



BIOEN – Workshop on Process for Ethanol
Production - FAPESP

Optimal Industrial Fermentation

Silvio Roberto Andrietta

BioContal
Tecnologia em Bioprocesso

Plantas de produção de etanol

- Etapas

- Preparo da matéria prima

- Preparo da cana (abertura de células)

- Extração

- Tratamento do caldo

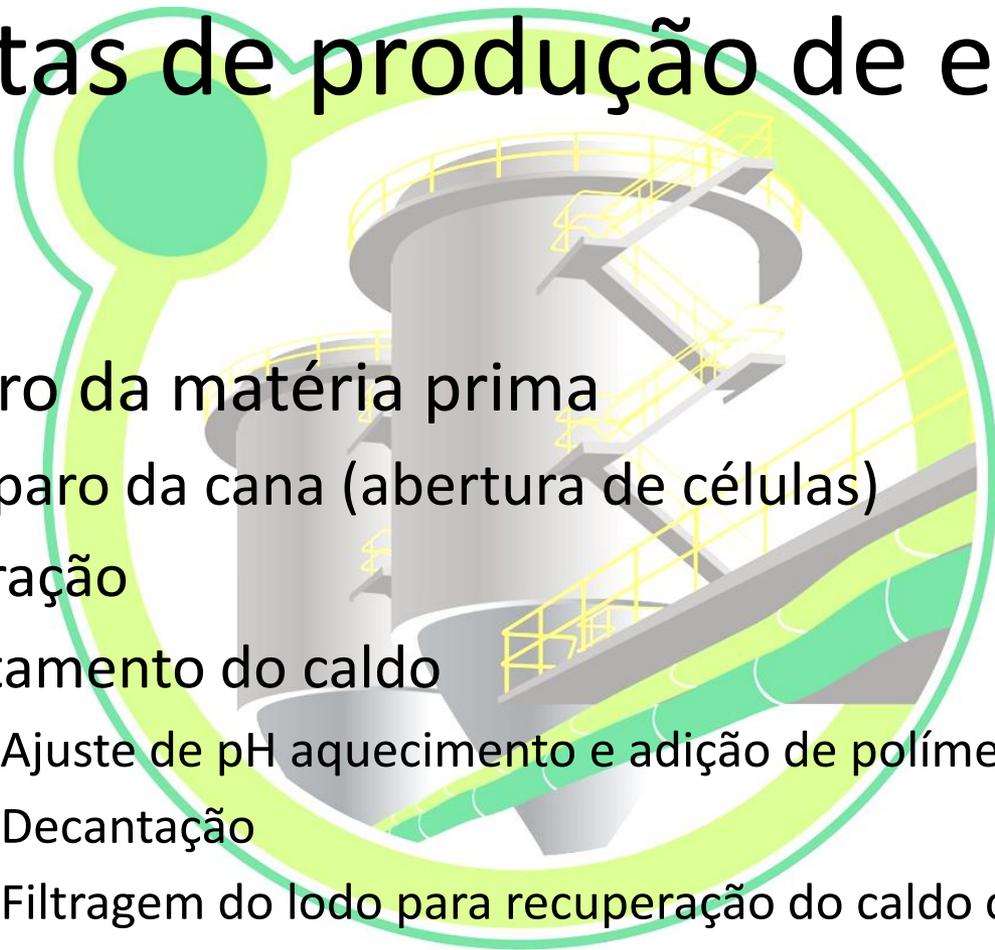
- Ajuste de pH aquecimento e adição de polímeros

- Decantação

- Filtragem do lodo para recuperação do caldo contido no mesmo

- Filtragem do caldo decantado

- Concentração do caldo



Plantas de produção de etanol

- Etapas

- Bioconversão

- Tratamento ácido das células de levedura
 - Fermentação propriamente dita
 - Recuperação e reciclo das células de levedura

- Concentração e purificação (destilação)

- Álcool hidratado (esgotamento e retificação)
 - Álcool anidro (desidratação)

BioContal

Tecnologia em Bioprocesso

Plantas de produção de etanol

- Usinas de energia
 - Bioetanol
 - Álcool Hidratado – Utilização direta como combustível
 - Álcool Anidro – Aditivo da gasolina (20 a 25%)
 - Energia Elétrica

Energia no processamento da cana

- Característica da cana

- Fibra

12,5%

- ART da cana

15%

- Característica do bagaço

- Fibra

47%

- Umidade

50%

- Base de cálculo

- 1 tonelada de cana

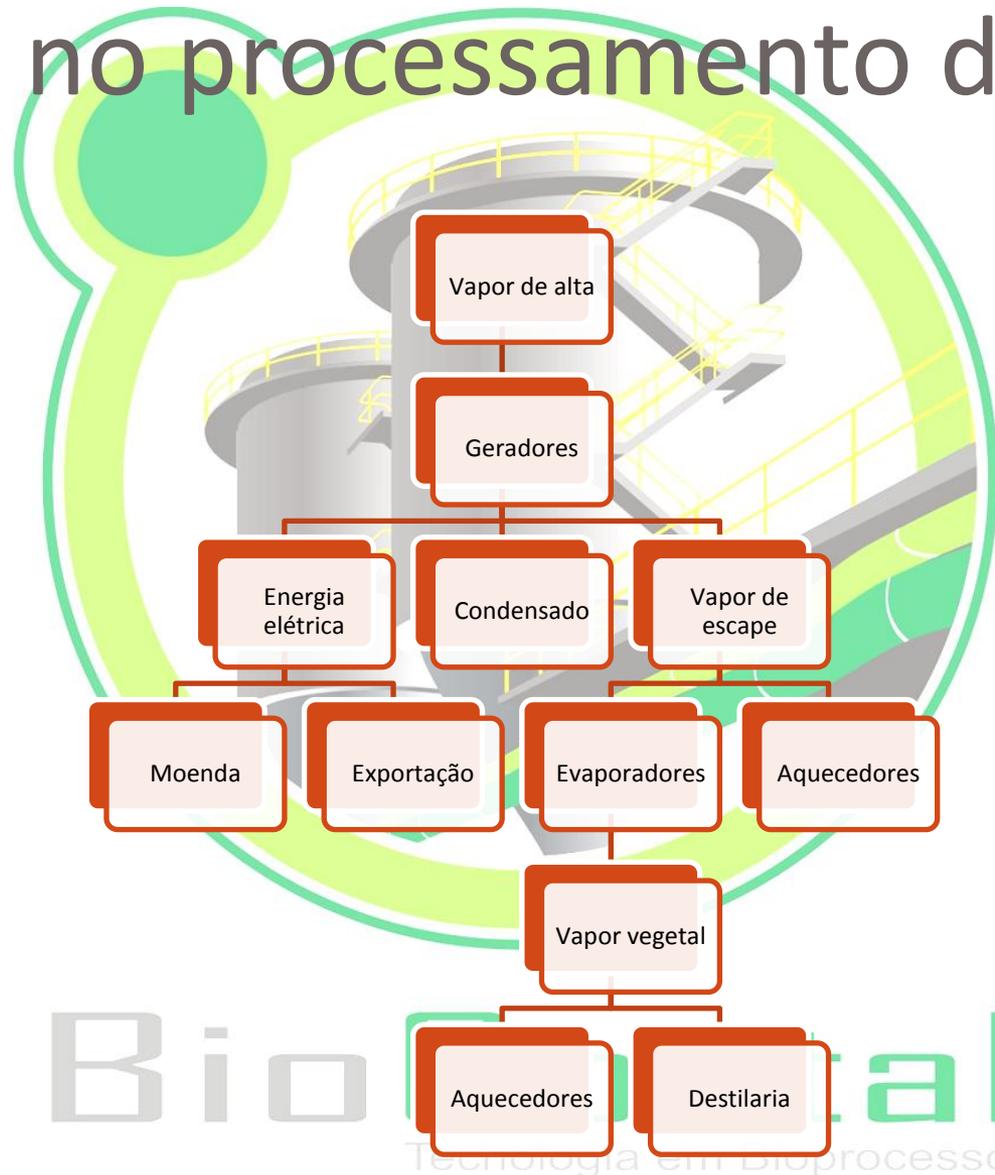
BioContal

Tecnologia em Bioprocesso

Energia no processamento da cana

- 1 tonelada de cana produz 250 kg de bagaço
- 1 kg de bagaço produz 2,2 kg de vapor a 65 kgf/cm² superaquecido a 510 C
- Sendo assim,
- 1 ton de cana produz 550 kg de vapor

Vapor no processamento da cana



Energia no processamento da cana

- Considerando

- Conc. Etanol Vinho 8,5 GL
- Eficiência Industrial 84,7 %

- Tem-se:

- Produção de álcool hidratado 86,14 L/ton cana
- Produção de álcool anidro 82,30 L/ton cana

Energia no processamento da cana

- Consumo de vapor de escape no tratamento de caldo
 - Aquecimento caldo = 128,3 kg/ton cana
 - Reaquecimento caldo filtrado = 16 kg/ton cana
 - **Total = 144,33 kg/ton cana**
 - **Evaporação = 215,00 kg/ton cana**
 - **Total = 359,33 kg/ton cana**

Energia no processamento da cana

- Consumo de vapor na destilação e desidratação
 - Esgotamento = 137,84 kg/ton cana
 - Retificação = 77,54 kg/ton cana
 - Alcool hidratado (vapor vegetal) = 215,38 kg/ton cana
 - Desidratação (peneira Molecular)
 - Consumo (vapor de escape) = 55,14 kg/ton cana
 - **CONSUMO TOTAL ESCAPE = 414,47 kg/ton cana**

Energia no processamento da cana

- Considerando uma planta com moenda elétrica consome o equivalente a 415 kg de vapor de escape por tonelada de cana. Neste caso 415 kg de vapor / ton de cana teria de ser utilizado em turbinas de contra pressão para gerar energia elétrica
- Tem-se um excedente de 135 kg de vapor por tonelada de cana para produzir energia para exportação com turbinas de condensação

BioContal

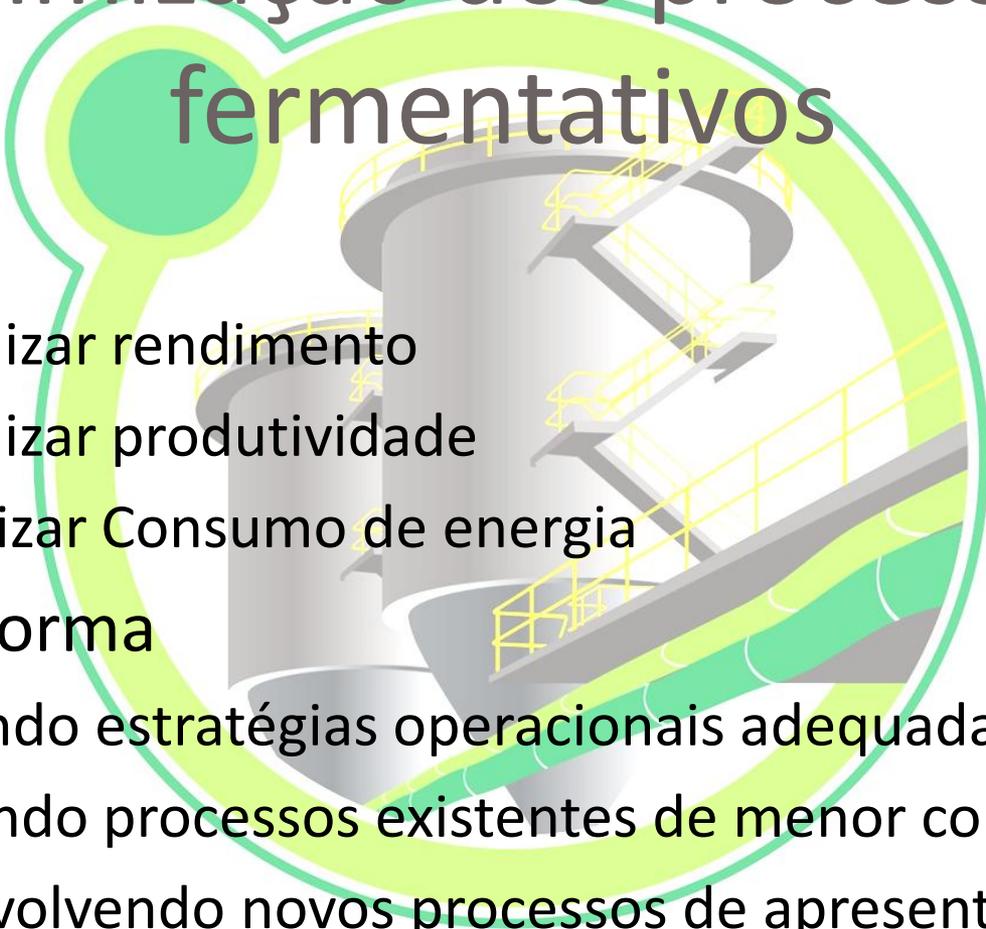
Tecnologia em Bioprocesso

Energia no processamento da cana



- Produção de energia elétrica por tonelada de cana
 - Turbinas de contra pressão = 71,30 kw
 - Turbinas de condensação = 35,15 kw
 - **TOTAL = 106,45 kw/ton cana**
- **82,3 L de etanol a 100% /ton cana**
- **ESTES SÃO OS PRODUTOS**

Otimização dos processos fermentativos



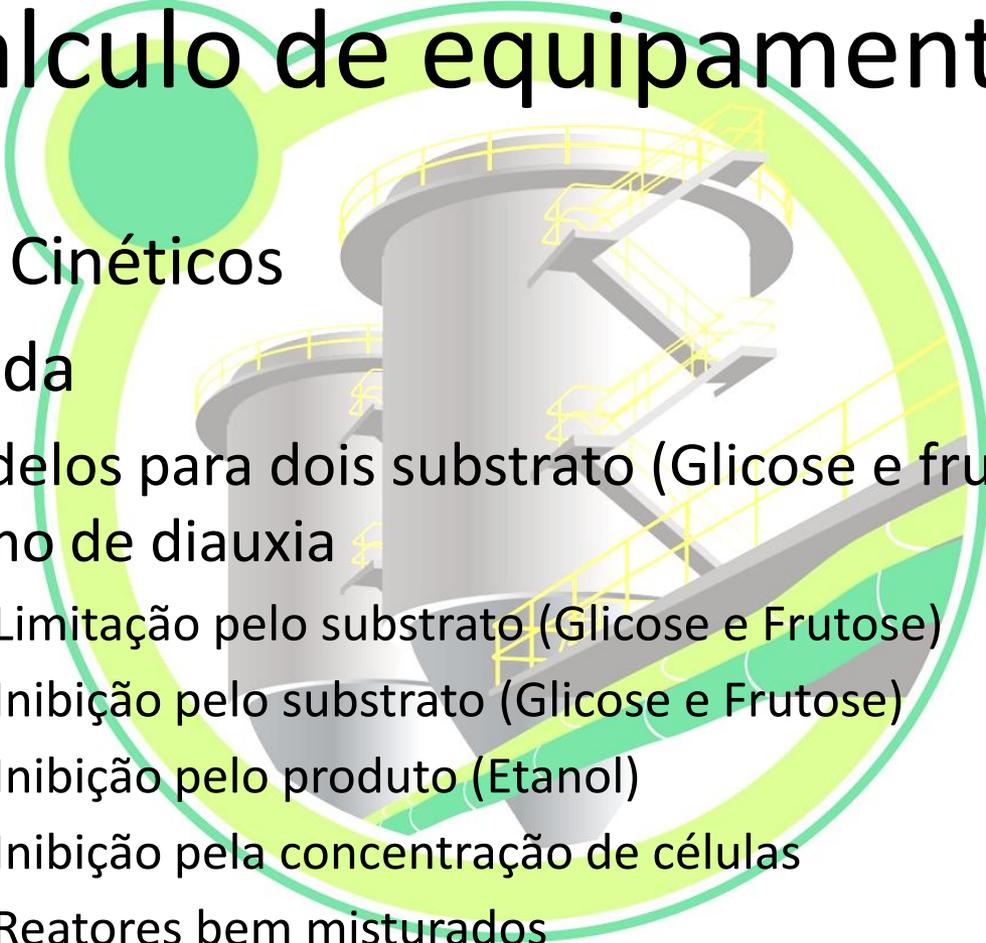
- **Objetivo**
 - Maximizar rendimento
 - Maximizar produtividade
 - Minimizar Consumo de energia
- **De que forma**
 - Definindo estratégias operacionais adequadas
 - Utilizando processos existentes de menor consumo
 - Desenvolvendo novos processos de apresente consumos menores que dos utilizados atualmente

Avaliação das tecnologias existentes e exemplo de otimização

- Base de cálculo

- Capacidade de produção 900.000 L/dia
- % Fermento creme levedura 65%
- % Fermento dornas
 - Batelada 11%
 - Contínua 12%
- % Fermento vinho centrifugado 0,5%
- Conc. De etanol no vinho 8,5 GL
- Rendimento em etanol 0,46 g Et/ g ART
- Taxa de reciclo
 - Batelada 0,3
 - Contínua 0,35

Calculo de equipamentos



- Modelos Cinéticos

- Batelada

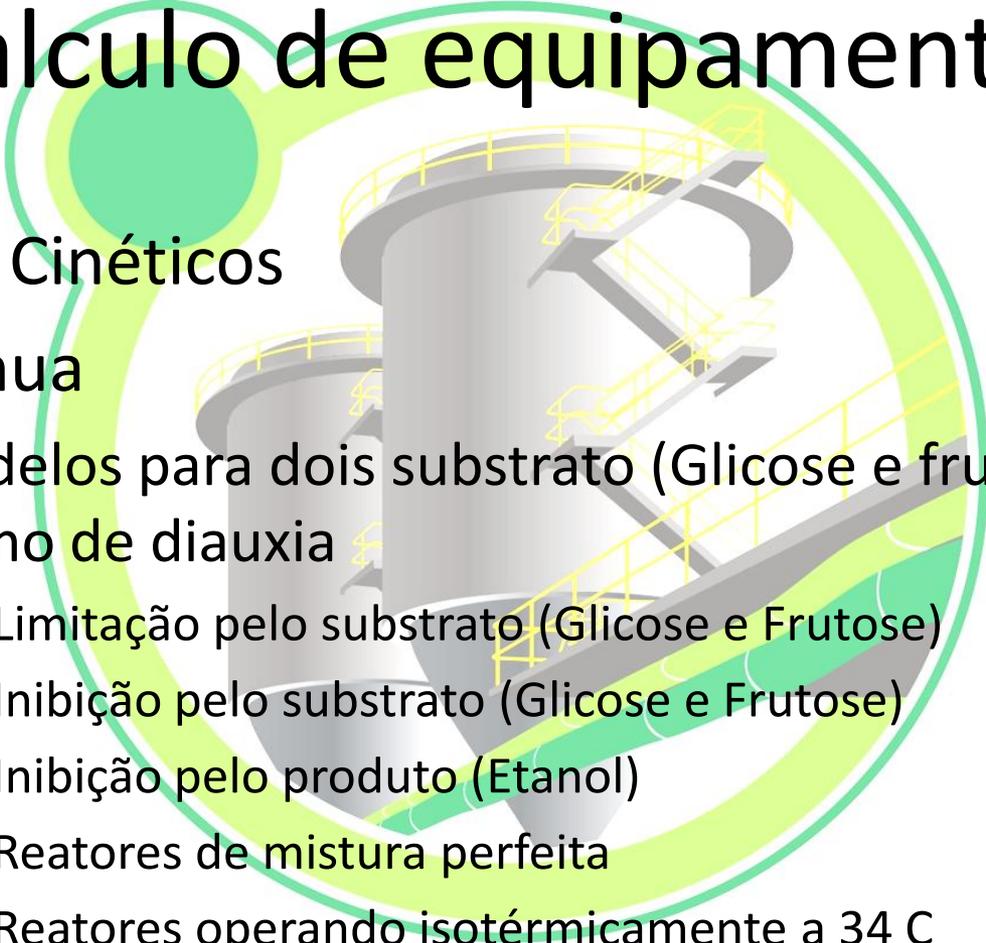
- Modelos para dois substrato (Glicose e frutose) com termo de diauxia

- Limitação pelo substrato (Glicose e Frutose)
 - Inibição pelo substrato (Glicose e Frutose)
 - Inibição pelo produto (Etanol)
 - Inibição pela concentração de células
 - Reatores bem misturados
 - Reatores operando isotérmicamente a 34 C

BioContal

Tecnologia em Bioprocesso

Calculo de equipamentos



- Modelos Cinéticos
 - Contínua
 - Modelos para dois substrato (Glicose e frutose) Com termo de diauxia
 - Limitação pelo substrato (Glicose e Frutose)
 - Inibição pelo substrato (Glicose e Frutose)
 - Inibição pelo produto (Etanol)
 - Reactores de mistura perfeita
 - Reactores operando isotérmicamente a 34 C

Estratégia de operação 01

- Processo batelada

- Número de Biorreatores 6

- Número de biorreatores em alimentação 2

- Ciclo

- Tempo de carga fermento 1 hora

- Tempo de enchimento 4 horas

- Tempo de espera término ferm. 4 horas

- Tempo total fermentação 8 horas

- Tempo centrifugação 2 horas

- Tempo CIP 1 hora

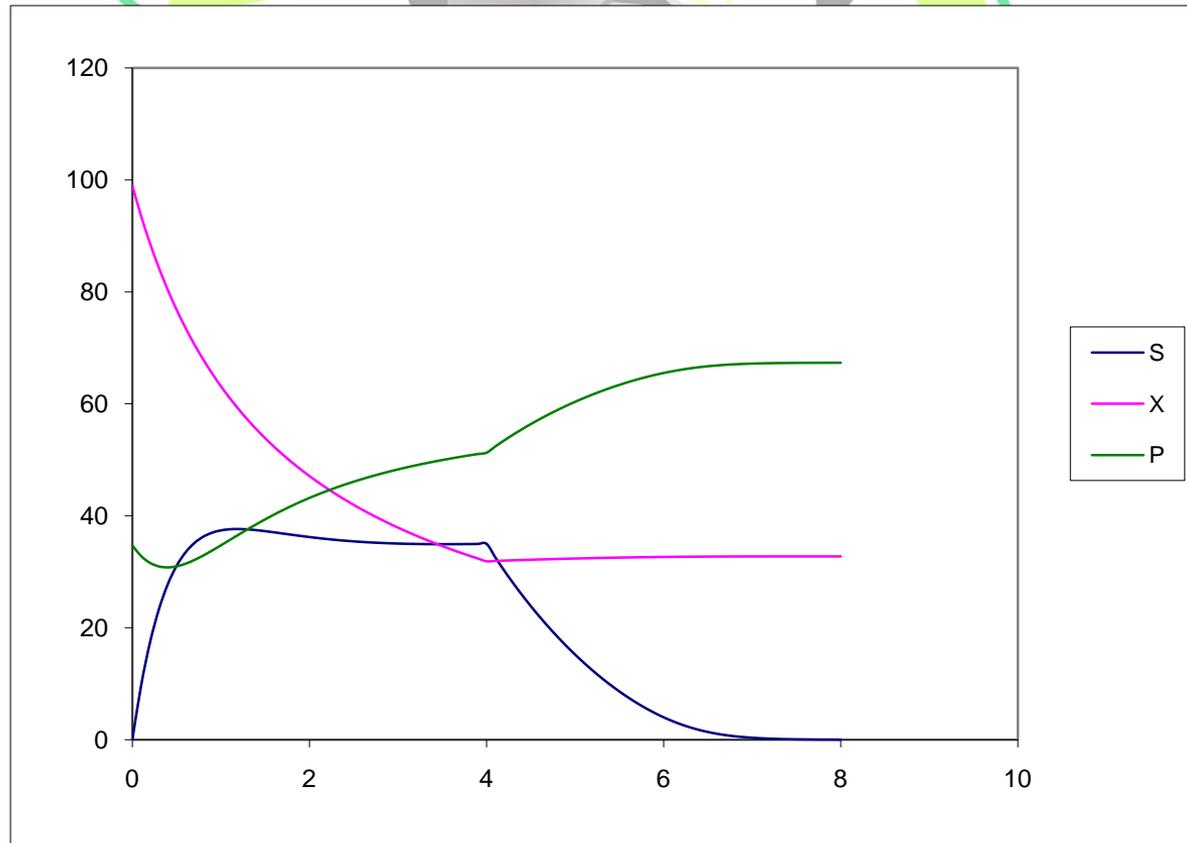
- **Tempo total de ciclo 12 horas**

Estratégia de operação 01

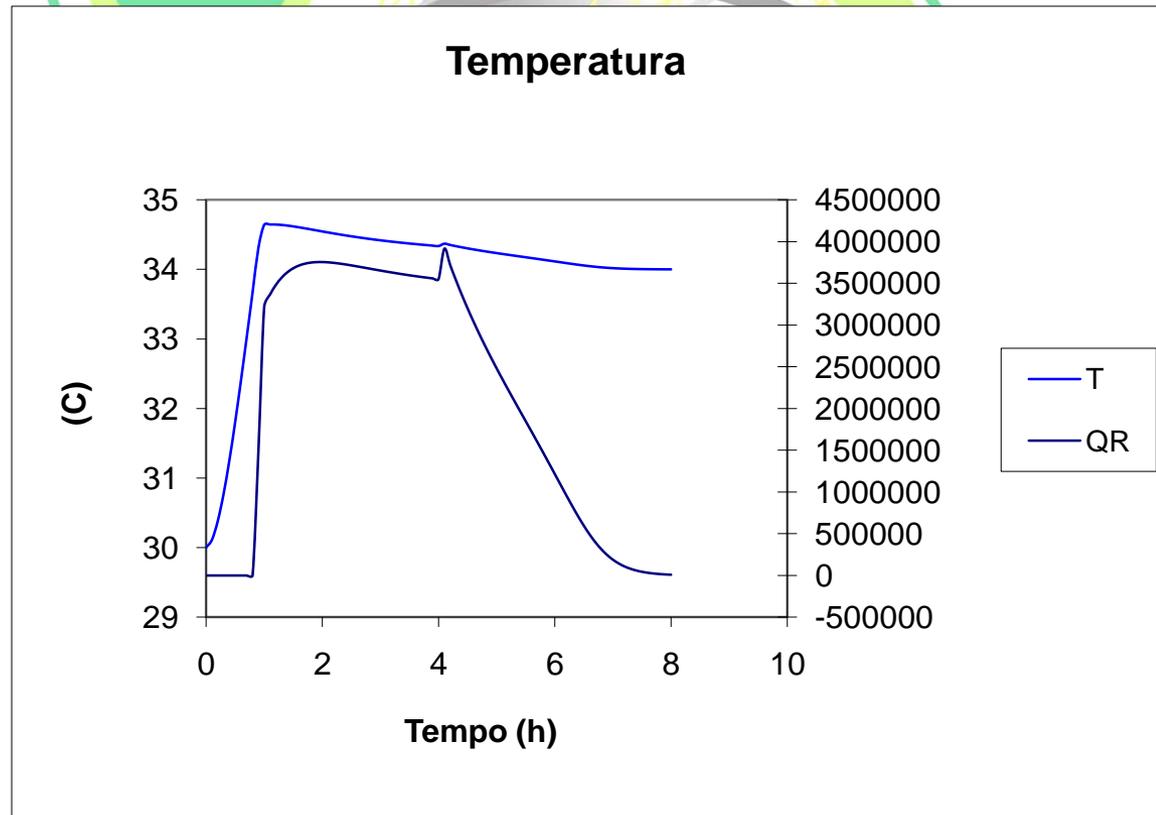


Tempo	D1	D2	D3	D4	D5	D6	C1	C2	C3	
1	1,00	2,00				4,00	D - D1	Enchim.	CIP	
2		1,00	2,00	4,00			CIP	Trat.	Enchim.	
3	4,00	1,00					CIP	D - D2	Enchim.	
4			1,00	2,00	4,00		Enchim.	CIP	Trat.	
5		4,00	1,00				Enchim.	CIP	D - D3	
6				1,00	2,00	4,00	Trat.	Enchim.	CIP	
7			4,00	1,00			D - D4	Enchim.	CIP	
8	4,00				1,00	2,00	CIP	Trat.	Enchim.	
9				4,00	1,00		CIP	D - D5	Enchim.	
10	2,00	4,00					1,00	Enchim.	CIP	Trat.
11					4,00	1,00		Enchim.	CIP	D - D6
12	1,00		4,00					Trat.	Enchim.	CIP

Perfil de conversão



Perfil de Liberação de energia



Batelada – 6 Dornas

Estratégia 01

- Equipamentos

- Volume total de biorreatores 7.200.000 L
- Volume total de tq tratamento 1.200.000 L
- Volume tq Pulmão centrífuga 400.000 L
- Carga térmica máxima 3.914.276 Kcal/h
- Trocador de calor 4.062 m²
- Capacidade bombeamento vinho 9.000.000 L/h
- Tempo total ciclo 12 horas

BioContal

Tecnologia em Bioprocesso

Estratégia de operação 02

- Processo batelada

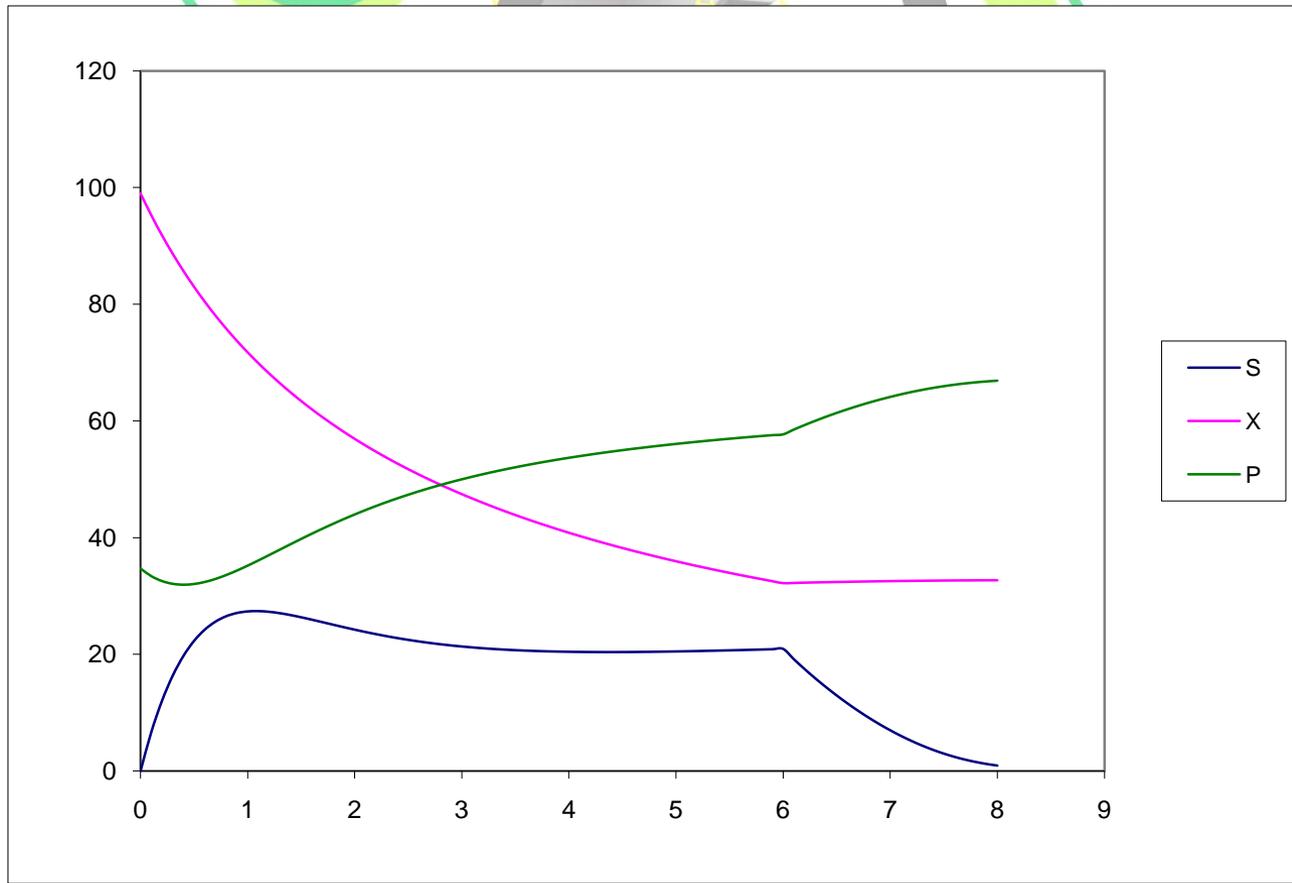
- Número de dornas 6
- Número de dornas enchendo 3
- Ciclo
 - Tempo de carga fermento 1 hora
 - Tempo de enchimento biorreatores 6 horas
 - Tempo de espera término ferm. 2 horas
 - Tempo total fermentação 8 horas
 - Tempo centrifugação 2 horas
 - Tempo CIP 1 hora
 - **Tempo total de ciclo 12 horas**

Estratégia de operação 02



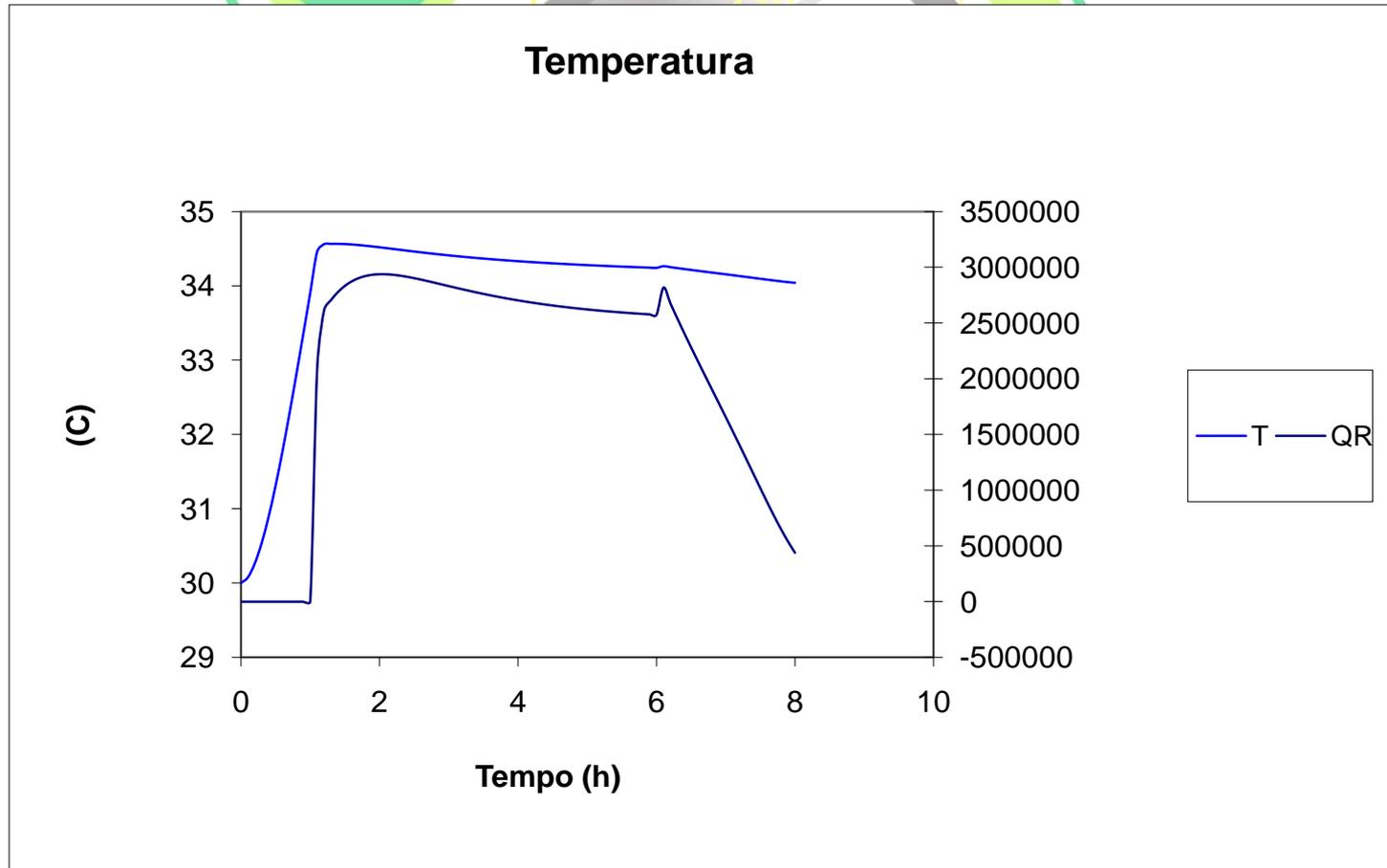
Tempo	D1	D2	D3	D4	D5	D6	C1	C2	C3	
1	1,00	2,00					6,00	D - D1	Enchim.	CIP
2		1,00	2,00	2,00				CIP	Trat.	Enchim.
3	6,00	1,00						CIP	D - D2	Enchim.
4			1,00	2,00	2,00			Enchim.	CIP	Trat.
5		6,00	1,00					Enchim.	CIP	D - D3
6				1,00	2,00	2,00		Trat.	Enchim.	CIP
7			6,00	1,00				D - D4	Enchim.	CIP
8	2,00				1,00	2,00		CIP	Trat.	Enchim.
9				6,00	1,00			CIP	D - D5	Enchim.
10	2,00	2,00					1,00	Enchim.	CIP	Trat.
11					6,00	1,00		Enchim.	CIP	D - D6
12	1,00		2,00					Trat.	Enchim.	CIP

Perfil de conversão



Tecnologia em Bioprocesso

Perfil de Liberação de energia



Batelada – 6 Dornas

Estratégia 02

- Equipamentos

- Volume total de biorreatore 7.200.000 L
- Volume total de tq tratamento 1.200.000 L
- Volume tq pulmão centrífuga 400.000 L
- Carga térmica máxima 2.936.326 Kcal/h
- Trocador de calor 2.520 m2
- Capacidade bombeamento vinho 9.000.000 L/h
- Tempo total ciclo 12 horas

BioContal

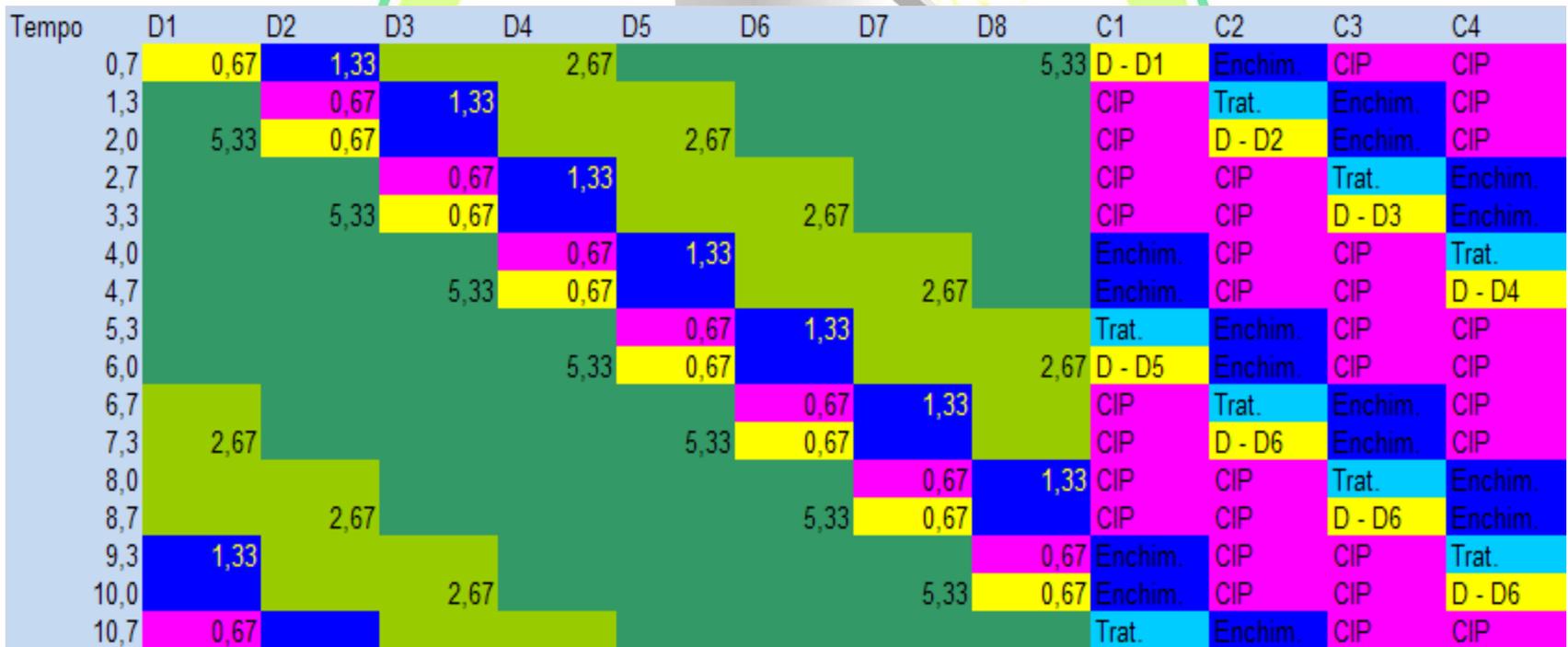
Tecnologia em Bioprocesso

Estratégia de operação 03

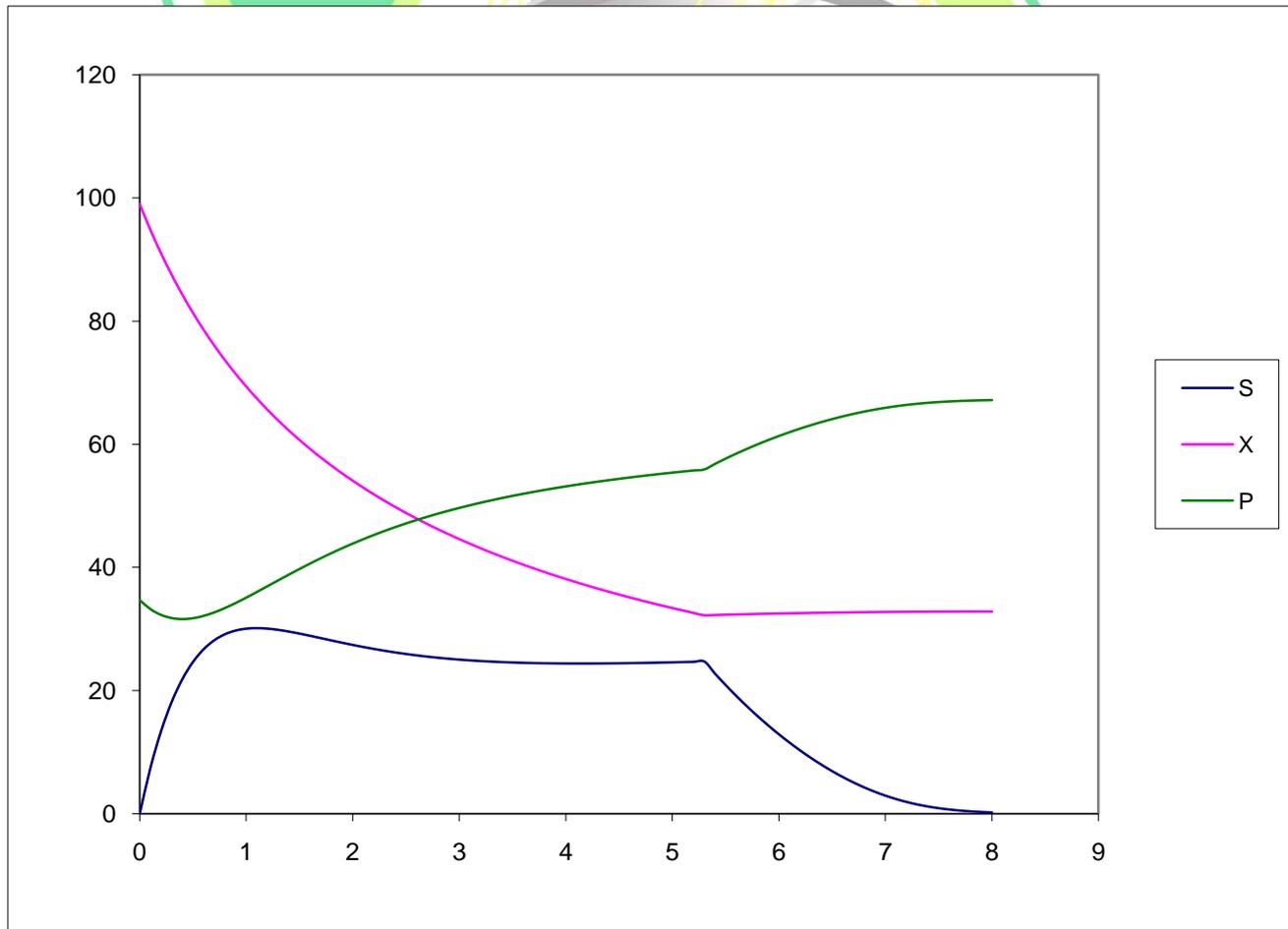
- Processo batelada

- Número de dornas 8
- Número de dornas enchendo 4
- Ciclo
 - Tempo de carga fermento 0,65 hora
 - Tempo de enchimento biorreatores 5,7 horas
 - Tempo de espera término ferm. 2,3 horas
 - Tempo total fermentação 8 horas
 - Tempo centrifugação 1,3 horas
 - Tempo CIP 0,65 hora
 - **Tempo total de ciclo 10,7 horas**

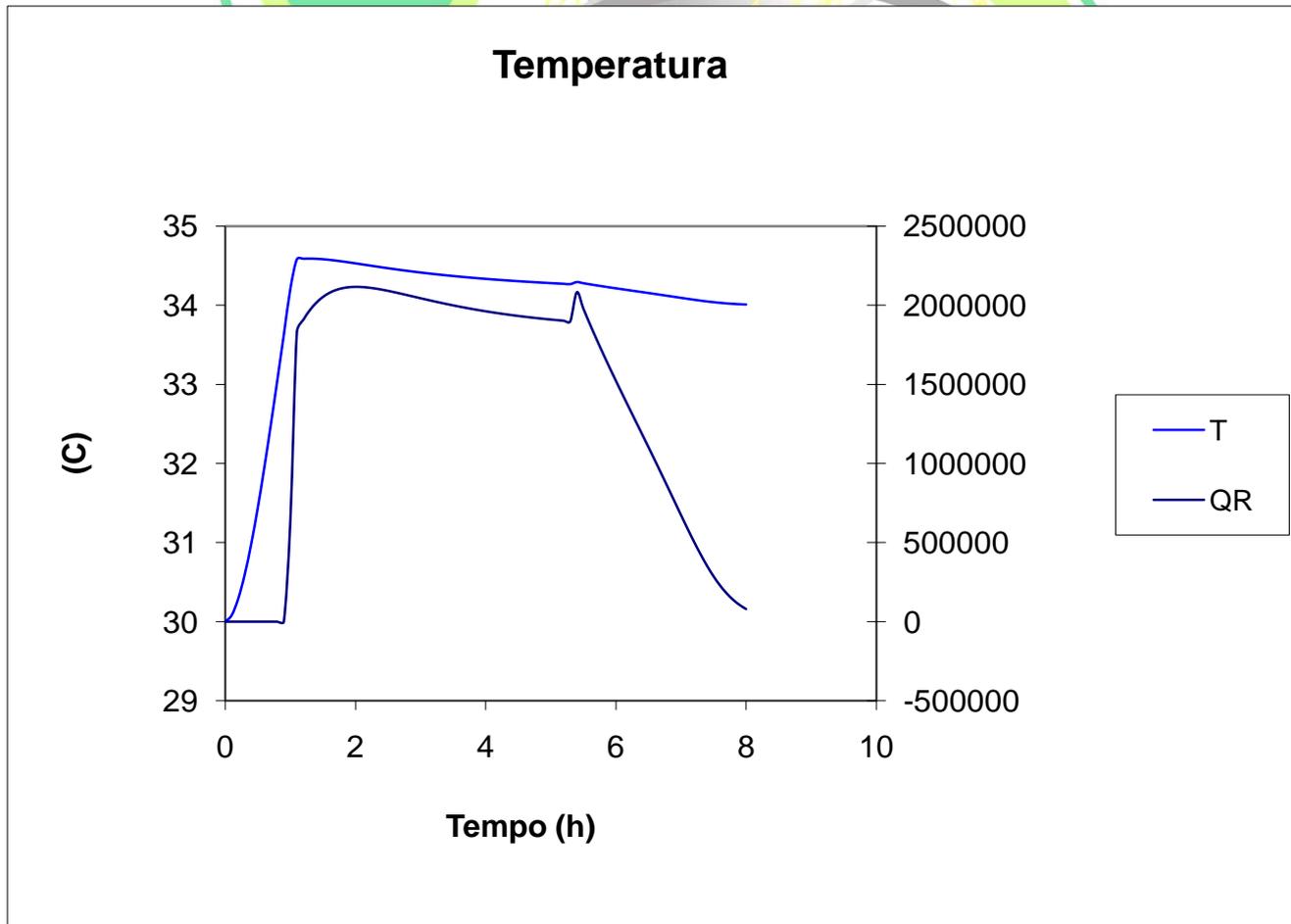
Estratégia de operação 03



Perfil de conversão



Perfil de Liberação de energia



Batelada – 8 Dornas

Estratégia 03

- Equipamentos

- Volume total de Biorreatores 6.400.000 L
- Volume total de tq tratamento 960.000 L
- Volume Tq Pulmão centrífuga 240.000 L
- Carga térmica máxima 2.082.432 Kcal/h
- Trocador de calor 2.520 m²
- Capacidade bombeamento vinho 7.600.000 L/h
- Tempo total ciclo 10,7 horas

BioContal

Tecnologia em Bioprocesso

Estratégia de operação 04

- Processo Contínuo

- Número de dornas 4
- Tempo de ciclo 8 horas
 - Conversão dorna 01 65%
 - Conversão dorna 02 89%
 - Conversão dorna 03 97,5%
 - Conversão dorna 04 99,0%

Processo Contínuo

Estratégia 04

- Equipamentos

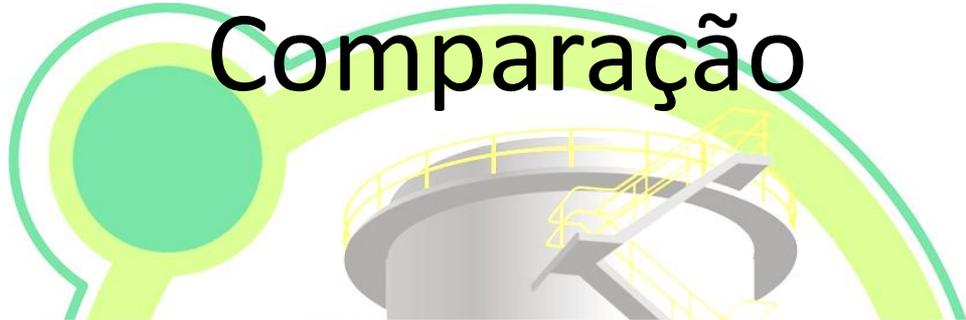
- Contínua – 4 dornas com 3 cubas

- Volume total de dornas 4.567.000 L
 - Volume total de cubas 375.000 L
 - Trocador de calor 1594 m²
 - Capacidade bombeamento vinho 5.900.000 L/h
 - Tempo total de ciclo 8 h

BioContal

Tecnologia em Bioprocesso

Comparação

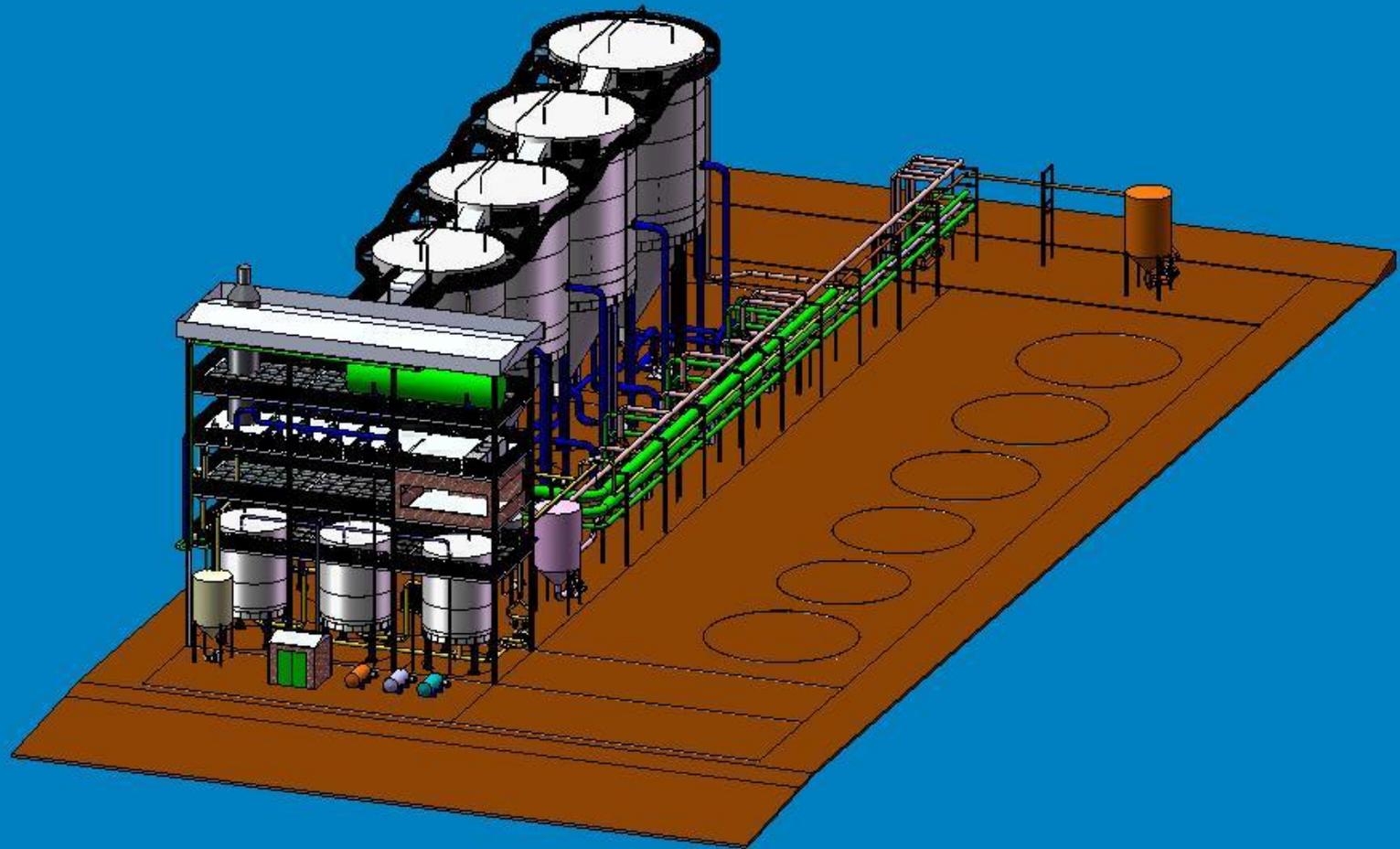


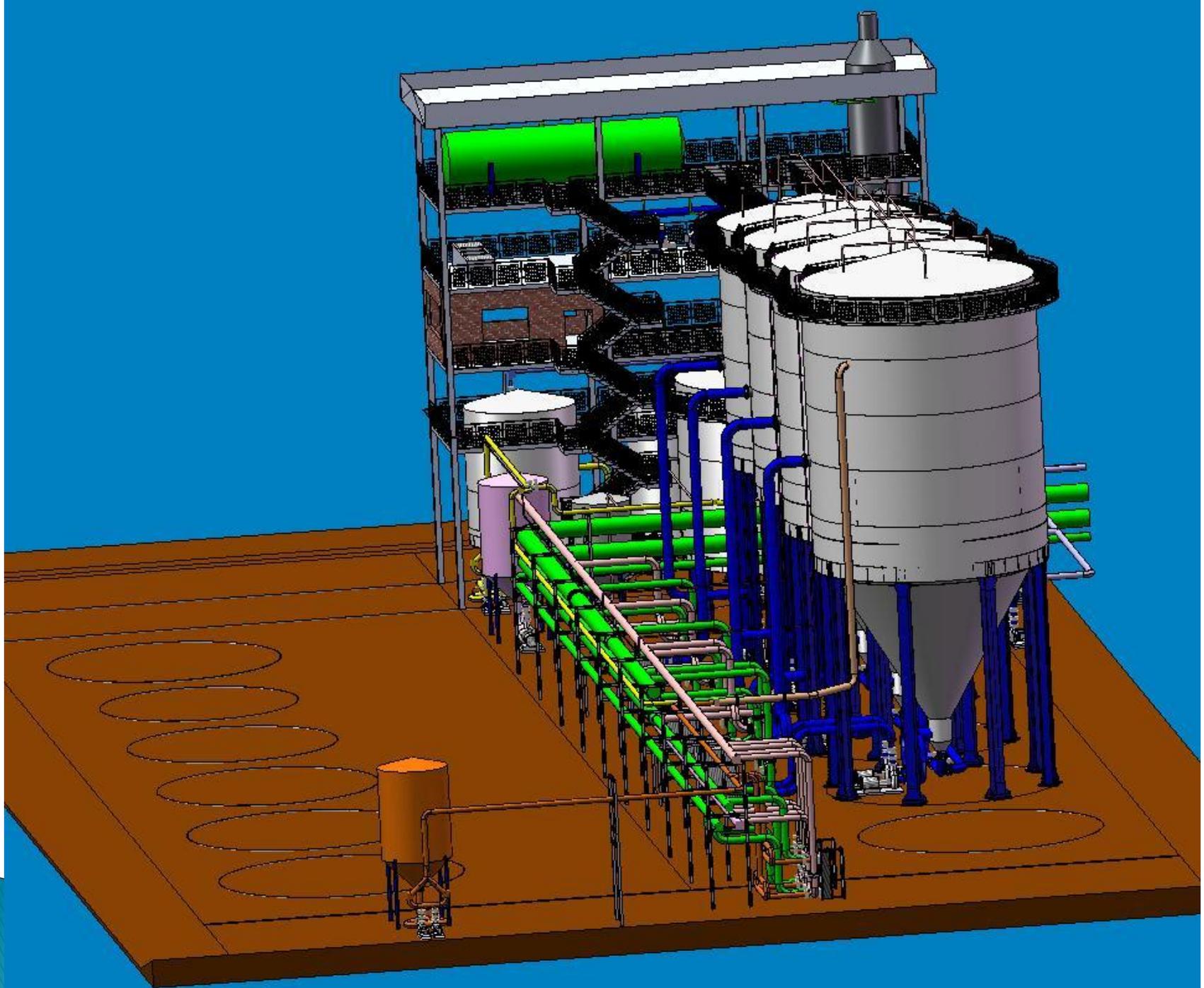
	Batelada 6 dornas Estratégia 01	Batelada 6 dornas Estratégia 02	Batelada 8 dornas Estratégia 03	Contínua 4 dornas Estratégia 04
Volume dorna	7.200.000	7.200.000	6.400.000	4.570.000
Volume Cuba	1.200.000	1.200.000	960.000	375.000
Volume Pulmão	400.000	400.000	240.000	-
Trocador de calor	4.062	2.520	2.520	1.590
Bombeamento	9.000.000	9.000.000	7.600.000	5.900.000
Tempo ciclo	12	12	10,67	8

Comparação - Redução



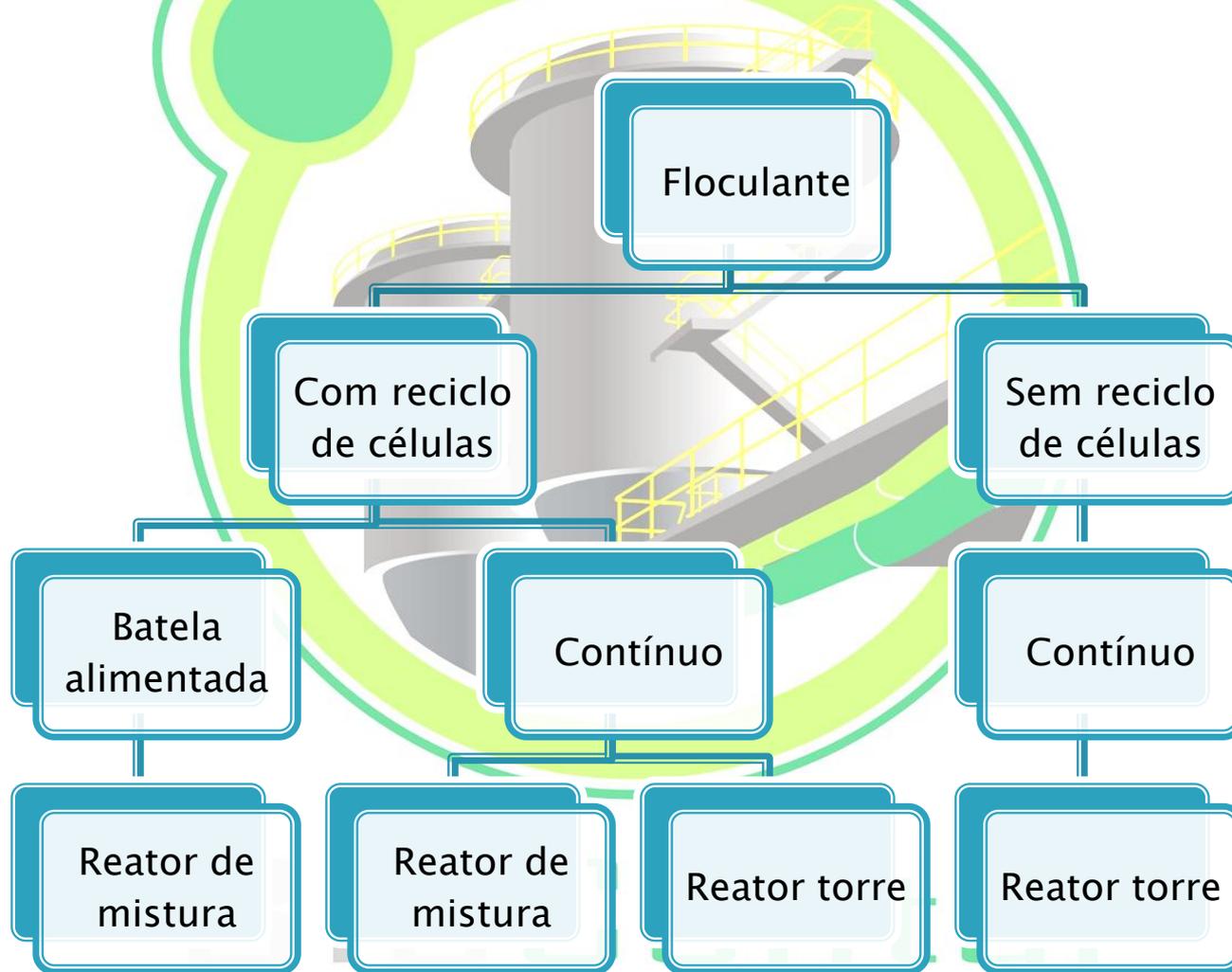
	Batelada 6 dornas Estratégia 01	Batelada 6 dornas Estratégia 02	Batelada 8 dornas Estratégia 03	Contínua 4 Dornas Estratégia 04
Volume dorna	100	100	83,3	63,43
Volume Cuba	100	100	83,3	31,25
Volume Pulmão	100	100	62,5	0
Trocador de calor	100	62,04	62,04	39,14 / 63,25
Bombeamento	100	100	84,4	65,56
Tempo ciclo	100	100	88,91	66,67







Processos com Levedura floculante



Processos contínuos com reatores de mistura

- Consumo alto de energia para agitar os reatores para evitar a decantação de células no mesmo
- Normalmente realizado em múltiplos estágios, seguindo os mesmos princípios dos processos contínuos convencionais (centrífugas)
- Necessitam de unidades de regeneração de células, com ou sem adição de ácido sulfúrico e água
- Reaproveitamento do fermento após separação do mesmo por decantação
- Limitação devido ao longo período necessário para a separação do fermento
- Baixa produtividade devido a menor concentração de células no reator (limitada pelo sistema de separação)

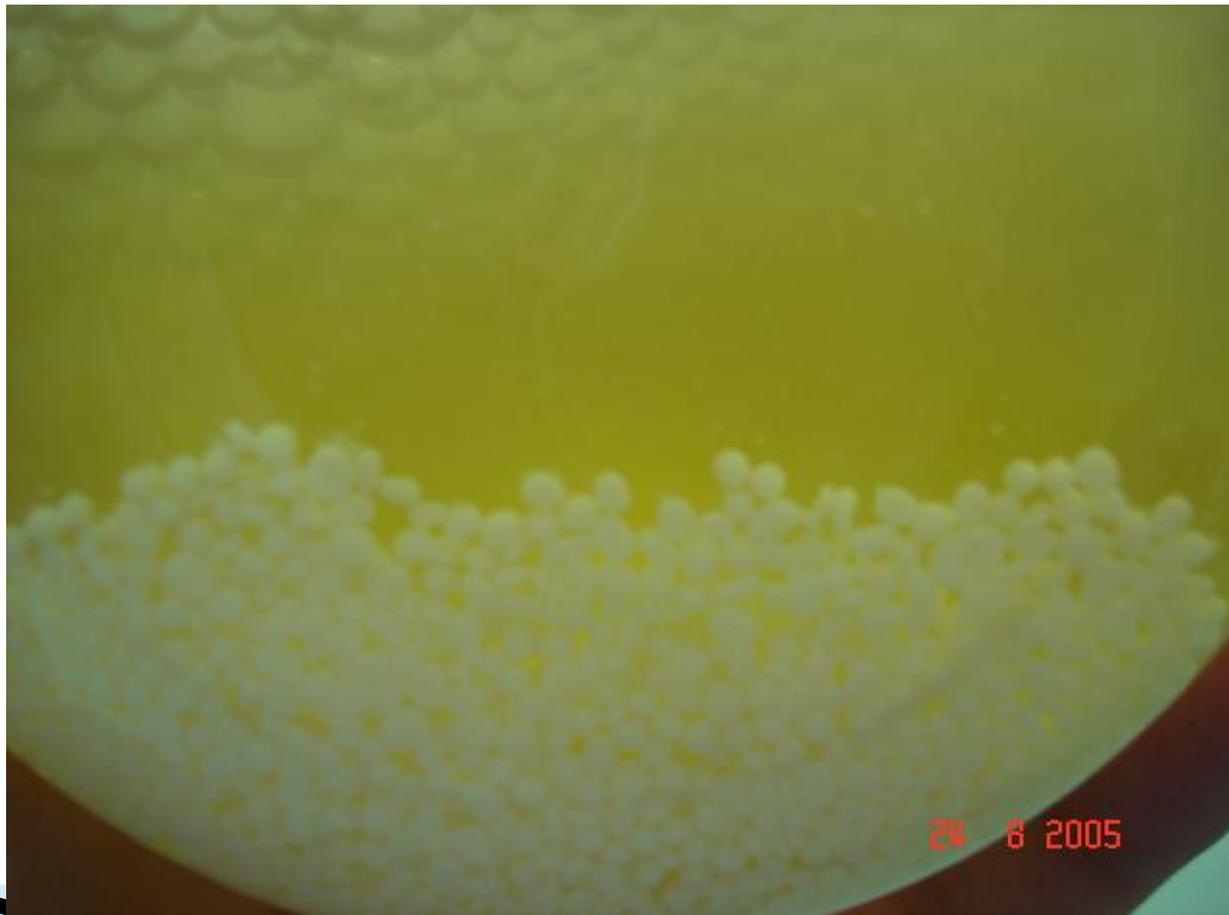
BioContal

Tecnologia em Bioprocesso

Processos contínuos com reator Torre sem reciclo

- Vantagens
 - Não necessita de unidade de separação e tratamento de fermento
 - Por formar leitos estáveis, permite a operação com alta concentração de células no seu interior, diminuindo o tempo de fermentação (2 horas)
 - Permite atingir comportamento de reator tubular, desejável para processos com inibição pelo produto (etanol)
 - Grande facilidade operacional, podendo ser totalmente automatizado
 - Baixo custo de instalação e operacional
 - Baixo consumo de insumos

Característica do microrganismo



Características do leite



Característica do leito



Sistemas estudiados

Sistema	1	2	3
Prod (g/Lxh)	26,29	21,68	27,39
Rend (%)	90	90	90
GL Final	10,00	9,63	10,20
TR (h)	3,0	4,0	3,0
ART Alim (g/L)	180	175	185

Escala Piloto – Patente Unicamp/Dedini

- ▶ Planta piloto instalada na Usina da Pedra
- ▶ Capacidade – 10.000 L de etanol 100% / dia
- ▶ Data de inicio de operação – outubro de 2005
- ▶ Objetivo
 - Avaliar a operacionabilidade do processo
 - Estudar a fluído dinâmica dos biorreatores
 - Avaliar a capacidade de permanência da cepa
 - Avaliar a resistêcia do processo a condições desfavoráveis
 - Desempenho geral do processo





Resultados

- ▶ Problemas operacionais com os trocadores de calor quando a concentração de células passa de 35% nos reatores
 - ▶ Devido a longos períodos em anaerobiose, a membrana celular perde seletividade
 - ▶ Aumento de produção de ácidos
- 

Correção do sistema

- ▶ Necessidade de regeneração das células contidas no leito
 - ▶ Operação com reciclo de célula e instalação de unidade de regeneração
- 

Resultado operacional

- ▶ Concentração de álcool no vinho 9 GL
- ▶ Taxa de reciclo 0,3
- ▶ Tempo de regeneração do leito 0,5 horas
- ▶ Forma de regeneração aerobiose
- ▶ Tempo de residência nos fermentadores 5 horas
- ▶ Nível de conversão de ART 97%
- ▶ Rendimento meio industrial 87%
- ▶ Tempo de operação 5 meses
- ▶ Produtividade 11 g/Lxh