POLUIÇÃO**

**MAS ...**

**NÃO A RESOLUÇÃO COMPLETA DOS  
PROBLEMAS**

**VENCE BATALHAS MAS NÃO GANHA A GUERRA!**

# PARADIGMA ECOLÓGICO

**BASE: NOVOS “PRINCÍPIOS”**

- **PRECAUÇÃO**
- **INVERSÃO DO ÔNUS DA PROVA**
- **DESCARGA NULA/PRODUÇÃO LIMPA**

# **PARADIGMA ECOLÓGICO**

**COMPOSTOS QUÍMICOS E  
PROCESSOS DE FABRICO  
CONCEBIDOS DE RAIZ E  
TESTADOS ANTECIPADAMENTE  
PARA GARANTIR  
PROATIVAMENTE IMPATOS  
AMBIENTAIS INÓCUOS**

# PARADIGMA ECOLÓGICO

**ATITUDE CIENTÍFICA:**

**SUBSTITUIÇÃO DA IGNORÂNCIA**

**PELO CONHECIMENTO**

**POR CABAL ESTUDO PRÉVIO**

**SUPERIOR!**



**NOVA LEGISLAÇÃO EUROPEIA**

**REACH**

**R**EGISTRATION

**E**VALUATION AND

**A**UTHORIZATION OF

**C**HEMICALS

# NOVA LEGISLAÇÃO EUROPEIA

## REACH

IMPLEMENTAÇÃO: **UMA DÉCADA**

**LENTIDÃO** = DIFICULDADES DO  
PROBLEMA GLOBAL DOS QUÍMICOS

# CONCLUSÕES (1)

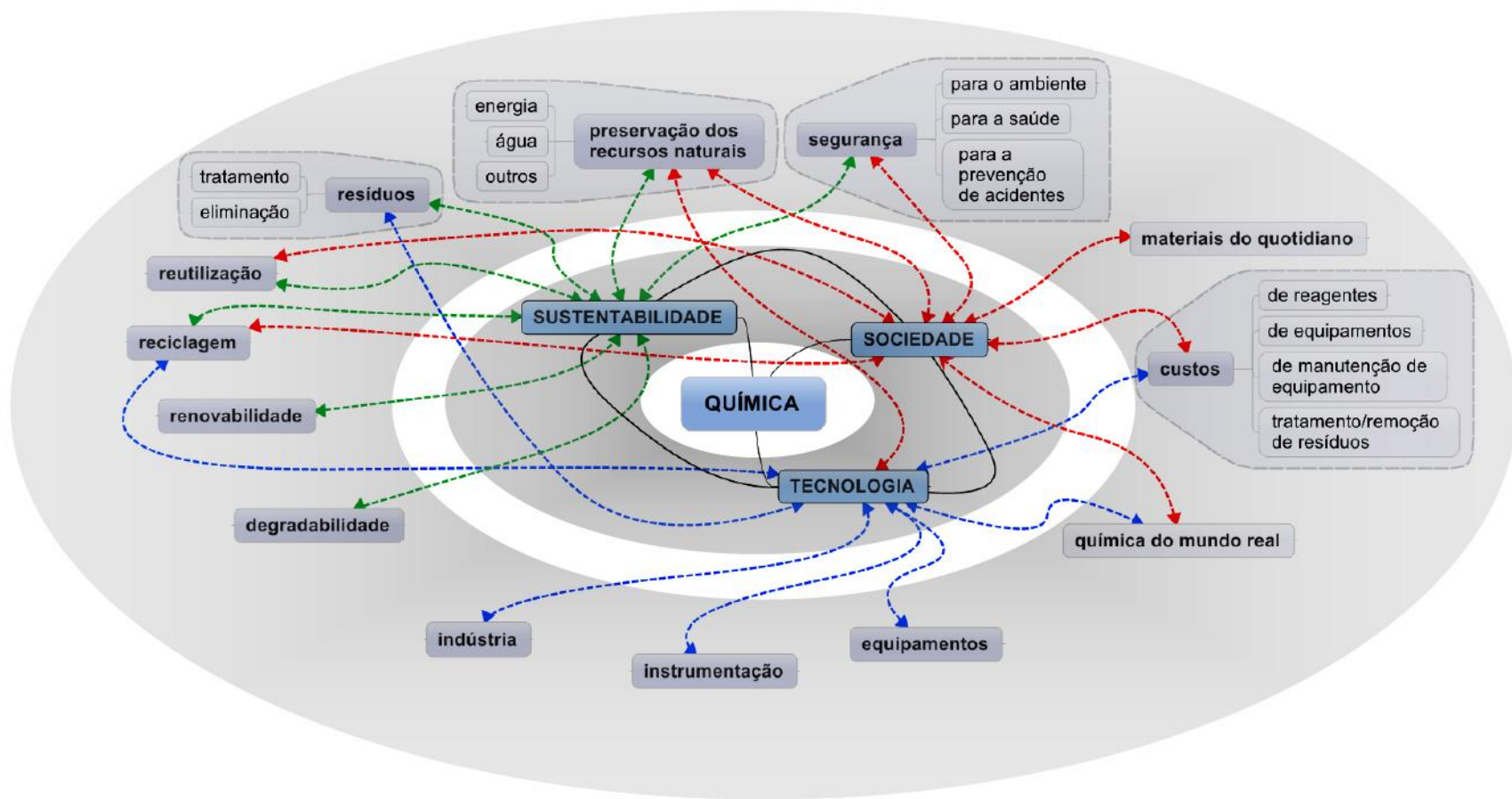
QV = REFORMATAÇÃO DA QUÍMICA EXIGE

INVESTIGAÇÃO **TRANSFORMATIVA**  
NUM QUADRO **SISTÊMICO**

INCORPORAÇÃO/SUPORTE DE  
MUDANÇAS DE PARADIGMAS

NÃO APENAS  
INVESTIGAÇÃO REDUCIONISTA

# POSTURA STSS OU STS<sub>2</sub>



# CONCLUSÕES (2)

QV

**DESENVOLVIMENTO**

**PREMENTE**

**MAS LENTO**

# **CONCLUSÕES (3)**

**QUÍMICO VERDE =  
= SUSTENTABILISTA**

**NÃO APENAS/ISOLADAMENTE  
AMBIENTALISTA  
HUMANISTA  
ECONOMISTA**

**CONCLUSÕES (4)**

**PRINCÍPIOS DA QV**  
**GREENEER BRASIL**

# GREENER BRASIL

**G – GERAR RIQUEZA, NÃO RESÍDUOS**

**R – RESPEITAR A VIDA HUMANA E A BIOSFERA**

**E – ENERGIA OBTIDA A PARTIR DO SOL**

**E – EMPREGAR MATÉRIAS-PRIMAS RENOVÁVEIS DE ORIGEM LOCAL**

**N – NOVAS IDEIAS, POSTURA SISTÊMICA E INOVAÇÃO**

**E – ENGENHAR ADEQUANDO OS MATERIAIS ÀS FUNÇÕES**

**R – RECICLAR SEMPRE QUE POSSÍVEL**

**B – BANIR TOXICIDADE E OUTROS PERIGOS**

**R – REACÇÕES COM BASE EM CATALISADORES**

**A – ASSEGURAR BOM FIM DE VIDA: DEGRADABILIDADE, ETC.**

**S – SIMPLICIDADE E PRATICABILIDADE: PERSEGUIR SEMPRE**

**I – IMPLEMENTAR DESENVOLVIMENTO EVITANDO ERROS PASSADOS**

**L – LIMITAR SUSBTÂNCIAS AUXILIARES, SOLVENTES, ETC.**



# **AGRADECIMENTOS**

**PROF. M. GABRIELA RIBEIRO**

**PhD (CONCLUÍDO):**

**DOMINIQUE COSTA**

**PhD (EM PROGRESSO, TEMPO PARCIAL):**

**RITA DUARTE**

**CLÁUDIA SANTOS**