

# Biopolímeros

---

José Gregório Cabrera Gomez  
jgcgomez@usp.br



DEPARTAMENTO DE  
**MICROBiologia**  
UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO



# Biopolymers

---

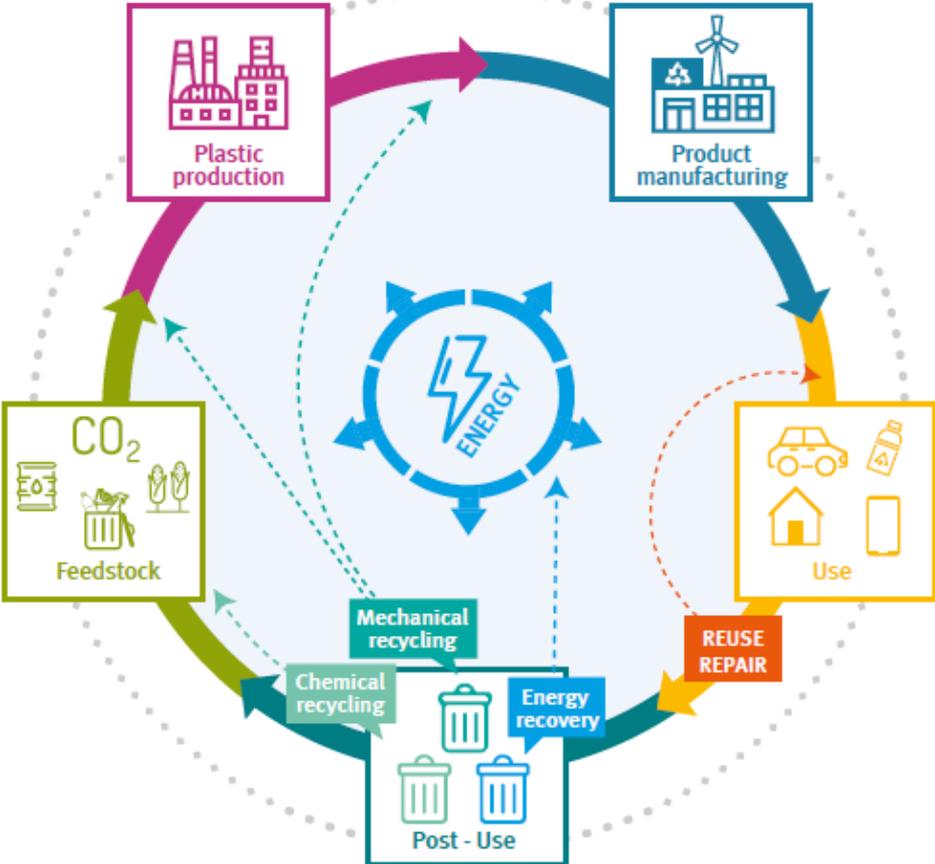
Polynucleotides

Polypeptides

Polysaccharides

Polyesters

# Plastics



## EUROPE (EU28+NO/CH)

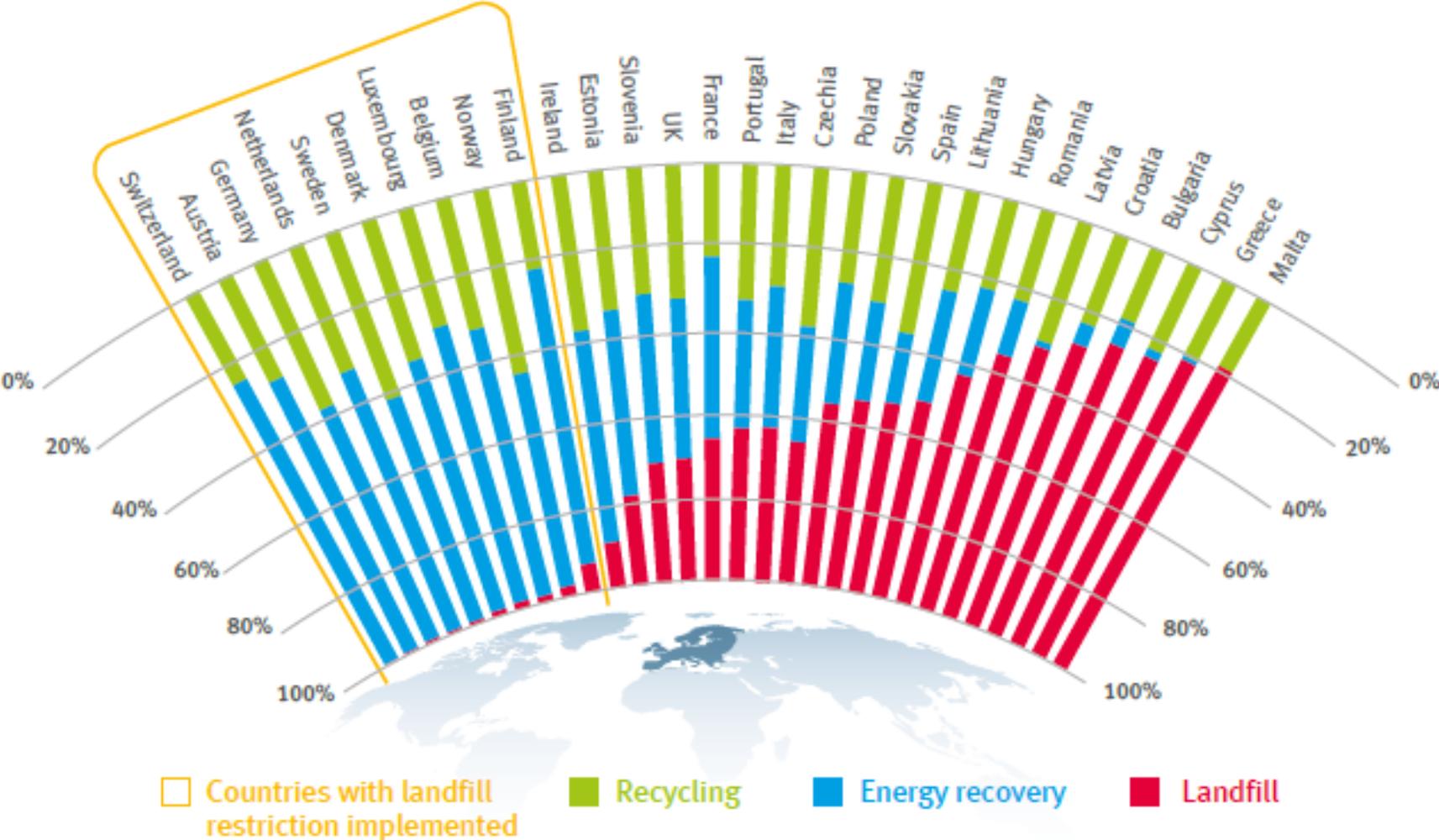
2016 2017  
60 million tonnes ► 64.4 million tonnes

335 million tonnes ► 348 million tonnes  
2016 2017

## WORLD

# Plastics

Plastic post-consumer waste rates of recycling, energy recovery and landfill per country in 2016





# Plastics



## Daily News and Headlines

### Americans eat more than 50,000 tiny pieces of plastic every year

By [David Shultz](#) | Jun. 5, 2019 , 3:55 PM  
*Environmental Science & Technology*

### These tiny microbes are munching away at plastic waste in the ocean

By [Helen Santoro](#) | May. 20, 2019 , 12:30 PM

### Dead whale found with 40 kilograms of plastic in its guts

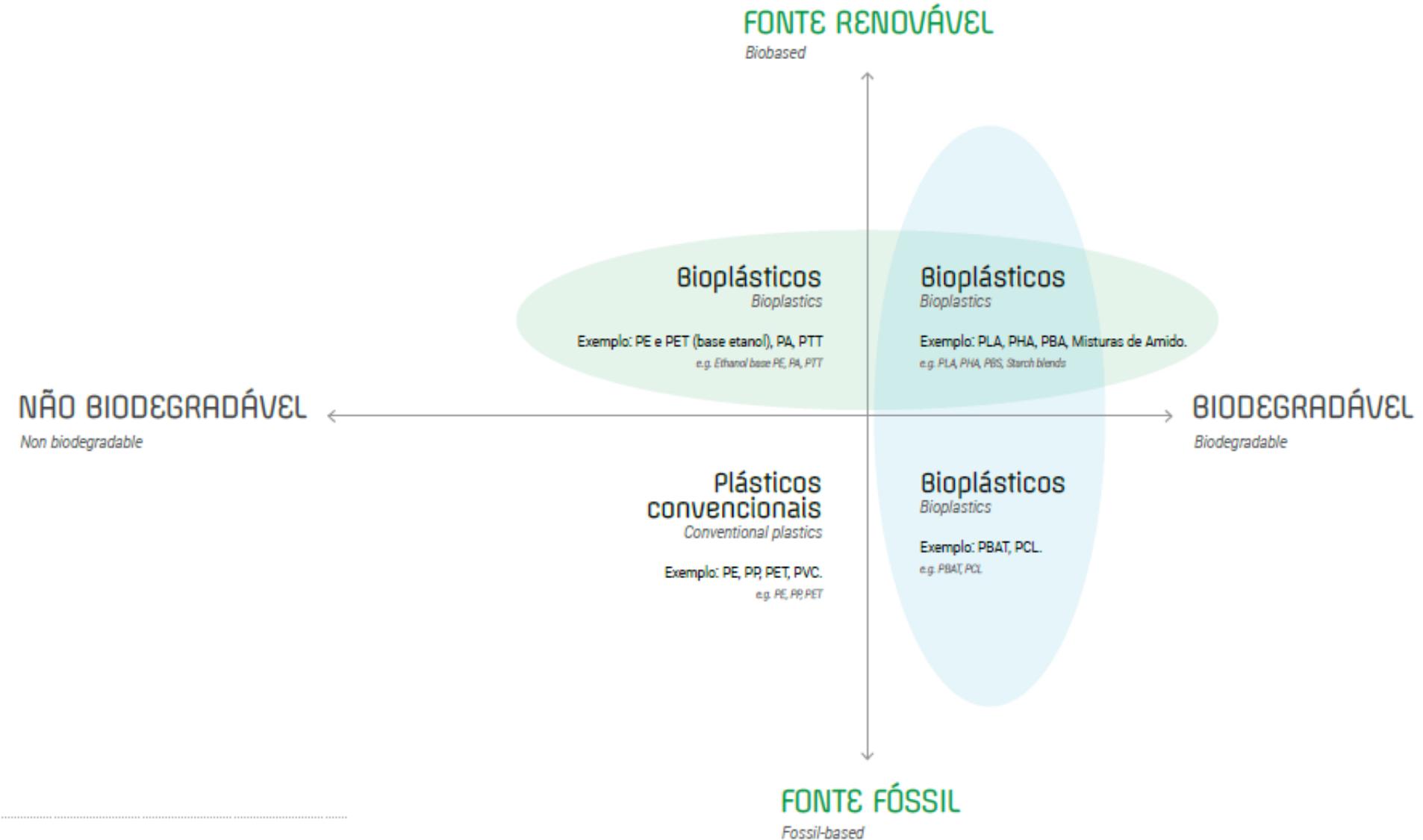
By [Alex Fox](#) | Mar. 18, 2019 , 4:15 PM

### Airborne microplastics found atop France's remote Pyrenees mountains

By [Alex Fox](#) | Apr. 15, 2019 , 11:00 AM



# Bioplastics





I'm green

Activia com selo I'm green. Assim, o verde não fica só na embalagem.

A parceria entre a Danone e a Braskem permitiu o desenvolvimento da primeira embalagem de iogurte feita de plástico verde no Brasil. Uma tecnologia que utiliza matéria-prima de fonte renovável e evita o consumo de energia e a emissão de gases de efeito estufa. Um diferencial de produto que faz a diferença para a natureza.

Para mais informações, acesse [www.braskem.com.br/plasticoverde](http://www.braskem.com.br/plasticoverde)



Novas formas de ver o mundo.



I'm green

Faber-Castell com selo I'm green. Preservando o verde e todas as suas cores.

A Faber-Castell e a Braskem se uniram para desbravar um mundo mais sustentável. Agora, surge o primeiro esquadro escolar feito de plástico verde, que vai ao parquinho. Uma tecnologia que utiliza matéria-prima de fonte renovável, a cana-de-açúcar, e contribui para a redução dos gases de efeito estufa. Um diferencial de produto que faz a diferença para a natureza.

Para mais informações, acesse [www.braskem.com.br/plasticoverde](http://www.braskem.com.br/plasticoverde)



Novas formas de ver o mundo.



I'm green

Sundown com O ú você e o p

Sundown e Braskem inovam ao lançar o primeiro produto de limpeza feito de plástico verde. Uma tecnologia que utiliza a cana-de-açúcar, e contribui para a redução dos gases de efeito estufa. Um diferencial de produto que faz a diferença para a natureza.

Para mais informações, acesse [www.braskem.com.br/plasticoverde](http://www.braskem.com.br/plasticoverde)

### PE Verde

PE VERDE



captura



da atmosfera



A cana-de-açúcar captura o CO2



Produção de etanol



Produção do Eteno verde e Polietileno Verde



Transformação de Polietileno verde em produtos



O consumidor pode optar por produtos mais verdes



O Polietileno verde é 100% reciclável



Redução dos gases do efeito estufa

Respeito ambiental para milhares de pessoas

Reciclagem

Um Mundo mais sustentável



# Polyhydroxyalkanoates - PHA

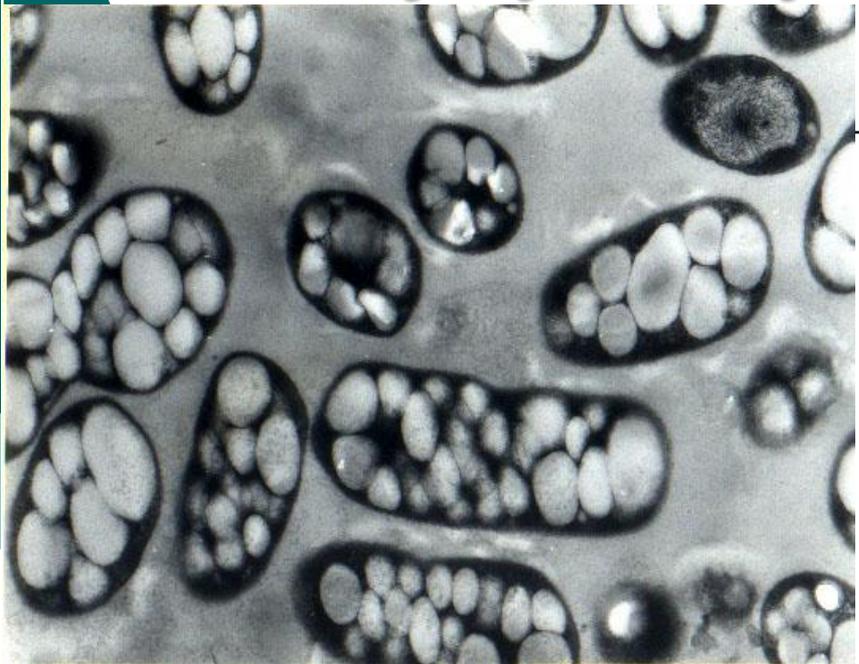


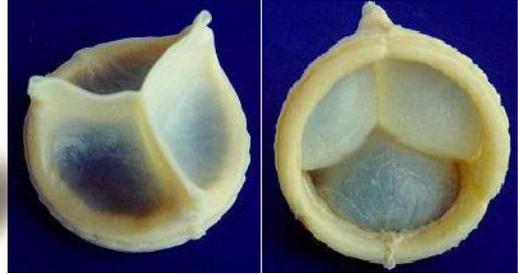
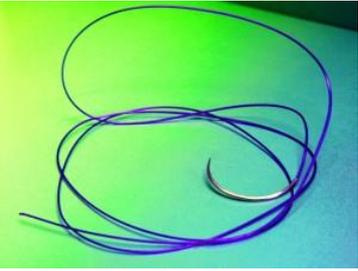
Foto: Niels Andreas



Bioplásticos



# Polyhydroxyalkanoates - PHA



# Biopolymers

Tabela 14.1 Percentual de materiais renováveis, biodegradabilidade e fase de desenvolvimento da tecnologia de diferentes termoplásticos produzidos utilizando matérias-primas renováveis

Material	Percentual de matéria-prima renovável	Biodegradabilidade	Estágio da tecnologia
Plásticos de amido <sup>a</sup>	40-100	Parcial a total	Grande escala
PLA <sup>b</sup>	100	Total	Grande escala
PHA <sup>c</sup>	100	Total	Escala Piloto
PE <sup>d</sup>	100	Não	Grande escala
PET <sup>e</sup>	~30	Não	Pequena escala
PTT <sup>f</sup>	35	Não	Pequena escala

Fonte: Shen *et al.* (2010).

a. amido termoplástico, amido modificado, misturas de amido e polímeros petroquímicos.

b. ácido polilático (PLA) produzido pela polimerização do ácido lático, gerado em processo biotecnológico.

c. P3HB, P3HB-*co*-3HV, P3HB-*co*-3HHx, P3HB-*co*-4HB, P4HB.

d. Etanol é convertido em etileno, polimerizado para gerar o PE de base biológica (biobased PE).

e. Etileno é gerado a partir do etanol (bioetanol) e polimerizado ácido tereftálico (petroquímico).

# Biopolymers

Tabela 14.2 Potencial máximo de substituição técnica de plásticos petroquímicos por plásticos gerados com matérias-primas renováveis

Materiais.	Percentual máximo de substituição técnica						Quantidade substituída <sup>a</sup>
	PEBD	PEAD	PP	PVC	PS	PET	
Plásticos de amido	8	8	8		8		10.304,4
PLA		10	10		10	20	12.270,1
PHA <sup>b</sup>	20	20	10	10	20	10	26.348,8
PE <sup>c</sup>	72 <sup>d</sup>	62 <sup>d</sup>					45.746,0
PP <sup>c</sup>			67 <sup>d</sup>				30.083,0
PET <sup>c</sup>						50 <sup>d</sup>	7.749,0
PTT			5			20	5.344,6
Consumo global (2007) <sup>a</sup>	37.100	30.700	44.900	35.280	16.105	15.498	137.845,9/179.583 (76,8%)

Fonte: Shen *et al.* (2010).

- a. Em 1000 toneladas.
- b. P3HB, P3HB-*co*-3HV, P3HB-*co*-3HHx, P3HB-*co*-4HB, P4HB.
- c. Produzidos a partir de matérias-primas renováveis.
- d. Em princípio, uma vez que apresentam exatamente a mesma composição química de seus congêneres petroquímicos, estes polímeros poderiam substituir tecnicamente 100%. Aqui foi considerada apenas a substituição que complementa aquela dos outros polímeros.

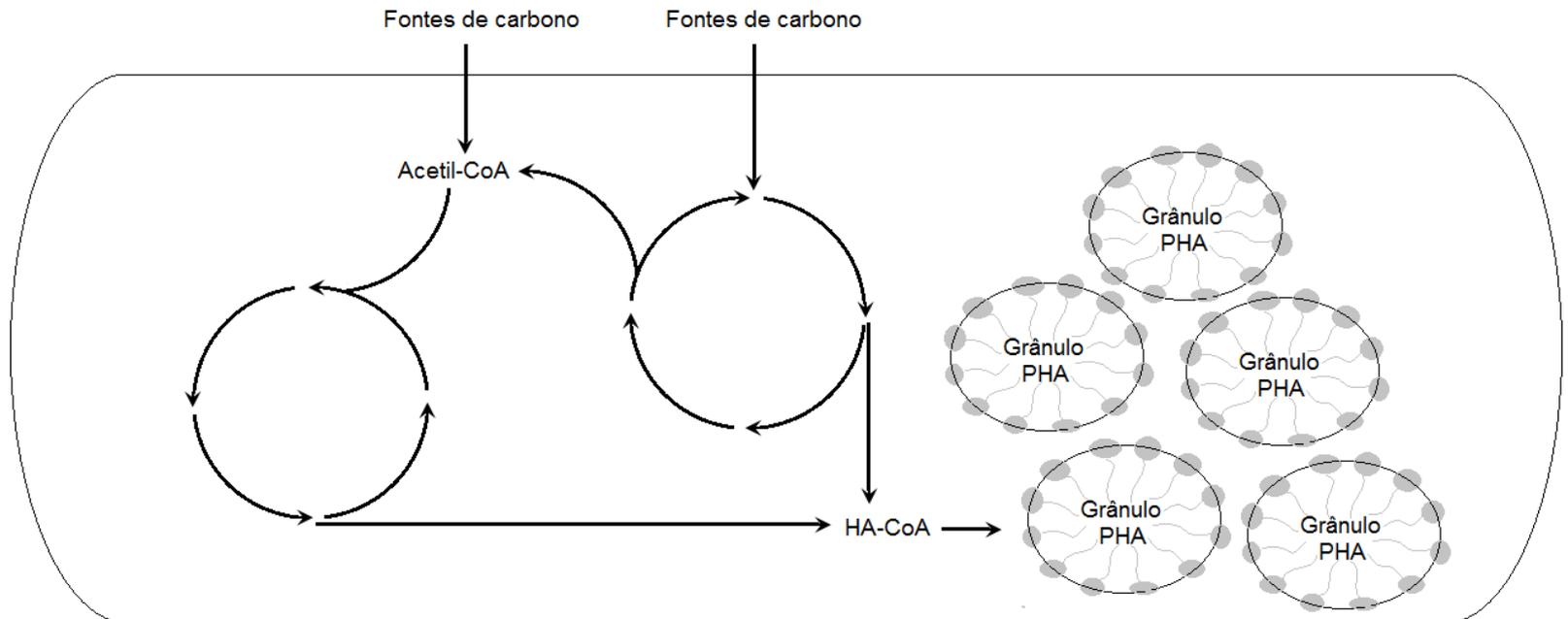
# What are polyhydroxyalkanoates?

Tabela 13.3. Propriedades térmicas e mecânicas de alguns PHA e plásticos petroquímicos.

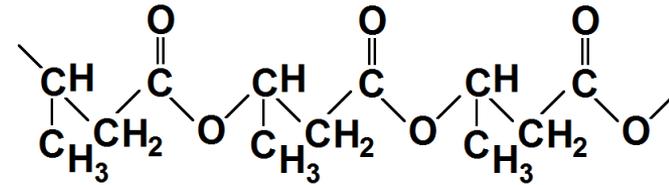
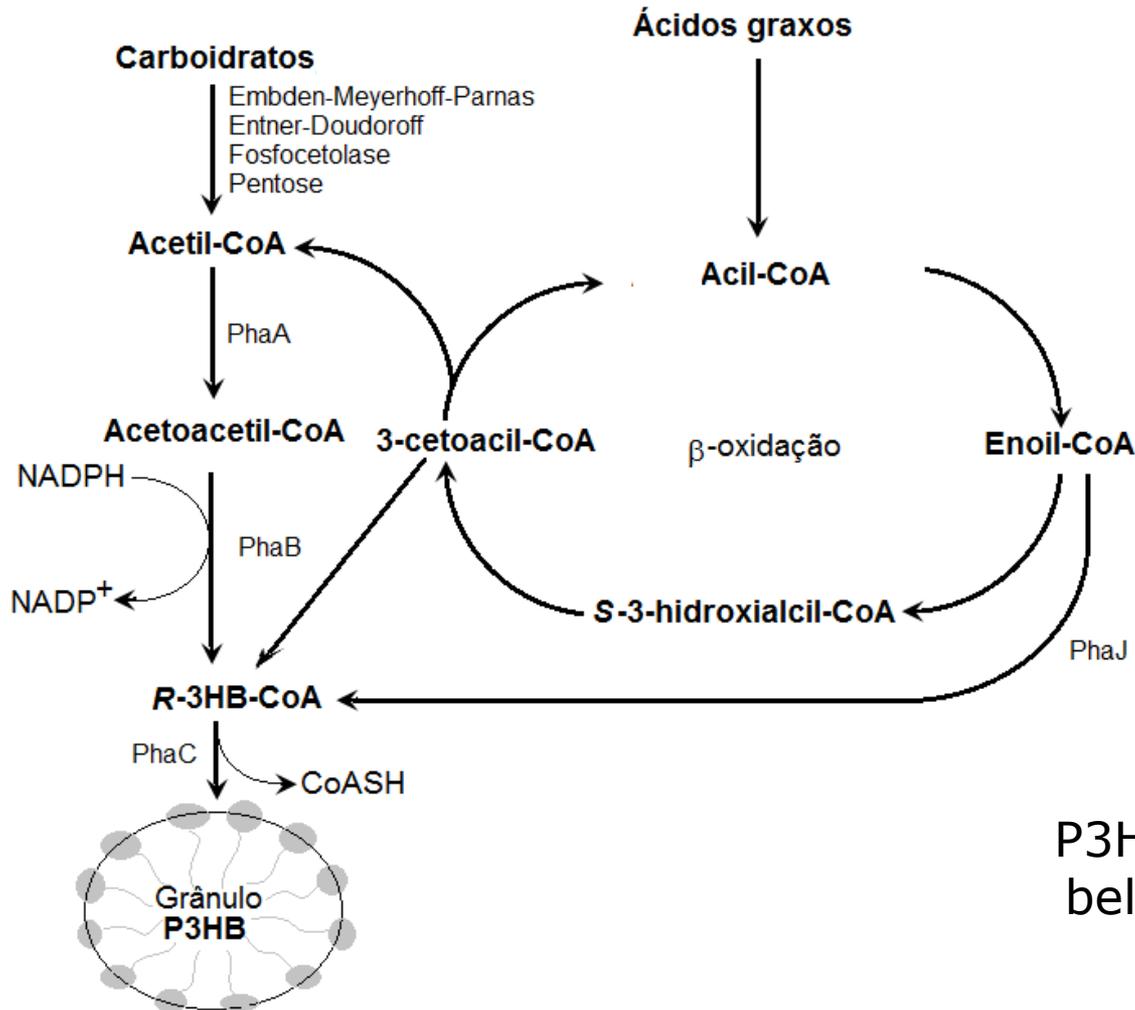
<b>Material</b>	<b>T<sub>m</sub> (°C)</b>	<b>T<sub>g</sub> (°C)</b>	<b>Alongamento para ruptura (%)</b>
<b>P3HB</b>	177	4	5
<b>P3HB-<i>co</i>-10%3HV</b>	150	-	20
<b>P3HB-<i>co</i>-20%3HV</b>	135	-	100
<b>P3HB-<i>co</i>-3%4HB</b>	166	-	45
<b>P3HB-<i>co</i>-10%4HB</b>	159	-	242
<b>P3HB-<i>co</i>-10%3HHx</b>	127	-1	400
<b>P3HB-<i>co</i>-17%3HHx</b>	115	0	760
<b>PP</b>	170	-	400
<b>PEBD</b>	130	-30	620
<b>PET</b>	262	-	730

PHA as tailor-made polymers.

# PHA metabolism

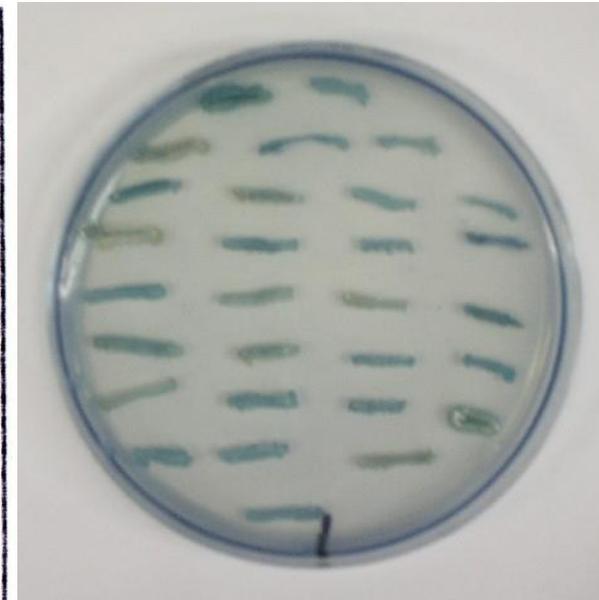
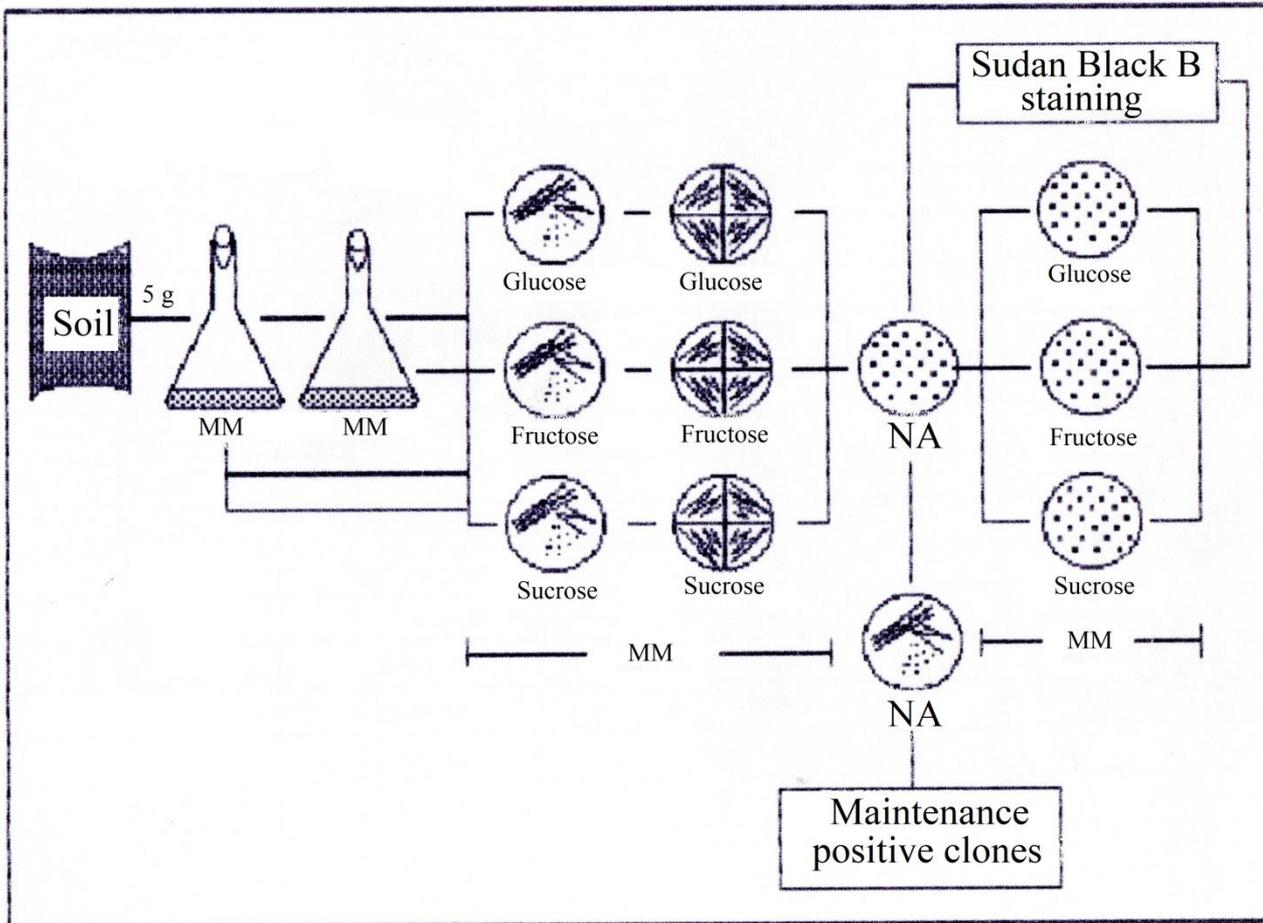


# Naturally produced PHA – P3HB



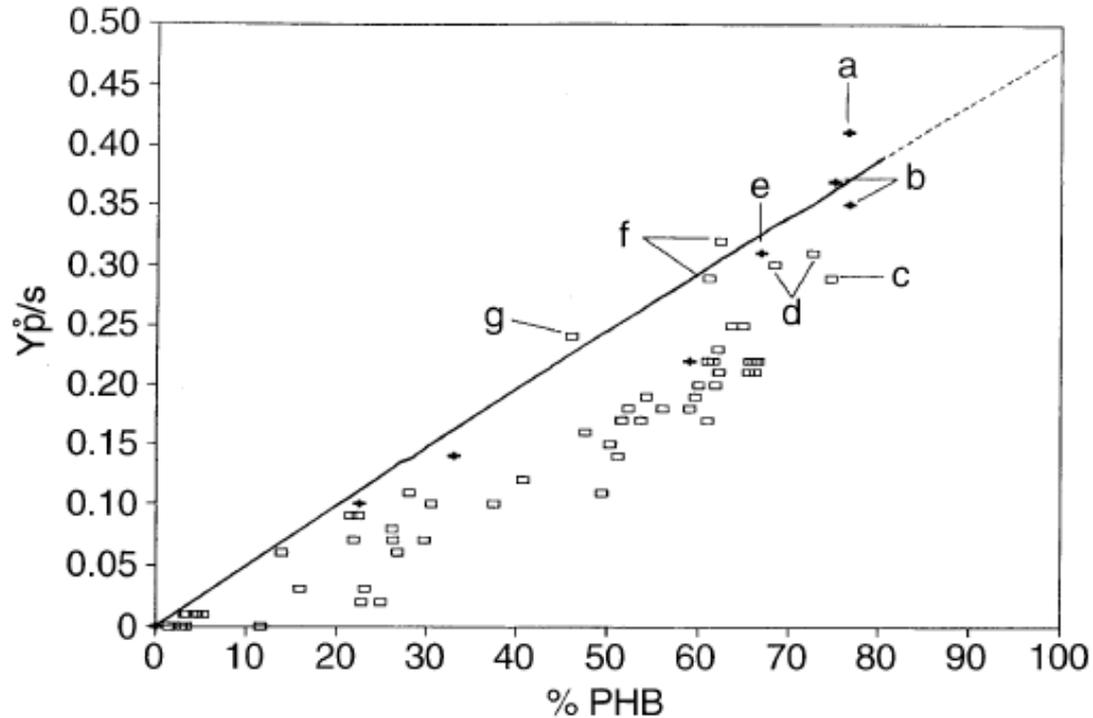
P3HB is produced by bacteria belonging to several genera.

# Screening of PHA producers



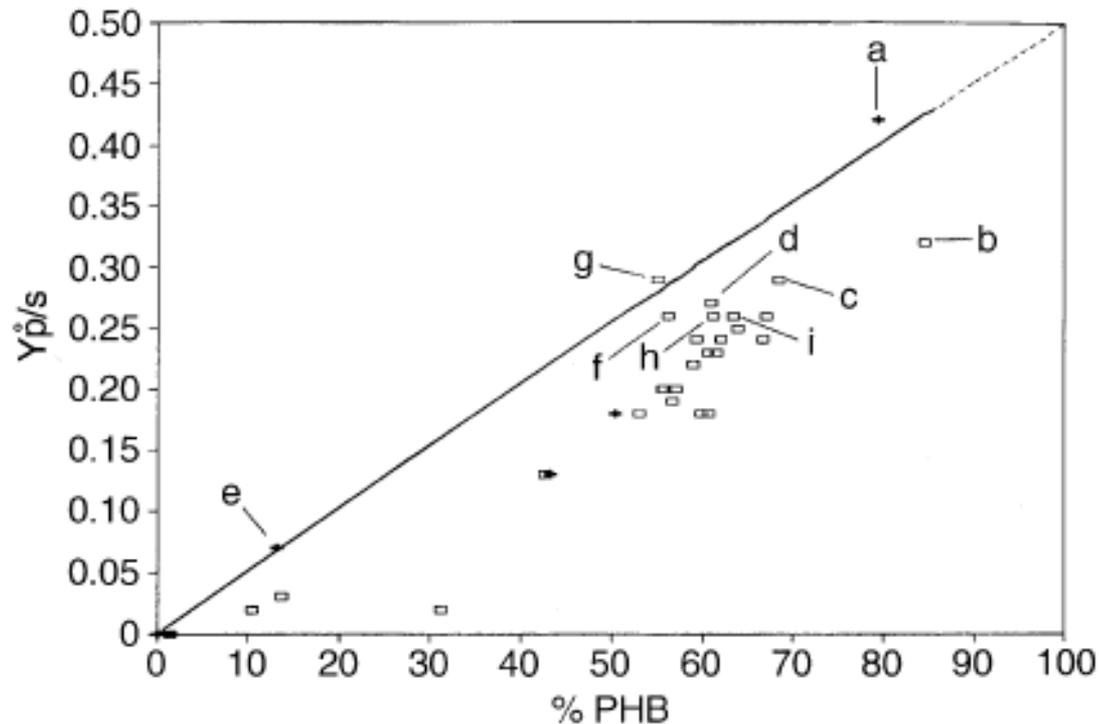


# P3HB production from sugarcane carbohydrates



**Fig. 1** Relation between  $Y_{P/C}^O$  and poly-(3-hydroxybutyrate) (PHB) content for different strains isolated from soil ( $\square$ ) or obtained from the culture collection ( $+$ ) when glucose plus fructose was used as the carbon source. The line represents the values expected when  $Y_{P/C}^T = 0.48$  g/g and  $Y_{X/C} = 0.50$  g/g. Points related to strains *A. latus* DSM 1123 (a), *A. eutrophus* DSM 545 (b), IPT-101 (c), IPT-083 (d), *A. eutrophus* DSM 428 (e), IPT-086 (f), and IPT-055 (g) are indicated

# P3HB production from sugarcane carbohydrates



**Fig. 2** Relation between  $Y_{P/C}^O$  and PHB content for different strains isolated from soil (□) or obtained from the culture collection (+) when sucrose was used as the carbon source. The line represents the expected values when  $Y_{P/C}^T = 0.50$  g/g and  $Y_{X/C} = 0.52$  g/g. Points related to strains *A. latus* DSM 1123 (a), IPT-044 (b), IPT-101 (c), IPT-083 (d), *A. latus* DSM 1122 (e), IPT-076 (f), IPT-055 (g), IPT-040 (h), and IPT-045 (i) are indicated

# A new bacterial species

---

*International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology* (2001), 51, 1709–1713

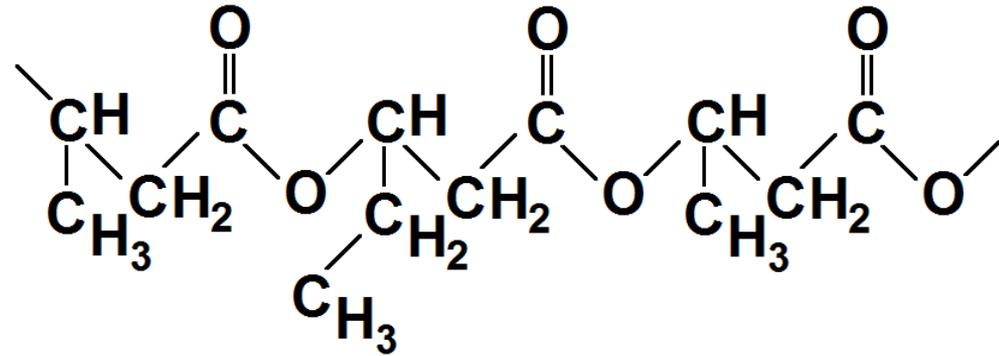
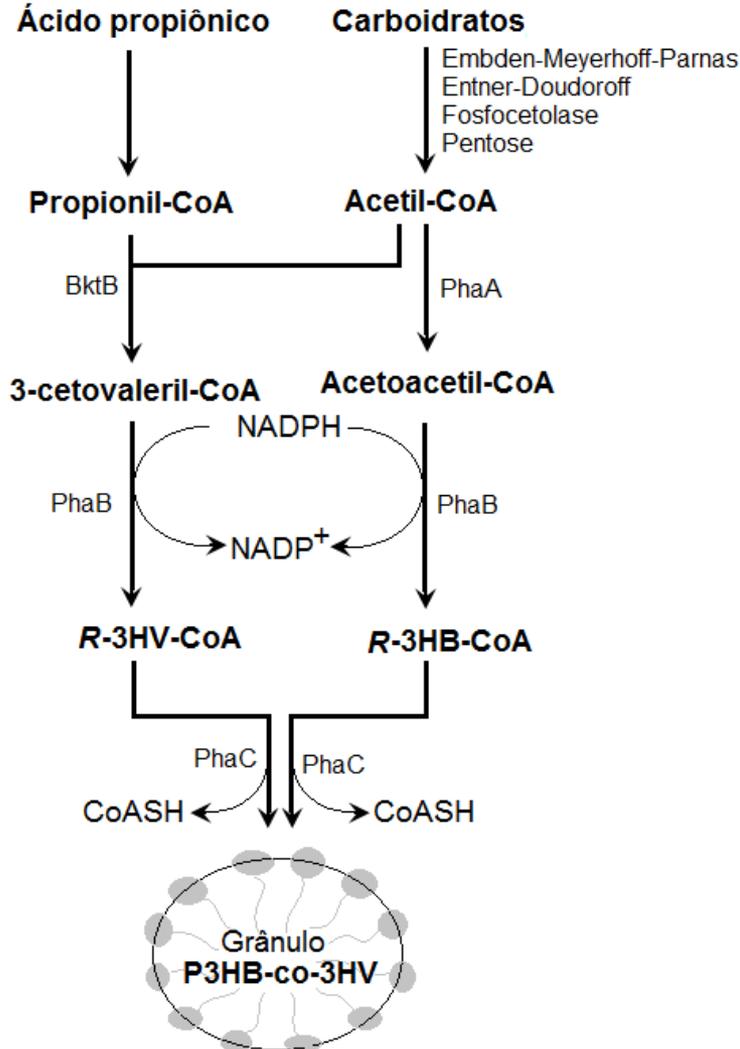
Printed in Great Britain

---

## ***Burkholderia sacchari* sp. nov., a polyhydroxyalkanoate-accumulating bacterium isolated from soil of a sugar-cane plantation in Brazil**

Christian O. Brämer,<sup>1</sup> Peter Vandamme,<sup>2</sup> Luiziana F. da Silva,<sup>3</sup>  
J. Gregório C. Gomez<sup>3</sup> and Alexander Steinbüchel<sup>1</sup>

# Controlling PHA composition – P3HB-co-3HV



The 3HV molar fraction of P3HB-co-3HV can be controlled by the supply of different propionic acid/carbohydrates ratio.

The 3HV molar fraction determines thermomechanical properties of PHA.

# P3HB-co-3HV production from carbohydrates and propionic acid

Strains	CDW (g/l)	Residual carbohydrates (%)	PHA			
			CDW %	3HB (mol%)	3HV (mol%)	$Y_{3HV/PROP}$ (g/g)
<i>A. eutrophus</i> DSM 545	3.92	0.0	71.4	96.1	3.9	0.13
<i>A. latus</i> DSM 1123	0.95	101.8	14.6	55.0	45.0	0.07
<i>P. cepacia</i> DSM 50181	3.35	1.9	38.4	97.3	2.7	0.04
IPT-040	3.77	1.7	32.3	97.1	2.9	0.05
IPT-044	3.92	1.7	51.1	97.1	2.9	0.07
IPT-045	3.73	0.0	49.4	96.2	3.8	0.08
IPT-048	2.97	0.0	44.3	96.2	3.8	0.06
IPT-055	4.27	72.2	1.5	100.0	0.0	0.00
IPT-056	3.60	31.3	30.9	98.5	1.5	0.02
IPT-076	5.06	1.9	56.8	97.1	2.9	0.10
IPT-083	4.89	5.2	56.8	96.9	3.1	0.10
IPT-086 <sup>a</sup>	2.06	75.4	39.0	89.9	10.1	0.09
IPT-098	5.90	0.0	17.7	94.7	5.3	0.07
IPT-101	2.98	41.8	32.3	95.4	4.6	0.05

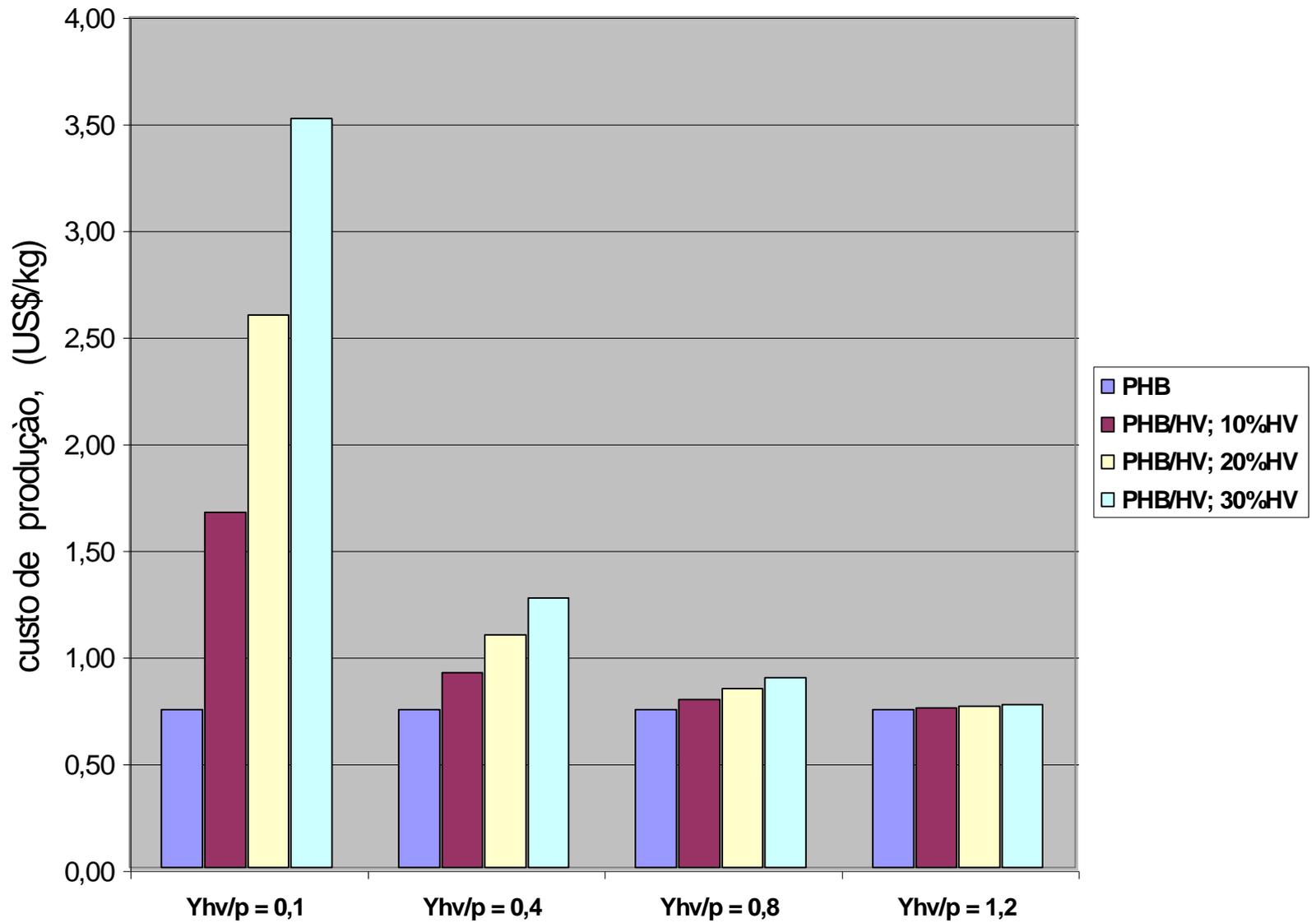
<sup>a</sup> Fructose instead of glucose was supplied

Maximum theoretical yield = 1.35 g/g

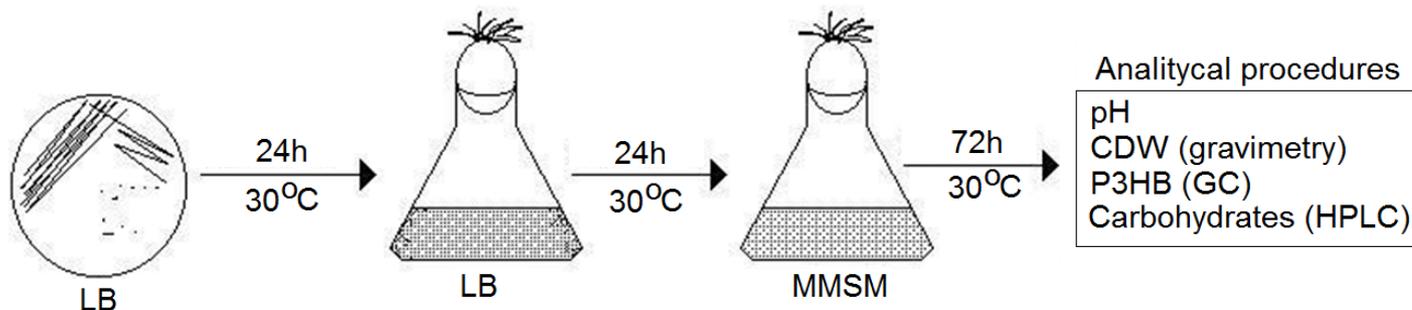
# P3HB-co-3HV production from carbohydrates and propionic acid

Efficiency of *B. sacchari* mutants in converting propionic acid to 3HV units.

Strain	Phenotype	Results			
		3HB mol%	3HV mol%	$Y_{3HV/prp}$ (g/g) <sup>c</sup>	
IPT 101 <sup>d</sup>	wild type	93.8	6.2	0.10	
IPT 183	I	84.1	15.9	0.34	
IPT 185	II	82.6	17.4	0.35	
IPT 190	III	80.1	19.9	0.37	
IPT-195	IV	39.0	61.0	0.81	
IPT 196	IV	33.2	66.8	0.78	
IPT 189	IV	44.7	55.3	0.81	Silva <i>et al.</i> , 2000
IPT 189	feeding strategies of suc/prp			1.34	Rocha <i>et al.</i> , 2008







$$Y_{\text{PHA/G}}^{\text{G}} = \frac{\% \text{PHA}}{\frac{100}{Y_{\text{Xr/G}}} - \frac{\% \text{PHA}}{Y_{\text{Xr/G}}} + \frac{\% 3\text{HHx}}{Y_{3\text{HHx/G}}} + \frac{\% 3\text{HO}}{Y_{3\text{HO/G}}} + \frac{\% 3\text{HD}}{Y_{3\text{HD/G}}} + \frac{\% 3\text{HDd}}{Y_{3\text{HDd/G}}}}$$

**Table 1.** Production of PHA<sub>MCL</sub> from carbohydrates by some sugarcane soil isolates.

Bacterial strain	CDW (g/L)	PHA composition (mol%)				PHA (%CDW)	Y <sub>PHA/G</sub> <sup>G</sup> (g/g)	%Y <sub>MAX</sub>
		3HHx	3HO	3HD	3HDd			
KT2440	3.96	3.25	12.48	79.88	4.39	48.52	0.127	60.0
LFM046	3.72	5.01	21.85	71.83	1.31	60.51	0.161	62.9
LFM047	2.21	1.72	22.88	61.81	13.58	13.99	0.023	34.3
LFM050	2.50	0.92	15.98	67.75	15.35	18.55	0.037	41.9
LFM065	4.06	0.00	8.88	87.81	3.30	30.52	0.084	60.6

CDW – Cell dry weight      3HHx - 3-hydroxyhexanoic acid      3HO - 3-hydroxyoctanoic acid  
 3HD - 3-hydroxydecanoic acid      3HDd - 3-hydroxydodecanoic acid      Y<sub>PHA/G</sub><sup>G</sup> – global PHA yield from glucose  
 %Y<sub>MAX</sub> - percentual of the maximum theoretical yield.

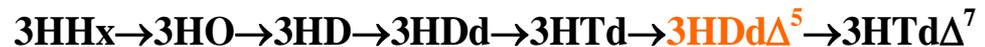
# PHA de óleos vegetais

---

## Constituintes formados que podem ser incorporados

---

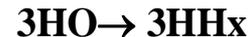
*Glicerol*



Ácidos graxos

---

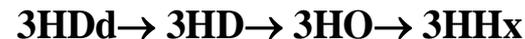
Octanóico (C8)



Decanóico (C10)



Dodecanóico (C12)



Mirístico (C14)



Palmítico (C16)



Esteárico (C18)



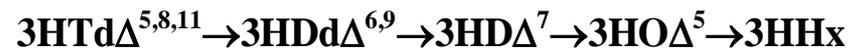
Oleico (C18 $\Delta^9$ )



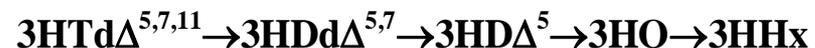
Linoleico (C18 $\Delta^{9,12}$ )



Linolênico (C18 $\Delta^{9,12,15}$ )



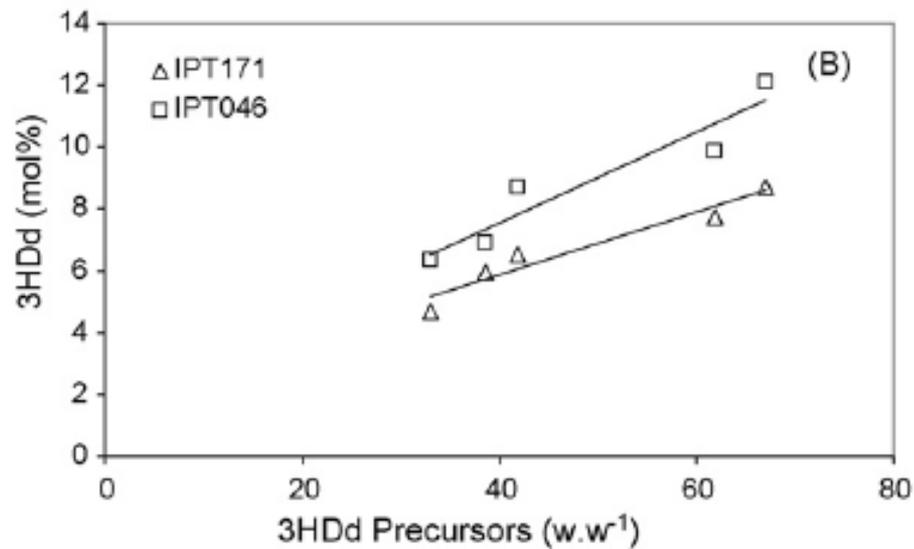
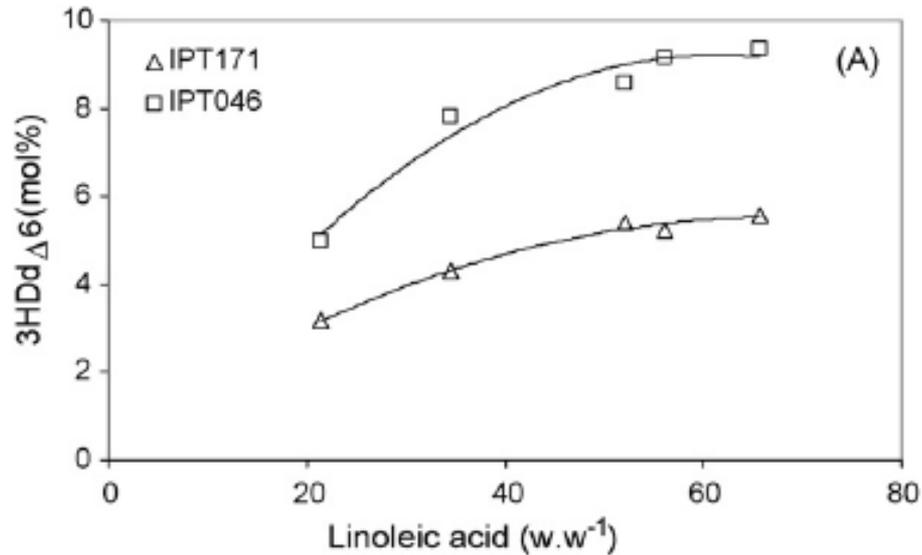
$\alpha$ -eleosteárico (C18 $\Delta^{9,11,13}$ )



Ricinoleico (C18;12 hidroxi - $\Delta^9$ )



# Análise de fluxos - Balanços metabólicos



# Genomic scale metabolic networks



## Draft Genome Sequence of *Pseudomonas* sp. Strain LFM046, a Producer of Medium-Chain-Length Polyhydroxyalkanoate

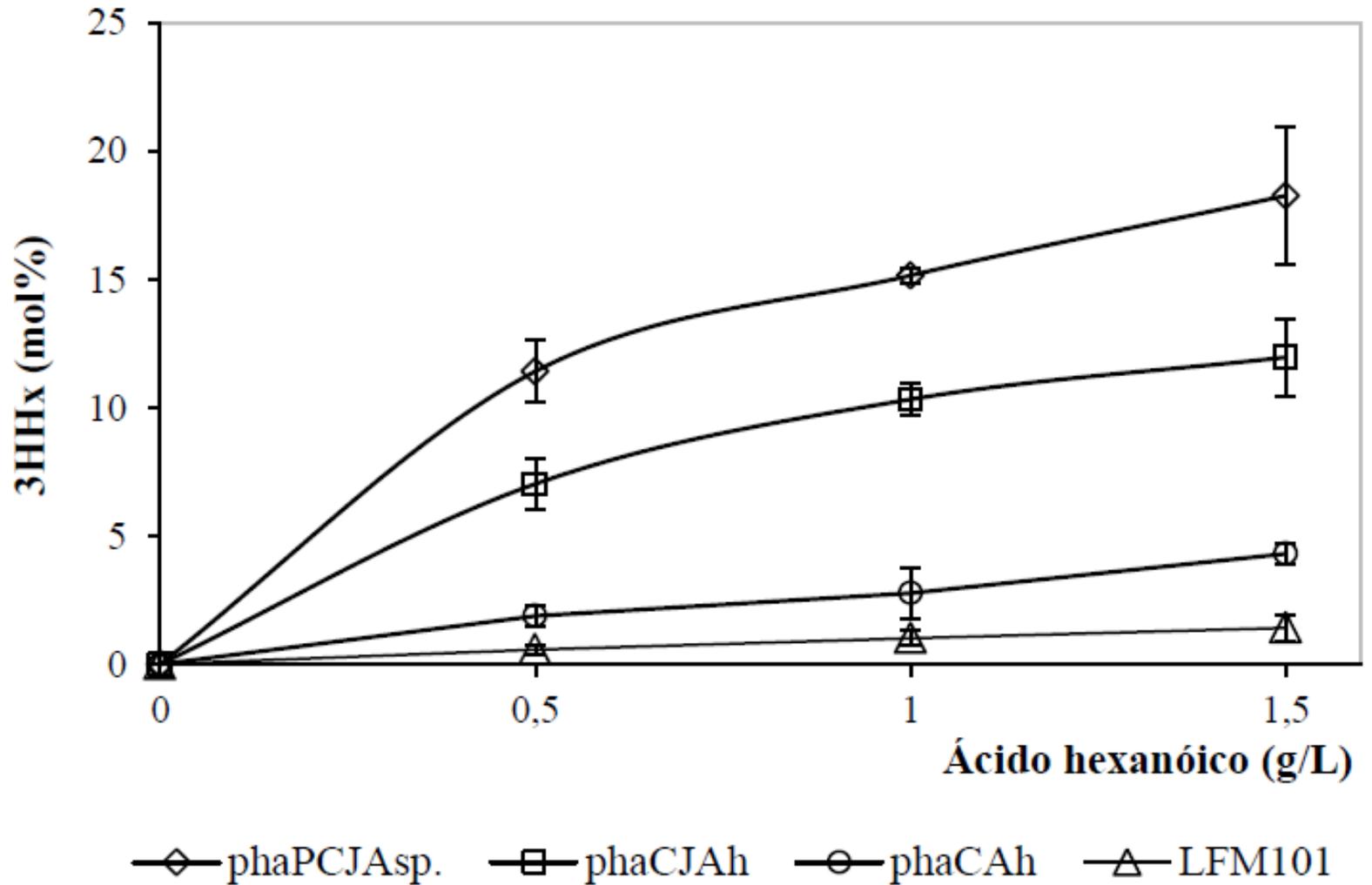
Julliana Cardinali-Rezende,<sup>a</sup> Paulo Moises Raduan Alexandrino,<sup>a,b</sup> Rafael Augusto Theodoro Pereira de Souza Nahat,<sup>a</sup> Débora Parrine Vieira Sant'Ana,<sup>a\*</sup> Luízlana Ferrelra Silva,<sup>a</sup> José Gregório Cabrera Gomez,<sup>a</sup> Marilda Kelco Taciro<sup>a</sup>

Institute of Biomedical Sciences, University of São Paulo, São Paulo, Brazil<sup>a</sup>; Department of Computer Science, Institute of Mathematics and Statistics, University of São Paulo, São Paulo, Brazil<sup>b</sup>

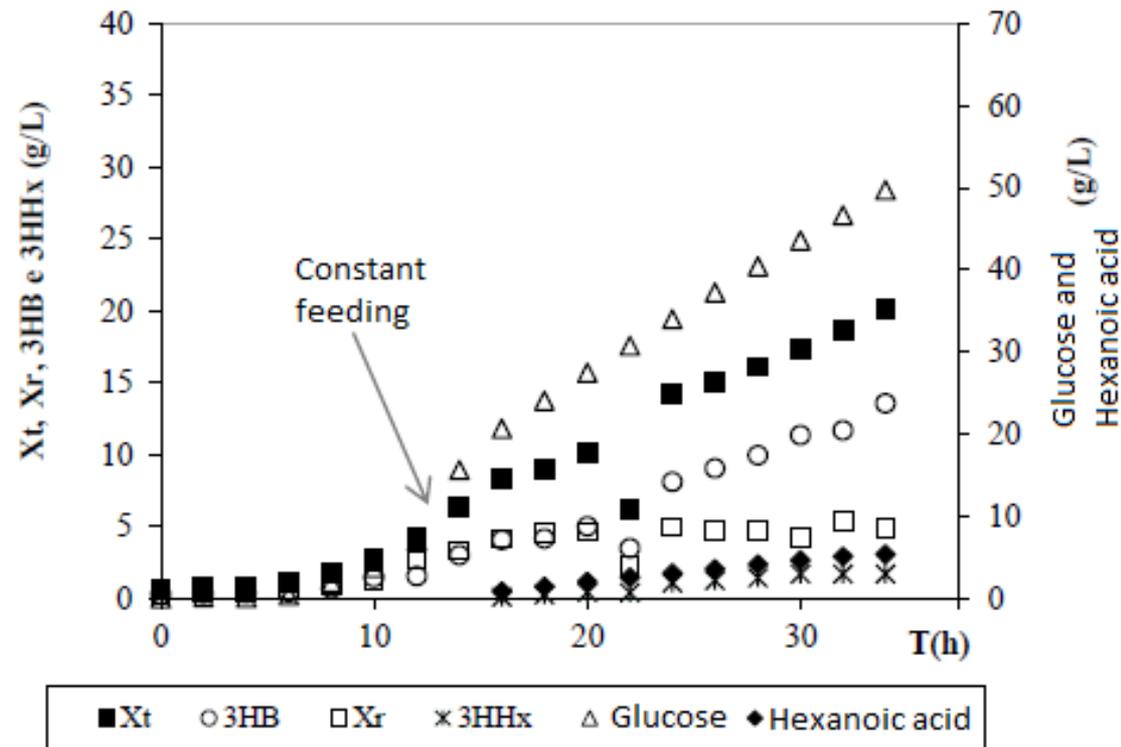
\* Present address: Débora Parrine Vieira Sant'Ana, Department of Bioresource Engineering, McGill University, Montreal, Quebec, Canada.



# PHA production by *Burkholderia sacchari*



## PHA production by *Burkholderia sacchari*

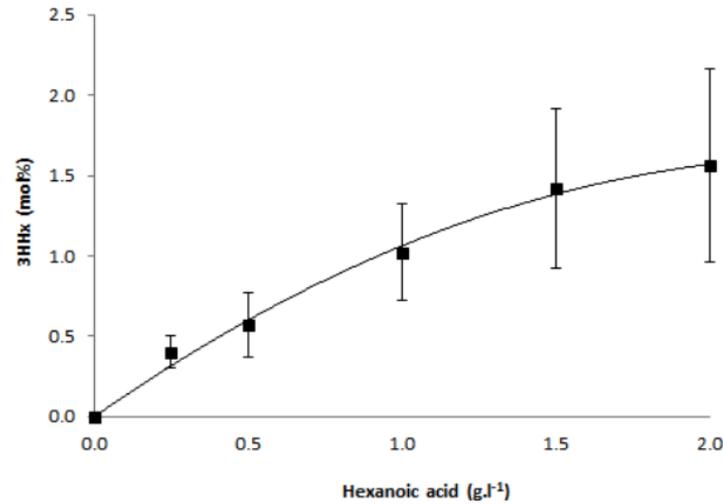


**Table 3**

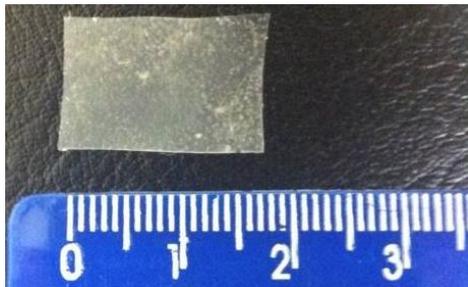
Summary of bioreactor experiments to modulate the composition of P(3HB-co-3HHx) produced by *B. sacchari* pBBR2phaPCJ<sub>Asp</sub>, supplied with feeding solutions containing different concentrations of hexanoic acid.

Bioreactor cultivation	Time (h)	$X_t$ (g l <sup>-1</sup> )	%PHA (CDW)	PHA (g l <sup>-1</sup> )	3HHx (mol%)	$\mu X_r$ (h <sup>-1</sup> )	$\mu$ PHA (mg g <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> )	$Y_{X_r/Gli}$ (g g <sup>-1</sup> )	$Y_{3HB/Gli}$ (g g <sup>-1</sup> )	$Y_{3HHx/AHex}$ (g g <sup>-1</sup> )	P (g l <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> )
B1	27	17.84	71.76	12.80	19.69	0.23	161.3	0.156	0.320	0.503	0.47
B2	32	17.63	69.55	12.26	13.57	0.20	118.6	0.138	0.267	0.408	0.38
B3	34	20.13	75.85	15.27	10.25	0.21	173.6	0.113	0.311	0.366	0.45
B4	32	18.17	73.46	13.35	5.85	0.22	131.0	0.128	0.323	0.493	0.42
B5	32	16.24	76.92	12.49	-	0.20	117.9	0.097	0.313	-	0.39

# PHA production by *Burkholderia sacchari*



**Figure 4** Profile accumulation of monomers and 3HHx *Burkholderia sacchari* from glucose (10 g.l<sup>-1</sup>) and hexanoic acid (1 g.l<sup>-1</sup>) in mineral medium. (■) poly-3-hydroxyhexanoate (3HHx) molar percentage (mol%).



Journal of  
Applied Microbiology

Journal of Applied Microbiology ISSN 1364-5072

ORIGINAL ARTICLE

## Exploring the potential of *Burkholderia sacchari* to produce polyhydroxyalkanoates

T.T. Mendonça<sup>1</sup>, J.G.C. Gomez<sup>1</sup>, E. Buffoni<sup>1</sup>, R.J. Sánchez Rodriguez<sup>2</sup>, J. Schripsema<sup>3</sup>, M.S.G. Lopes<sup>1</sup> and L.F. Silva<sup>1\*</sup>

International Journal of Biological Macromolecules 98 (2017) 654–663

Contents lists available at ScienceDirect



International Journal of Biological Macromolecules

journal homepage: [www.elsevier.com/locate/ijbiomac](http://www.elsevier.com/locate/ijbiomac)

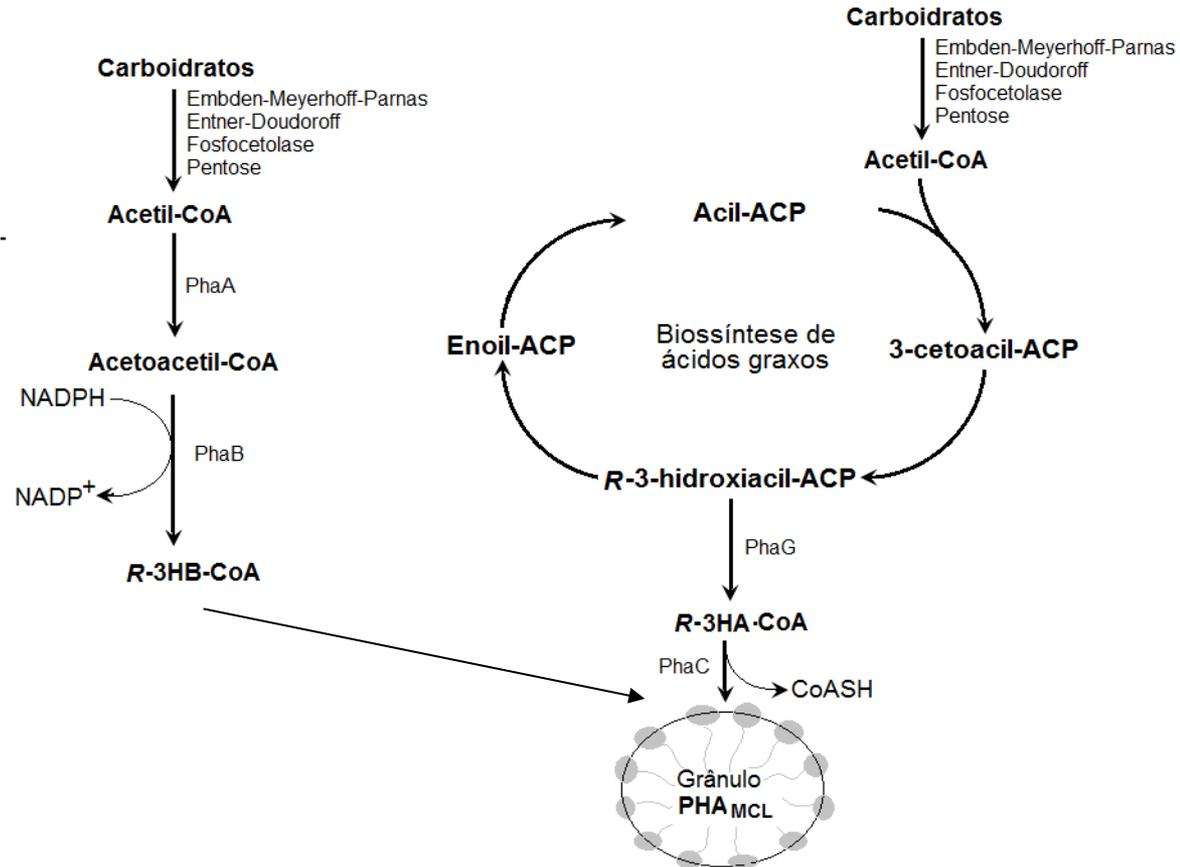
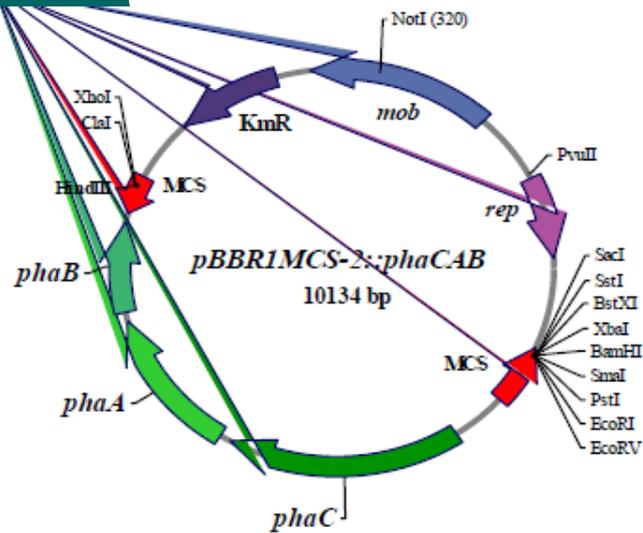


Combining molecular and bioprocess techniques to produce poly(3-hydroxybutyrate-co-3-hydroxyhexanoate) with controlled monomer composition by *Burkholderia sacchari*

Thatiane T. Mendonça<sup>1</sup>, Rafaela R. Tavares<sup>2,1</sup>, Lucas G. Cespedes<sup>3</sup>, Ruben J. Sánchez-Rodríguez<sup>3</sup>, Jan Schripsema<sup>3</sup>, Marilda K. Taciro<sup>3</sup>, José G.C. Gomez<sup>2</sup>, Luiziana F. Silva<sup>2,4\*</sup>



# *Pseudomonas* sp. abrigando genes de *R. eutropha*

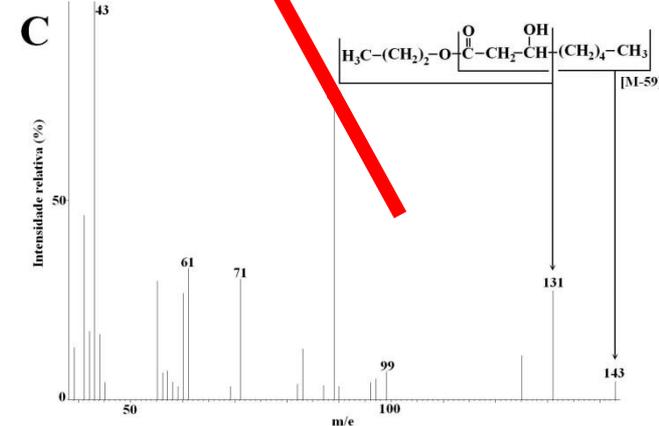
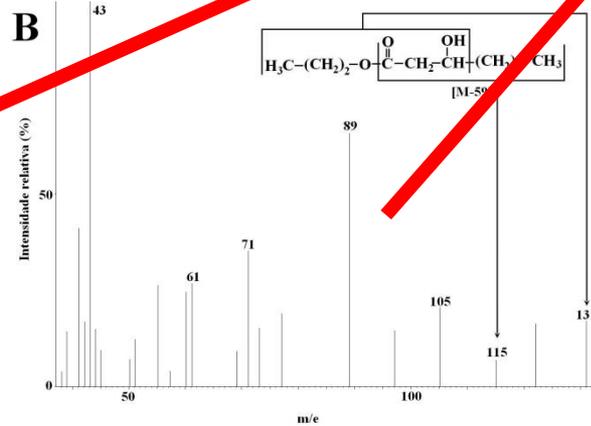
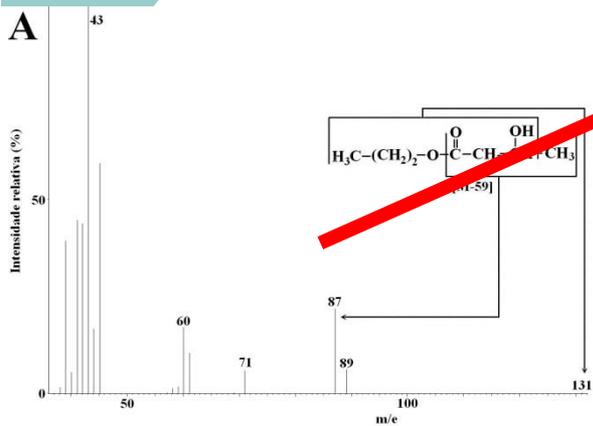


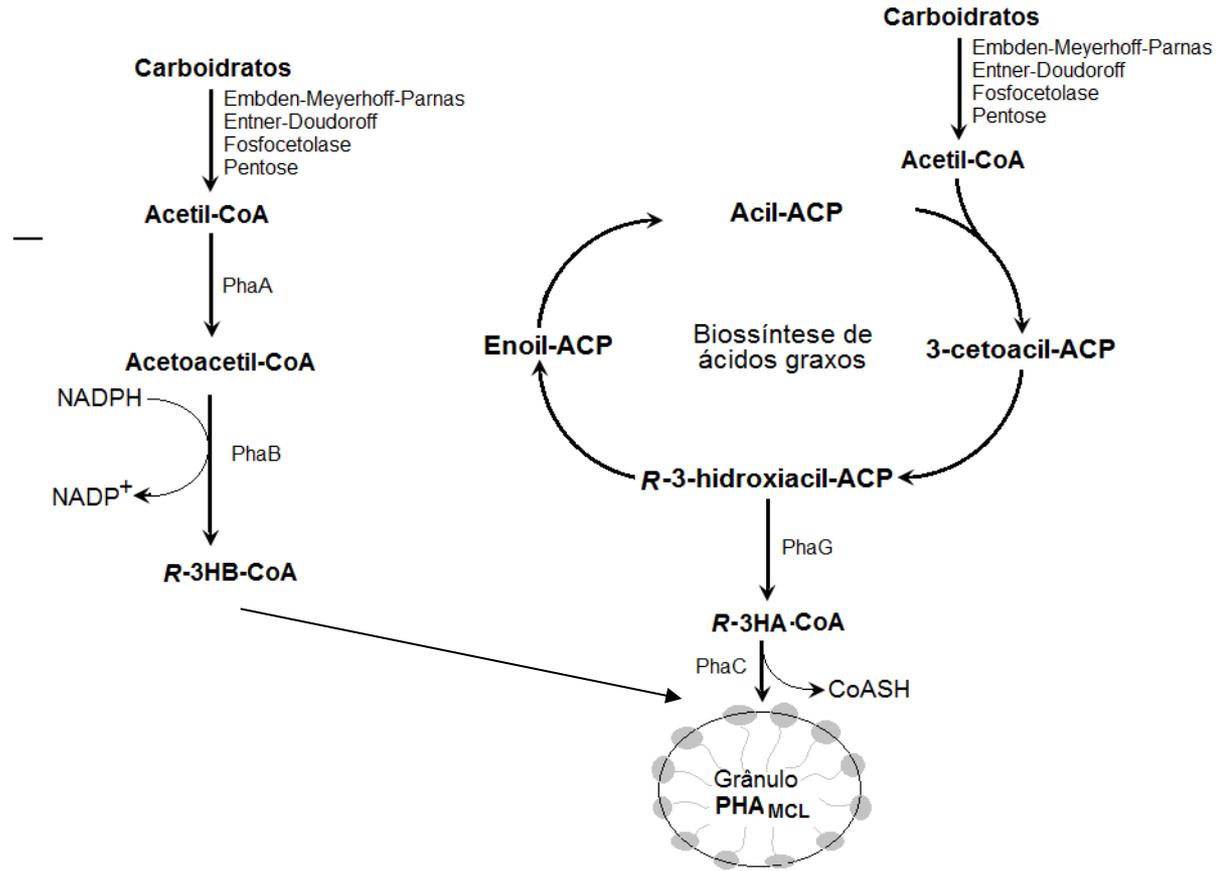
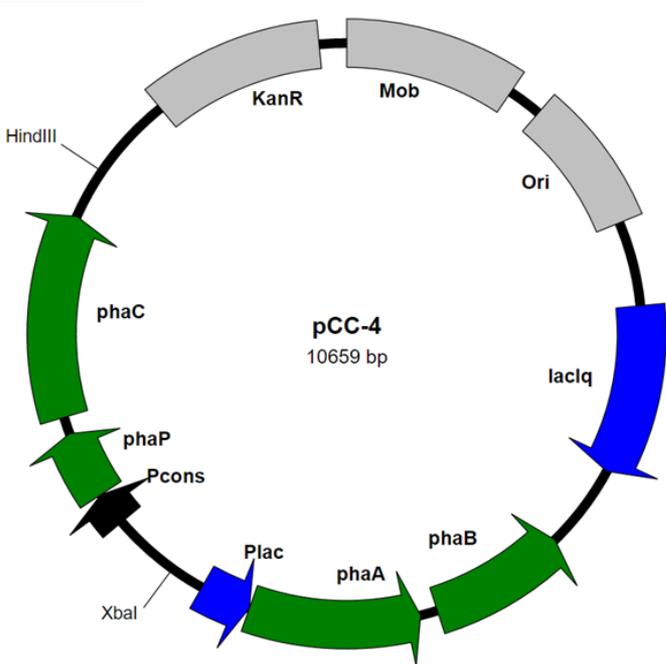
# *Pseudomonas* sp. abrigando genes de *R. eutropha*

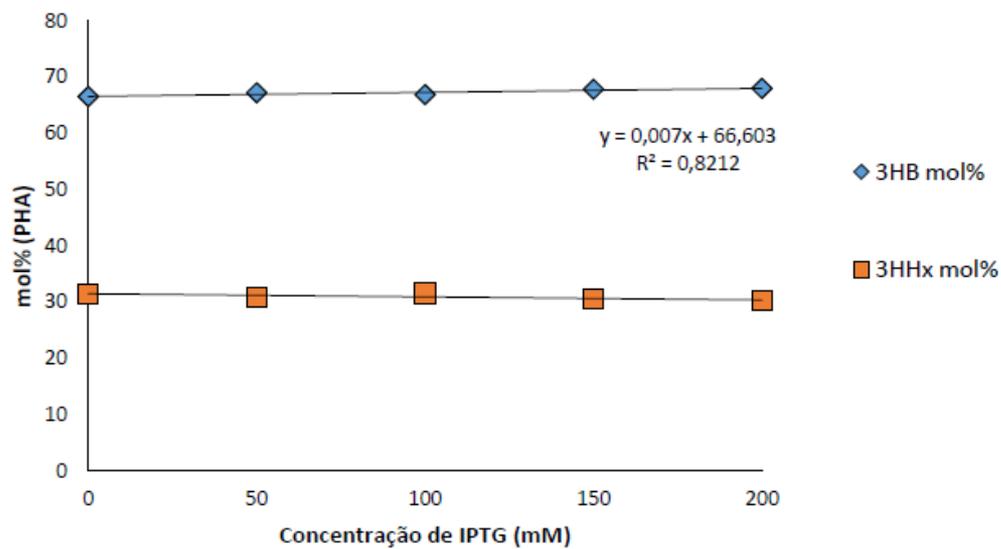
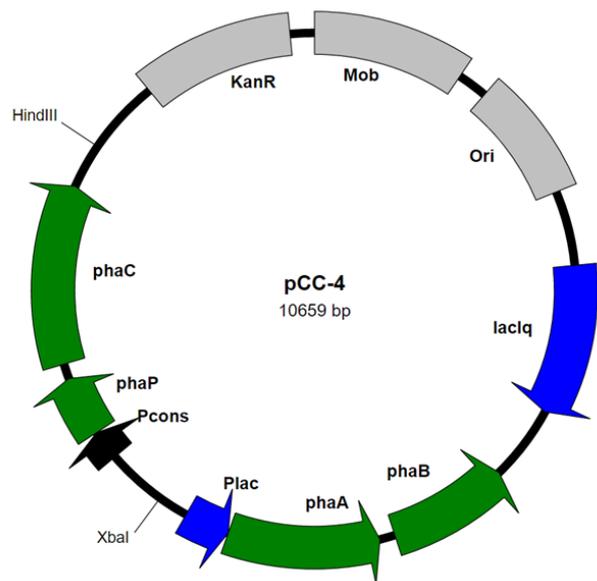
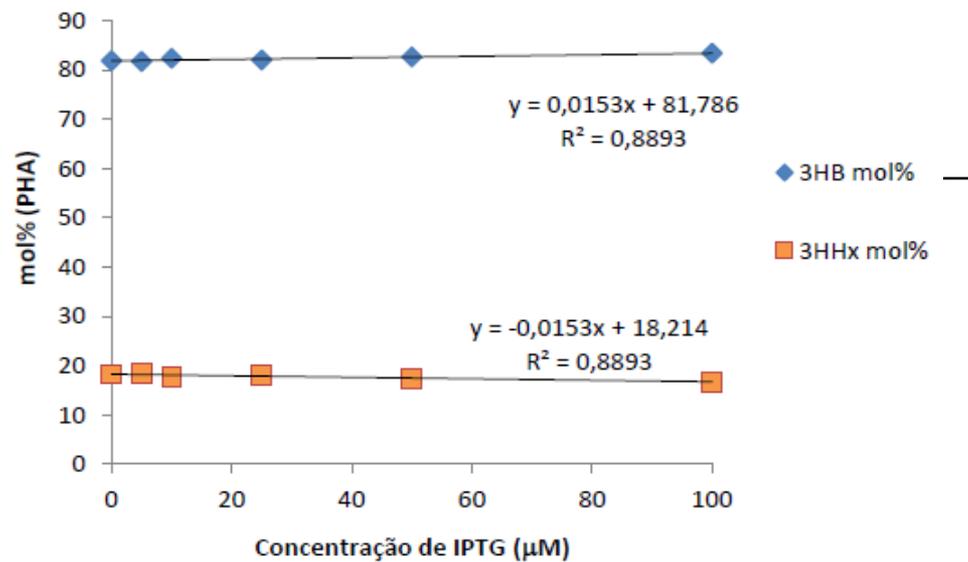
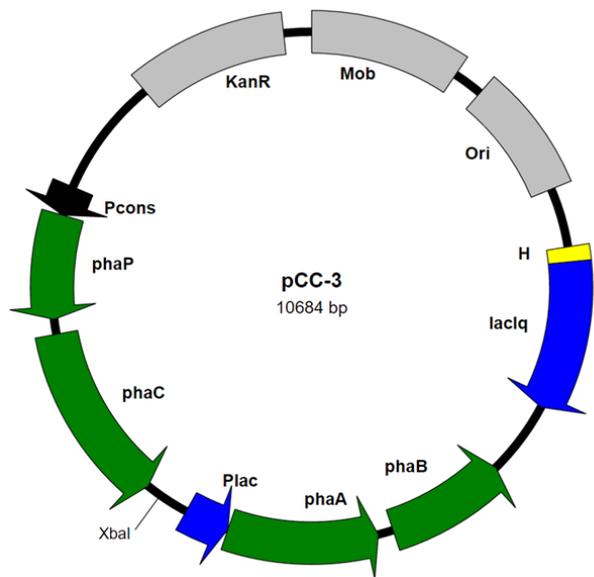
**Tabela 3.** Composição de PHA produzido. Análise de células liofilizadas e polímero purificado.

Linhagens recombinantes	Fonte de carbono	Material	PHA (mol%)				
			3HB	3HHx	3HO	3HD	3HDd
<i>Pseudomonas</i> sp. LFM046 pBBR1MCS-2	Octanoato	Cel. Liof.	0,71	13,69	73,72	9,95	1,34
		Polímero	0,86	14,35	75,14	9,65	Tr
<i>Pseudomonas</i> sp. LFM046 pBBR1MCS-2:: <i>phaB</i>	Octanoato	Cel. Liof.	0,00	15,13	57,02	12,10	15,76
		Polímero	2,75	20,52	74,99	1,73	Tr
<i>Pseudomonas</i> sp. LFM461 pBBR1MCS-2	Glicose	Cel. Liof.	0,00	0,00	0,00	47,99	52,01
		Polímero	-	-	-	-	-
<i>Pseudomonas</i> sp. LFM461 pBBR1MCS-2:: <i>phaC</i>	Glicose	Cel. Liof.	91,59	4,10	3,28	1,03	Tr
		Polímero	92,38	4,33	3,29	0,00	0,00

3HB – 3-hidroxibutirato      3HD – 3-hidroxidodecanoato      Polímero – polímero purificado.  
 3HHx – 3-hidroxihexanoato      3HDd – 3-hidroxidodecanoato      Cel. Liof. – células liofilizadas  
 3HO – 3-hidroxi octanoato

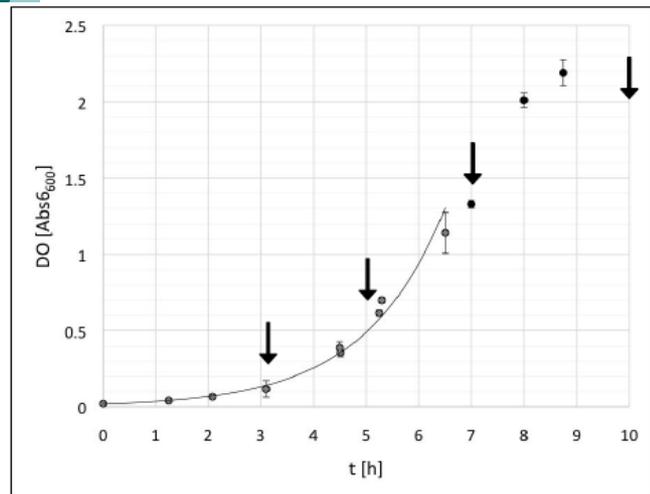
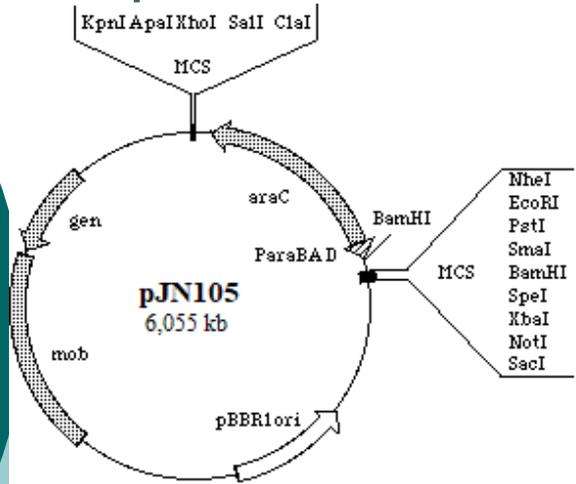




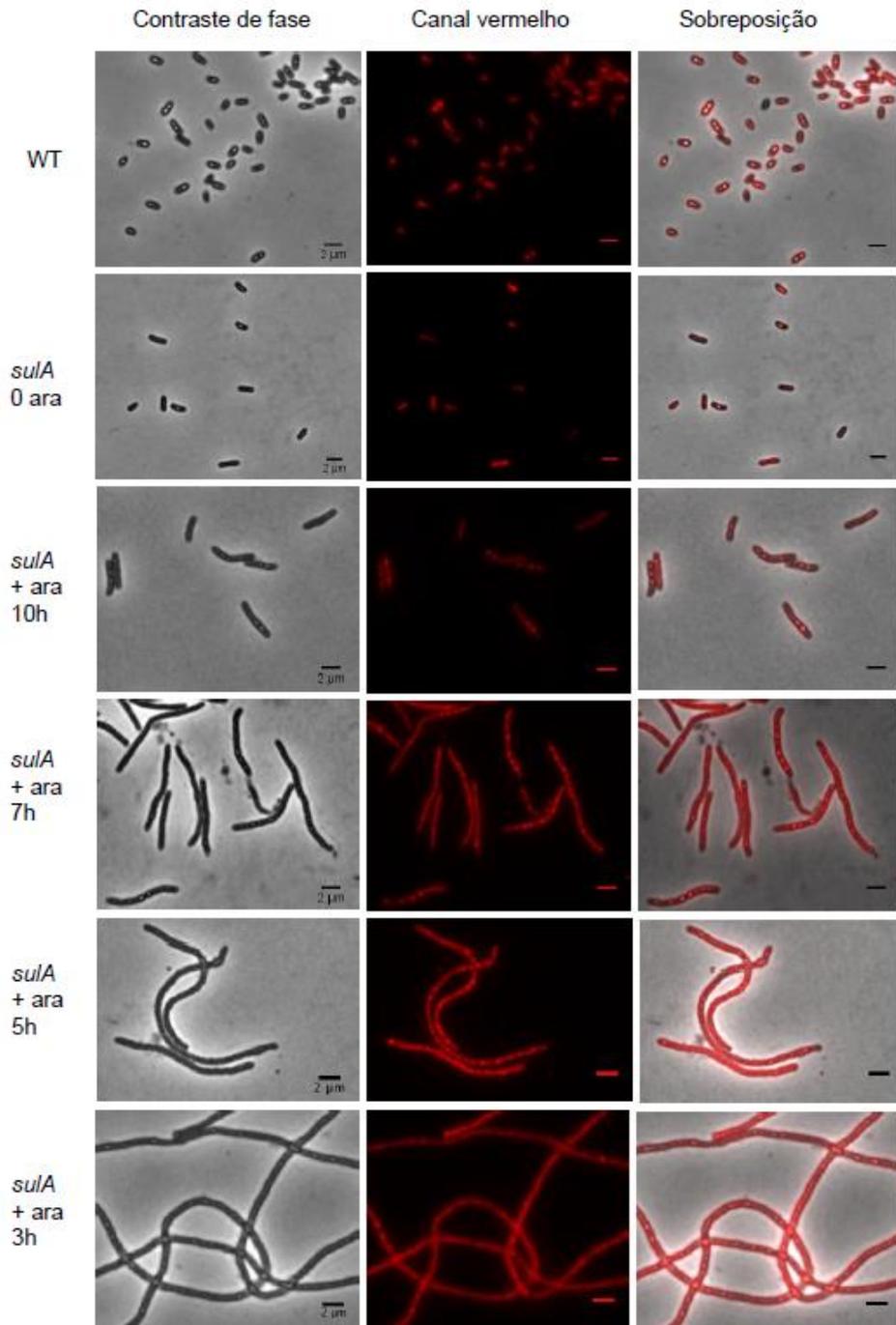


# *Pseudomonas* sp. LFM046

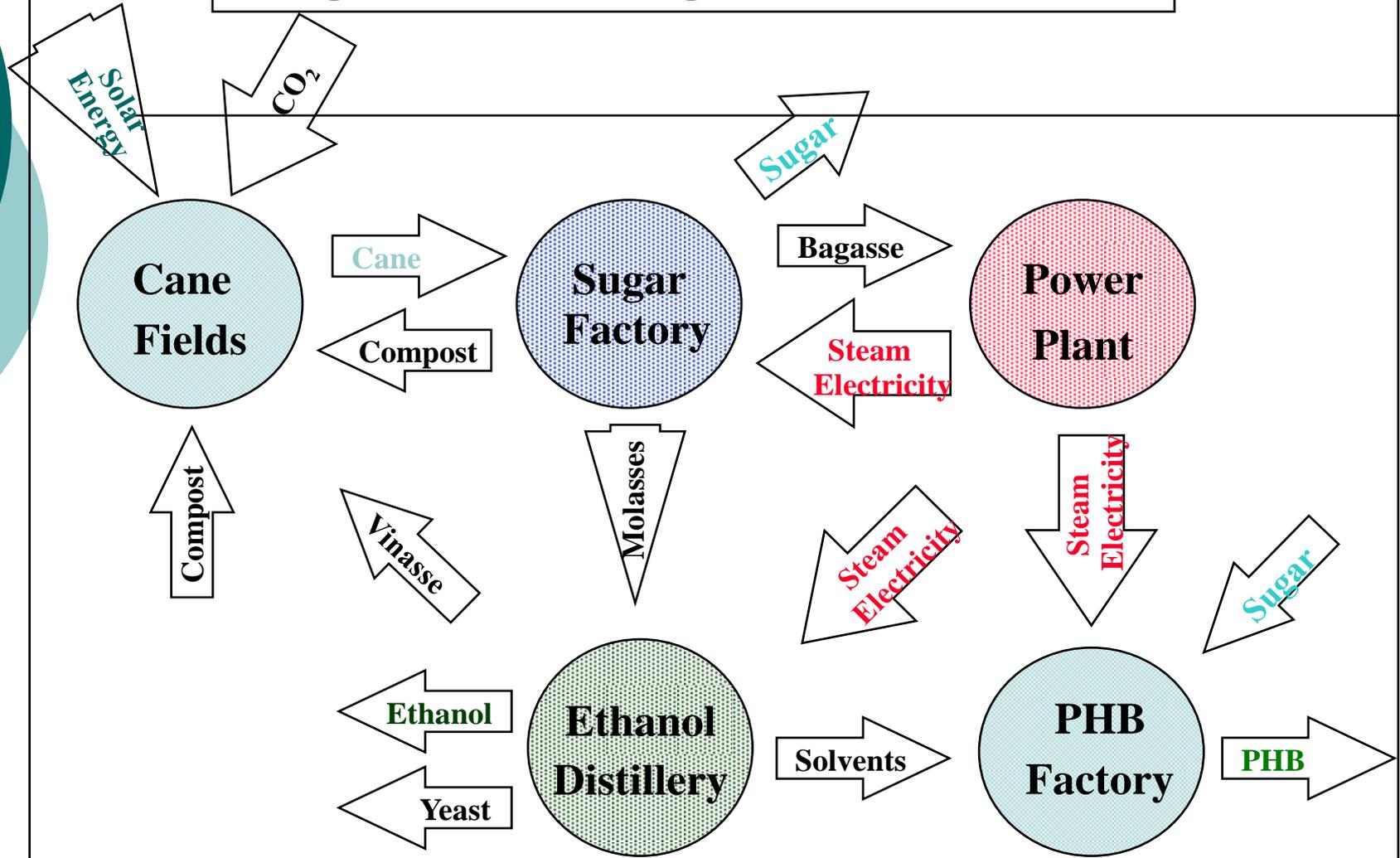
## pJN105::*sulA*



Imagens de microscopia de cultivos de *Pseudomonas* sp. LFM046:pJN105*sulA* com adição de L-arabinose em diferentes tempos de cultivo. As amostras foram retiradas após 72h de cultivo em meio para acúmulo de PHA com adição de L-arabinose (ara) 20 mM após 3h, 5h, 7h e 10h de cultivo ou sem adição, como indicado na figura. As amostras foram coradas com o corante de PHA Nile Red e analisadas em microscópio de fluorescência. Barra de escala de 2  $\mu$ m.



# Integrated PHB, Sugar and Ethanol Mill









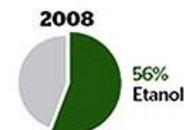
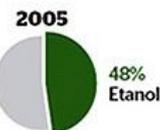


# Como funciona uma usina de álcool

Do canavial ao posto de gasolina, todas as fases da produção

## açúcar x álcool

A proporção de cana que vira etanol ou açúcar varia conforme o preço. Hoje, a vantagem é do etanol



**ENERGIA**  
O bagaço, adicionado à palha que foi recolhida na limpeza, abastece caldeiras de alta pressão, que alimentam turbinas e, assim, fornecem toda a eletricidade necessária ao funcionamento da usina. A sobra é vendida a concessionárias de eletricidade

### 1 CANA-DE-AÇÚCAR

Colhida entre fins de março e começo de dezembro no Estado de São Paulo. Na média, são 86 toneladas por hectare. O valor dessa matéria-prima está no teor de sacarose contido no caule da planta

### 2 SEPARAÇÃO E PESAGEM

Na entrada da usina, os caminhões são pesados, calculando-se a remuneração do fornecedor independente, assim como o valor que corresponde aos cortadores que trabalham na colheita manual

### 3 LIMPEZA

Restos de palha, gravetos, areia, pedriscos e terra são removidos por lavagem em esteiras contínuas. Essa água é reciclada e circula várias vezes, em circuito fechado. Hoje, o processo industrial consome menos de 20% da água que era necessária 30 anos atrás

### 4 PICADORES

Os caules são picados em toletes de comprimento mais ou menos regular, etapa importante para melhor aproveitamento do processo automático que vem a seguir

### 5 SEPARAÇÃO

Moendas separam o caldo, que nada mais é que a garapa vendida nas feiras livres. Sobram 250 quilos de bagaço por tonelada de cana

### 6 BANHO QUÍMICO

Começa o tratamento do caldo. A primeira parada é nos misturadores, onde se adicionam substâncias químicas que uniformizam o líquido e forçam o depósito, no fundo do tanque, dos traços de celulose que acompanharam o caldo

### 7 PURIFICAÇÃO

A seguir se retiram os aditivos químicos da fase anterior, que também são reciclados e aproveitados várias vezes. Na seqüência do processo industrial, entram somente substâncias naturais

### 9 DESTILAÇÃO

Calor e alta pressão gerada nas caldeiras fazem o salto definitivo do processo físico-químico que libera o biocombustível. As torres de destilação são feitas de aço inoxidável e representam a parte mais sofisticada do equipamento da usina

### HIDRATADO

Na saída da destilação, o etanol traz uma porcentagem de água, na transformação química. Essa parte, geralmente entre 4% e 6%, integra o combustível chamado álcool hidratado

### ANIDRO

Álcool desidratado em processamento adicional, serve para a mistura de 23% na gasolina brasileira. Algumas usinas preferem desidratar todo o seu álcool e, depois, acrescentar água pura quando vendem uma partida de "hidratado"

### 10 ARMAZENAGEM E LOGÍSTICA

A rede brasileira de dutos é limitada. As usinas precisam de grandes instalações para armazenagem. Mais: o escoamento se faz basicamente por caminhões no Brasil, enquanto os Estados Unidos aproveitam hidrovias e uma gigantesca malha de dutos



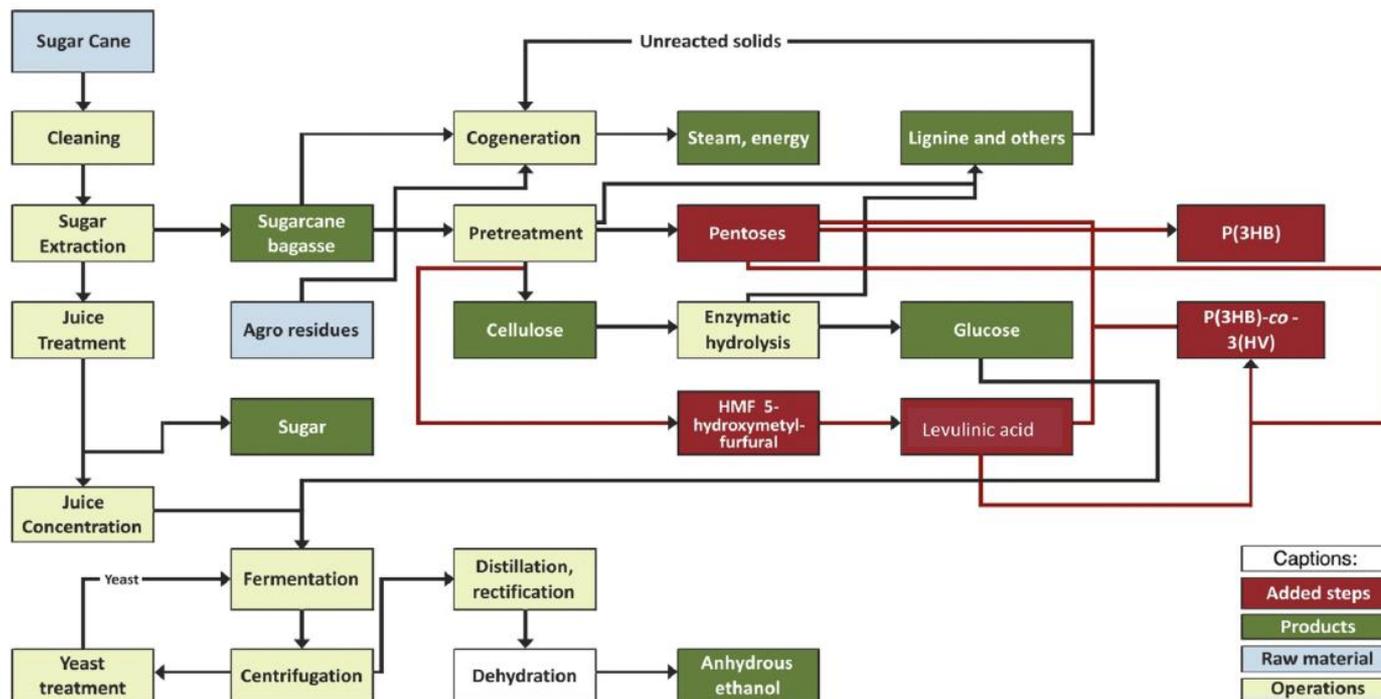
R. V. Nonato · P. E. Mantelatto · C. E. V. Rossell

**Integrated production of biodegradable plastic, sugar and ethanol**

**A green cycle for simultaneous poly 3-hydroxybutyric acid, sugar and ethanol production**

Perspectives on the production of polyhydroxyalkanoates in biorefineries associated with the production of sugar and ethanol

Luiziana Ferreira Silva<sup>a,\*</sup>, Marilda Keico Taciro<sup>a</sup>, Gil Raicher<sup>a</sup>,  
 Rosane Aparecida Moniz Piccoli<sup>b</sup>, Thatiane Teixeira Mendonça<sup>a</sup>,  
 Mateus Schreiner Garcez Lopes<sup>a,1</sup>, José Gregório Cabrera Gomez<sup>a</sup>



**Fig. 1.** Steps integrating ethanol and biopolymer production from sugarcane in the context of a biorefinery (modified from Kam & Kam, 2006 [84] by Raicher [82]). Sugar is extracted from the sugarcane, leaving the concentrated juice and bagasse. The concentrated juice is subjected to yeast fermentation to ethanol. Yeast is recycled to a new fermentation. The bagasse and other agricultural residues, such as sugarcane leaves, can have two destinations: cogeneration of steam and energy for the plant, or pretreatment to release cellulose, pentoses and hydroxy methylfurfural (HMF). Cellulose can be hydrolyzed enzymatically, releasing glucose that can be used in the production of ethanol 2G. From HMF, levulinic acid can be produced and used, associated to the pentoses, in the production of PHA.

# Produção de 1,3-propanodiol

## Processo biotecnológico:

- Produção de propanodiol a partir do glicerol, por exemplo
- Bactérias produtoras como:  
*Klebsiella pneumoniae*, *Citrobacter freundii* e *Clostridium butyricum*



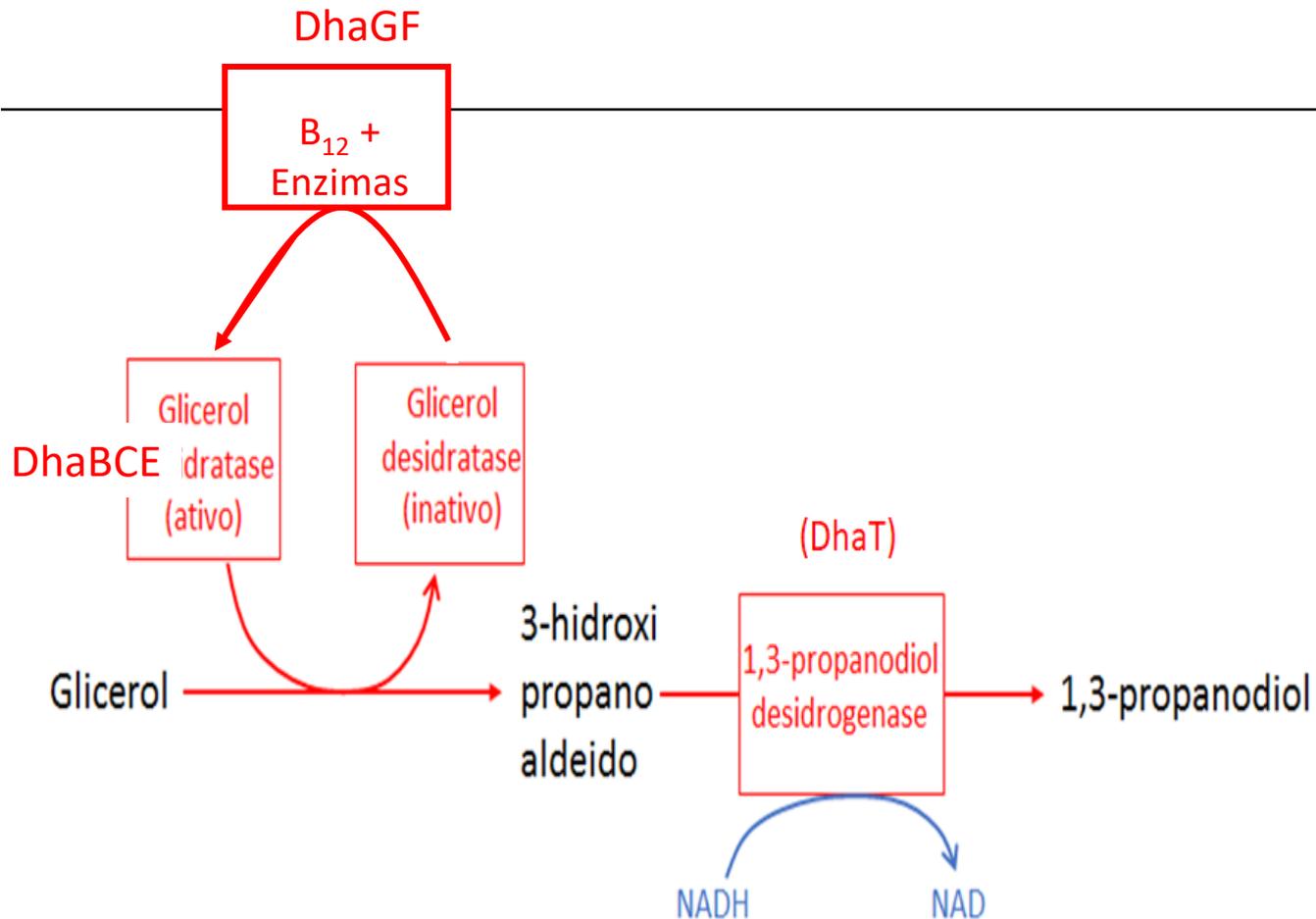
Vantagens:

Fonte renovável, limpa e de baixo custo

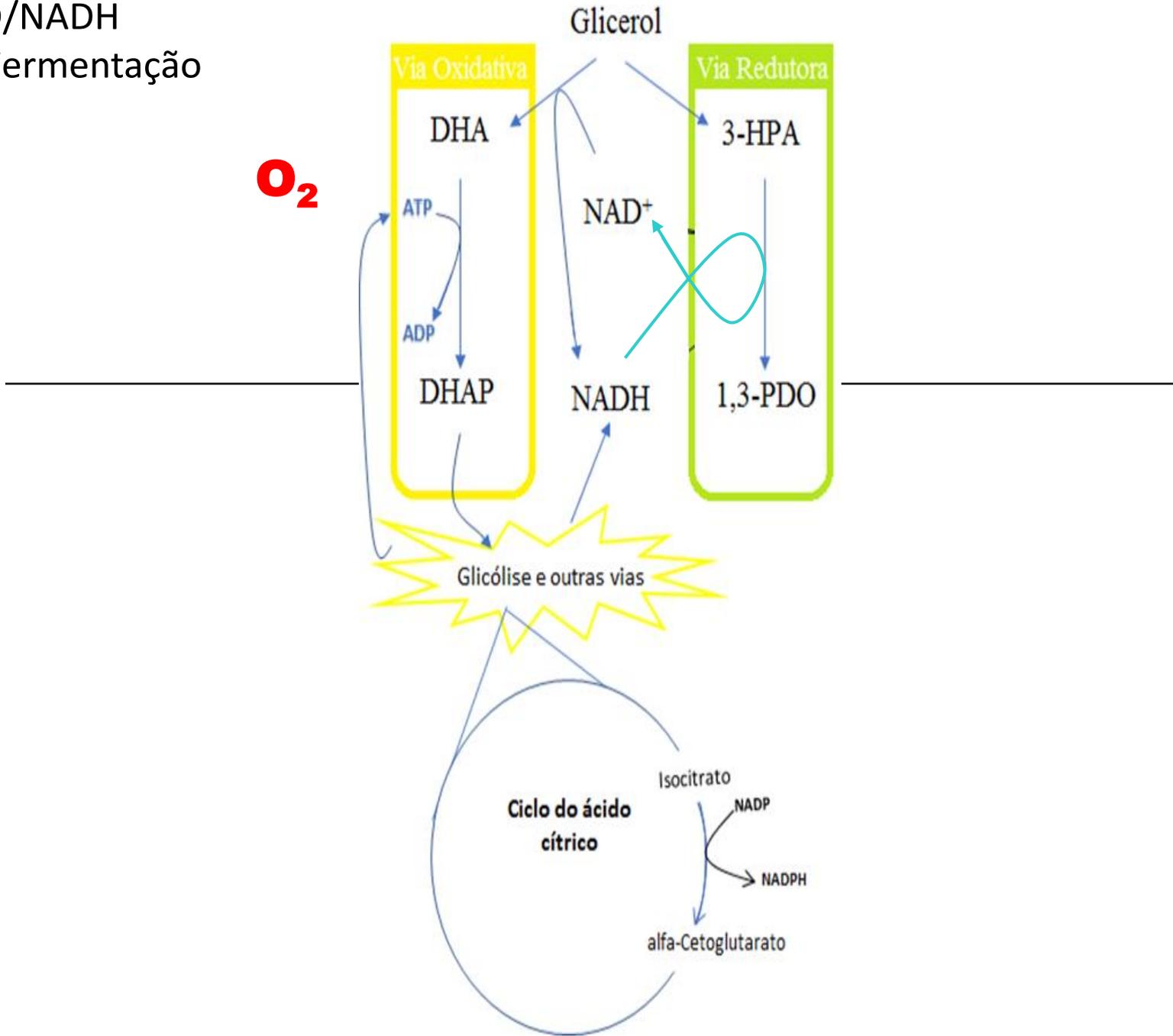


# Produção de 1,3-PDO por bactérias

- *Klebsiella pneumoniae*



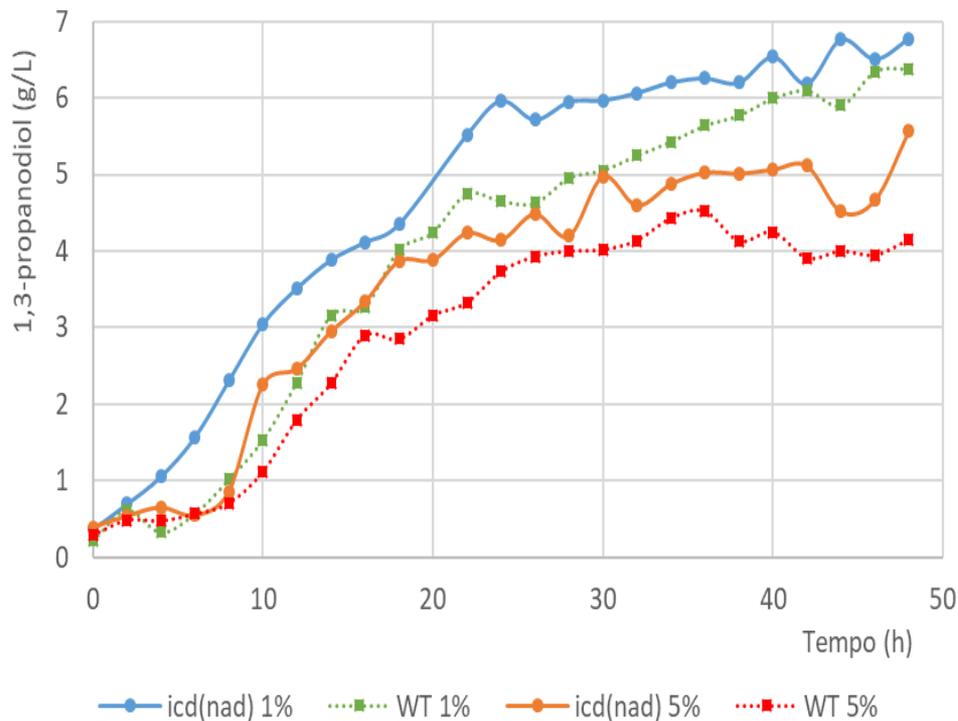
Balanco NAD/NADH  
Respiração/Fermentação



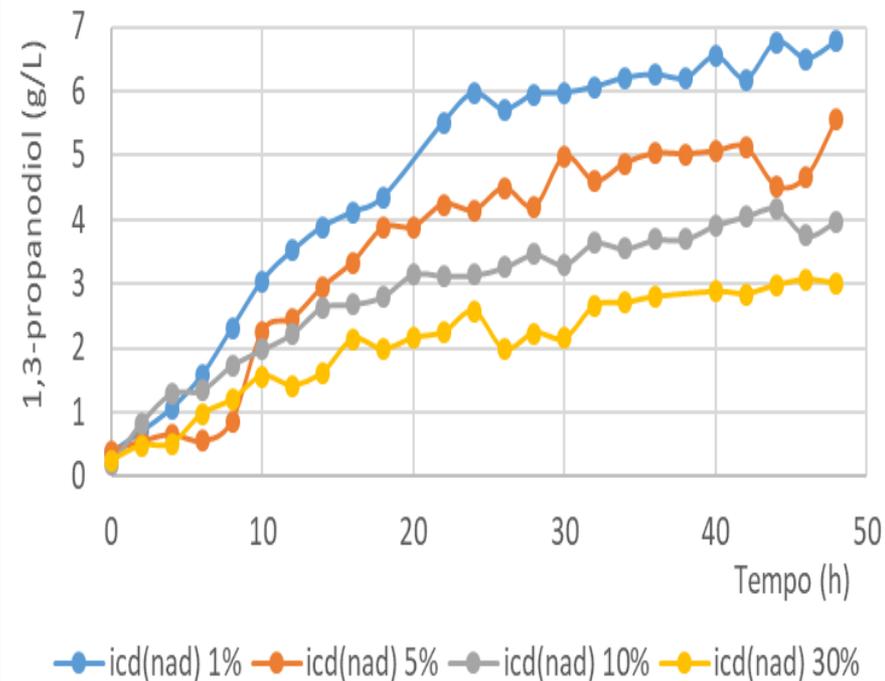
# Trabalhos anteriores

- *E. coli* transformada capaz de produzir 1,3-PDO

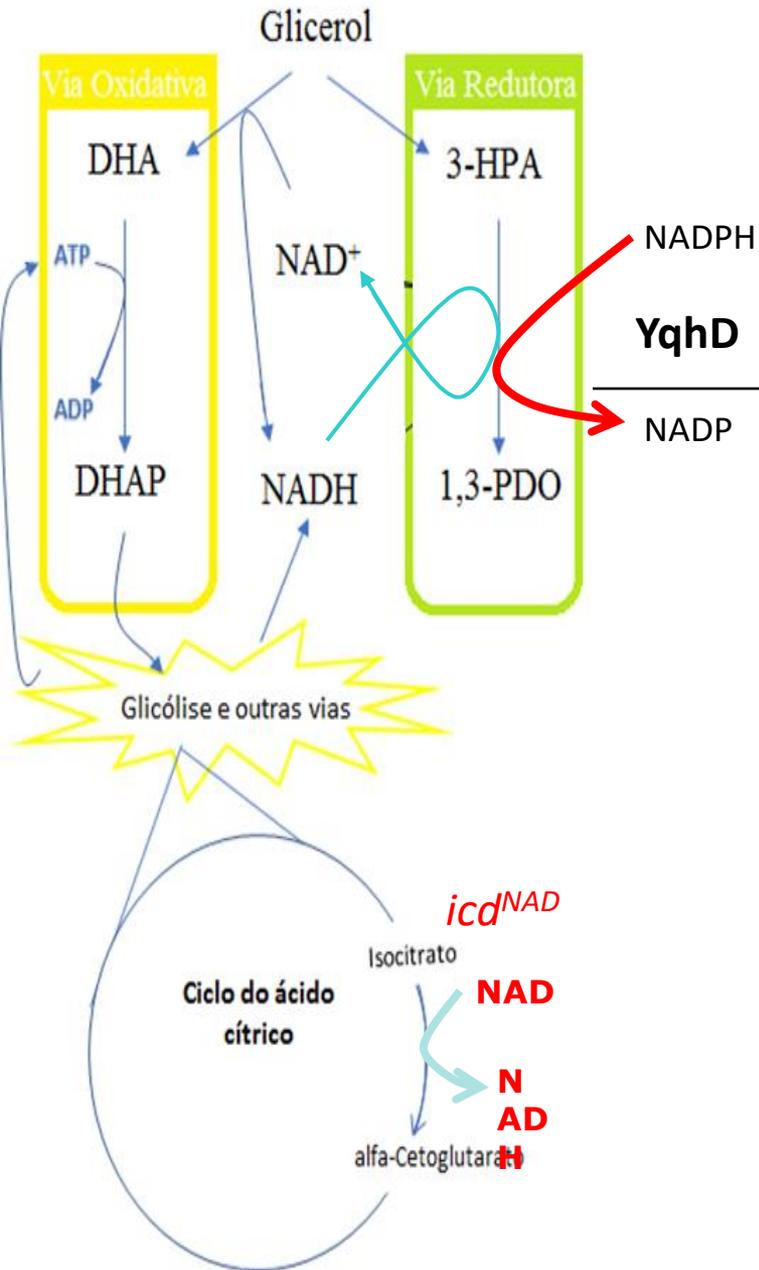
Produção de 1,3-PDO: *icd* WT e *icd* (*nad*)



Relação Oxigênio Dissolvido e produção de 1,3-PDO

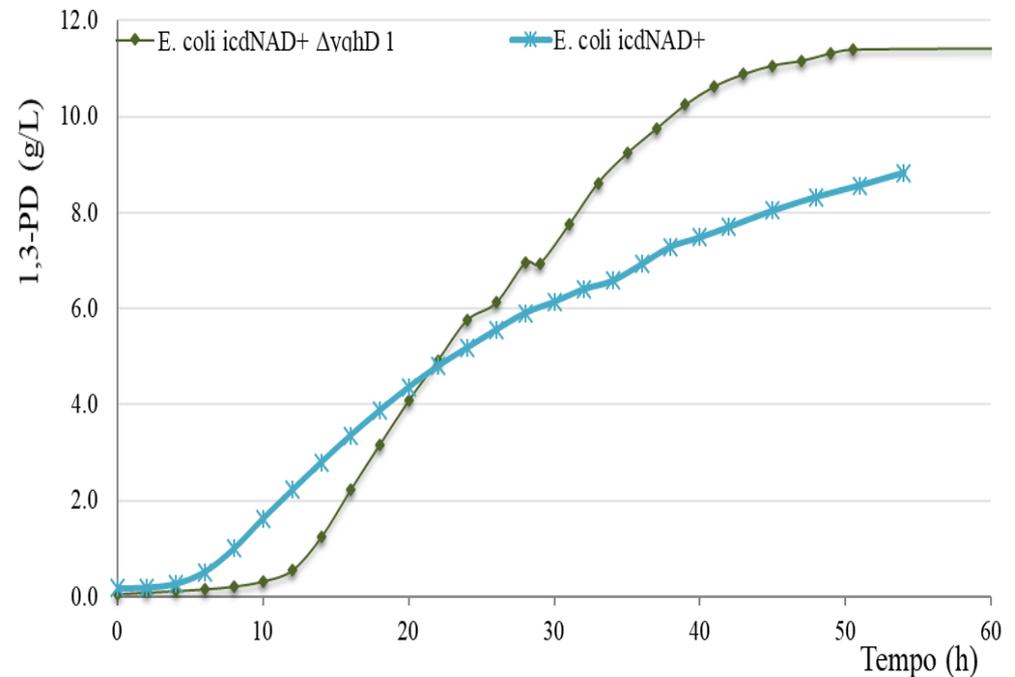


# Trabalhos anteriores



- O gene *yqhD* de *E. coli* é homólogo ao *dhaT*
- No entanto, YqhD é NADPH dependente.

*E. coli* MG1655 *icd<sup>NAD</sup> ΔyqhD* + pBBR1::*dha*



# Overview Laboratory of Bioprodutos



**Carbon  
Sources**

Sucrose  
Glucose  
Xylose  
Glycerol  
Fat acids  
Plant oils  
Soybean molasses  
Others...

**Bacterial  
factories**

*Pseudomonas* sp.  
*B. sacchari*  
*E. coli*  
Platforms for...

**Biobased  
Products**

PHA  
Rhamonolipids  
1,3-Propanediol  
Others...

We are applying the concept of  
biorefineries

*Muito obrigado*