



# Methane to Markets

---

**TECNOLOGIAS PARA O APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DO  
BIOGÁS**

**Chris Godlove  
US Environmental Protection Agency (USEPA)**

**Riberão Preto, SP**  
17 de setembro de 2010



## Sumário

---

- **Aproveitamento do biogás – Visão geral**
- **Uso Direto – BTU médio**
- **Uso Direto – BTU alto**
- **Geração de Eletricidade**
- **Cogeração de Energia**



## Por Que Utilizar O Biogás?

---

- Fonte local de combustível
- A captura e utilização do biogás são relativamente simples
- Fonte renovável de energia
- Fornecimento constante - 24 horas por dia, 7 dias por semana
- Tecnologias confiáveis para a utilização do biogás
- Recurso energético que, se não aproveitado, seria desperdiçado
- Ajuda a reduzir emissões de poluentes para a atmosfera

## Benefícios de um Projeto de Aproveitamento de Biogás

---

- Destroi o metano e outros compostos orgânicos contidos no LFG
- Substitui o uso de recursos não-renováveis
- Benefícios potenciais para o aterro:
  - Fonte adicional de renda
  - Desenvolvimento econômico local
- Benefícios potenciais para o usuário final:
  - Custos reduzidos de combustível
  - Ganho através do uso de fontes renováveis de energia
  - Apoia estratégia de ser uma empresa “verde” e/ou sustentável

## Benefícios de um Projeto de Aproveitamento de Biogás

---

- Cada megawatt de energia gerada ou a utilização direta média de 615 m<sup>3</sup>/h é equivalente a:
  - Um plantio anual de 4.900 hectares de árvores
  - Eliminação anual das emissões de CO<sub>2</sub> de 9.000 automóveis
  - Prevenção anual do uso de 99.000 barris de petróleo
  - Prevenção anual do uso de 200 vagões de carvão
  - Fornecimento de eletricidade a 650 casas por ano



# O Biogás já foi utilizado na produção de...

---

- Flores e tomates
- Cerâmica e vidro
- Carros e caminhões
- Farmacêuticos
- Tijolos e concreto
- Aço
- Suco de laranja e maçã
- Biodiesel, ethanol e GNL
- Bens de consumo e embalagens
- Fibra de vidro, nylon e papel
- Brim
- Eletrônicos
- Químicos
- Chocolate
- Secagem do lodo proveniente de esgoto sanitário
- Produtos à base de soja
- Tapete
- Calor infravermelho
- Energia verde
- Economia de custos
- Aumento da sustentabilidade



Methane to Markets

# Quem utiliza o Biogás?

The Solae<sup>®</sup>  
Company™



MLGW

Hometown Energy Working for You

MALLINCKRODT

AJINOMOTO



Owens Corning



Rolls-Royce



Lucent Technologies  
Bell Labs Innovations



INTERNATIONAL  PAPER

From innovation to results.

DAIMLERCHRYSLER

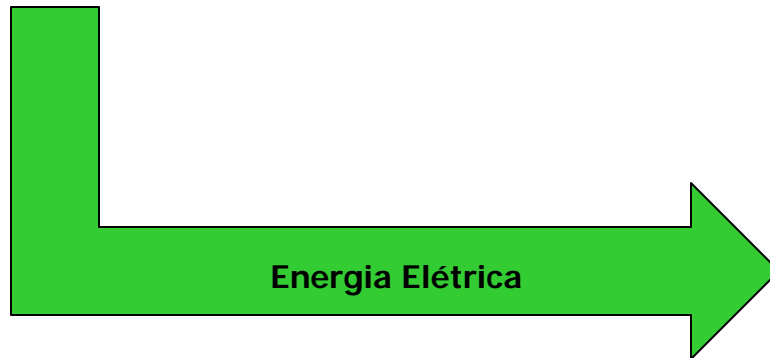
The Ultimate  
Driving Machine



# Tipos de Projetos



Aterro Sanitário







## Opções de Utilização de Biogás

---

- **Combustível com BTU médio.** O biogás bruto ou com pouco tratamento tem uso comercial, institucional e industrial para o abastecimento de aquecedores de água, fornos, secadores de agregados e geradores convencionais de eletricidade. Esse biogás contém, tipicamente, 50% de metano.
  - **Evaporação do Chorume.** O biogás é utilizado como combustível na evaporação do chorume, reduzindo os custos do tratamento.
- **Combustível com BTU alto.** O biogás é purificado a níveis de 90 a 99 por cento de metano, através da remoção do dióxido de carbono. Uso final como gás natural ou gás natural comprimido.
- **Energia Elétrica.** O biogás é utilizado como combustível de motores de combustão interna e de turbinas. A energia produzida é injetada no grid.



# Utilização do Biogás

---

Uso Direto:  
Combustível com BTU Médio

# Utilização Direta do Biogás

- **Calderas**
- **Aplicações térmicas direta**
  - Forno
- **Aplicações inovadoras**
  - Estufas
  - Aquecedores Infravermelhos
  - Fornos de cerâmica
  - Evaporação do chorume





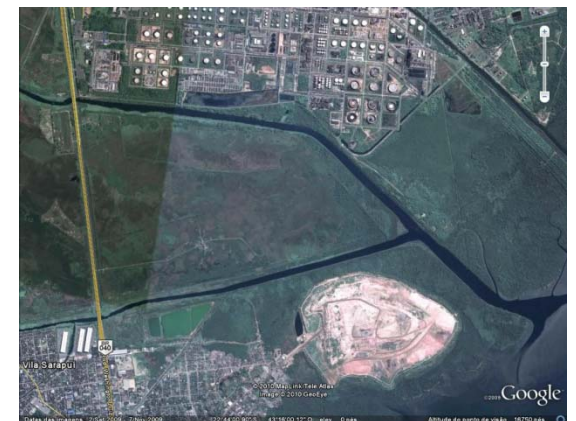
## Utilização Direta do Biogás

---

- Mais de 100 projetos nos E.U.A.
- Comprimento do gasoduto varia de 0,6 a 15 km
  - < 5 km tem maior viabilidade
- O biogás é utilizado por um usuário fora do aterro sanitário
- Canalização do biogás para um usuário próximo para uso em caldeira, forno ou algum outro processo
- Excelente possibilidade, se um usuário final se encontra nas proximidades
- Pode tirar vantagem do preço de distribuição do GN

## Aterro de Jardim Gramacho, Rio de Janeiro – Em Desenvolvimento

- Transporte do biogás purificado do Aterro Metropolitano de Jardim Gramacho até a Refinaria de Duque de Caxias
- Substituirá parte do uso de gás natural por 20 anos
- 6 km de dutos subterrâneos
- Aproximadamente 200 mil m<sup>3</sup>/dia de biogás
- Início da operação prevista: 2011
- Parte do dinheiro será depositado em fundo social de auxílio a 3 mil catadores e seus familiares, além da recuperação de manguezais.



Fonte: Google Earth



## Estufas

- Utilizam tanto a energia elétrica quanto o calor
- O dióxido de carbono pode ser utilizado para melhorar o crescimento das plantas
- 6 projetos em estufas estão em operação nos E.U.A.

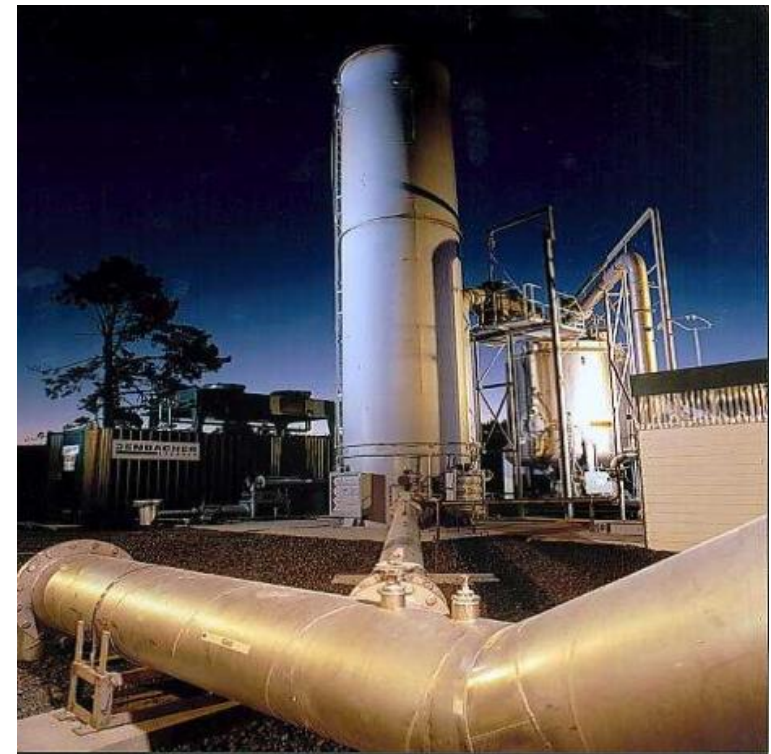






# Evaporação do Chorume

- Utiliza o biogás no tratamento do chorume
- Tecnologia comercialmente disponível
- Unidades operando em diversas partes do mundo (e.g. CTR Nova Iguaçu, Rio de Janeiro)
- 20 unidades operando nos E.U.A.



# Utilização do Biogás

---

Uso Direto:  
Combustível com BTU Alto



# Processamento do Biogás para Combustível de BTU Alto

- **Tecnologia**
  - Primeiro passo: remoção do dióxido de carbono
  - O biogás é purificado de 50% para 90%- 99% de metano
- **Vantagens**
  - Injeção do produto tratado em gasoduto
  - Metano pode ser usado como matéria-prima
  - Redução do uso de combustíveis fósseis
- **Desvantagens**
  - Deve cumprir com os padrões rígidos referentes a gasodutos
  - Tecnologia cara
  - Economicamente viável somente em grande escala



## Combustível com BTU Alto – Montauk Energy - Valley & Monroeville, PA

- Início das operações em 2006
- Conversão do biogás para combustível com BTU alto, qualidade do gasoduto (duas plantas)
  - Tecnologia de membranas
- Biogás injetado em:
  - Gasoduto de baixa pressão para distribuição local
  - Gasoduto de alta pressão para distribuição nacional



Fotos: cortesia da Montauk Energy



# Biogás como Combustível Vehicular

- Automóveis e equipamentos utilizados em aterros sanitários abastecidos por gás Natural Vehicular (GNV)
- Ônibus abastecidos por GNV
- Metanol para biodiesel



# Utilização do Biogás

---

Geração de Energia Elétrica

# Geração de Energia Elétrica

---

- **Tipo de projeto mais comum nos E.U.A**
  - Nos E.U.A, existe um total de aproximadamente 1100 MW de capacidade em mais de 250 projetos
- **Venda de Eletricidade para**
  - Injeção na rede
  - Cooperativas de indústrias qualificadas
  - Usuários situados próximos ao aterro
  - Auto geração ou medição líquida
- **Tamanho médio de um projeto: 4 MW (500 kW - 50 MW)**



# Geração de Energia Elétrica

---

- **Motores de Combustão Interna**
- **Turbinas**
- **Microturbinas**
- **Novas tecnologias**
  - **Célula combustível**





# Motor de Combustão Interna

- **Capacidade:** 350 kW - 3 MW
- **Vantagens**
  - Tecnologia comprovada e confiável
  - Eficiente
  - Disponibilidade alta > 92%
  - Não requer pré-tratamento do biogás
- **Desvantagens**
  - Maiores custos de O&M
  - Maiores emissões de NOx e CO



# Turbinas: gás, Vapor e Ciclo Combinado

- **Capacidade:** 1- 6 MW
- **Vantagens**
  - Resistente a corrosão
  - Custo baixo de O&M
  - Tamanho pequeno
  - Emissões mais baixas de NO<sub>x</sub>
- **Desvantagens**
  - Ineficiente com carga parcial
  - Carga parasitária alta devido às exigências da alta compressão do gás
  - Requer pré-tratamento do biogás





# Microturbinas

- **Capacidade:** 30-200 kW
- **Vantagens**
  - Emissões baixas
  - Capacidade de utilizar combustíveis diversos
  - Leve/tamanho pequeno
  - Custos baixos de manutenção
- **Desvantagens**
  - Ineficiente
  - Custo alto de investimento \$/kW
  - Pode requer pré-tratamento do combustível



# Geração de Eletricidade, Aterro Bandeirantes, SP

- Inaugurada em 2003, é a primeira usina no Brasil
- Uma das maiores usinas de energia a partir de biogás do mundo
- 12.000 m<sup>3</sup>/hr de biogás
- Capacidade: 24 motores, 22 MW – suficiente para abastecer uma cidade de 400 mil habitantes
- Fornece energia às unidades administrativas e comerciais do Unibanco e 20 mil famílias agora tem energia confiável



# Geração de Eletricidade, Aterro São João, SP

- Inaugurada em 2008
- Capacidade: 20 MW –  
suficiente para abastecer uma  
cidade de 400 mil habitantes
- 12.000 – 18.000 m<sup>3</sup>/hr de  
biogás
- 16 motores
- Metade dos créditos  
certificados pela ONU pertence  
à Prefeitura e metade à  
empresa Biogás



# Utilização do Biogás

---

Cogeração



# Cogeração

---

- **Indústrias Grandes**
- **Aplicações em Microturbinas**



# Cogeração

---

## ■ Vantagens

- Maior eficiência de recuperação energética através da recuperação do calor residual - até 80%
- Sistemas especializados em cogeração estão disponíveis
- Flexível – água quente ou geração de vapor a partir do calor recuperado

## ■ Desvantagens

- Maiores custos de capital para os sistemas de recuperação



# Cogeração BMW – South Carolina

- 15 km de dutos
- 4 turbinas a gás adaptadas para queimar biogás
- 4,8 MW = 25% da demanda de energia da planta
- 72 MMBtu/hr = 80% da demanda térmica da planta (água quente, aquecimento, refrigeração)
- A BMW economiza pelo menos \$1 milhão/ano



# Utilização do Biogás

---

Custo



## Custo (2008)

- Uso Direto (fluxo de biogás = 1662 m<sup>3</sup>/hr)

Componente	Custo	
Custo dos equipamentos instalados (filtro, compressor e sistema de desidratação)	585(x) + R\$1,350,000; x = ft <sup>3</sup> /min	R\$1,922,072
Custo do gasoduto (5 km de extensão)	R\$594.000 / milha	R\$1,782,000
<b>Custo Total de Investimento</b>		<b>R\$ 3.704.072</b>
Custo anual de operação e manutenção do filtro, compressor, dutos e sistema de desidratação (excluindo energia)	90000*(x/700) <sup>0.2</sup> ; x = capacidade projetado do sistema em ft <sup>3</sup> /min	R\$98,629

- Combustível com BTU Alto (fluxo de biogás = 1662 m<sup>3</sup>/hr)

Componente	Custo	
Custo dos equipamentos instalados (compressor, separadores e secadores de gás)	(x/2000) <sup>0.63</sup> * R\$15.120.000; x = ft <sup>3</sup> /min	R\$9.633.600
Custo do gasoduto (5 km de extensão)	R\$594.000 / milha	R\$1,782,000
<b>Custo Total de Investimento</b>		<b>R\$ 11.415.600</b>
Custo anual de operação e manutenção do compressor e dos separadores e secadores de gás (excluindo energia)	0,40 * x/1000; x = ft <sup>3</sup>	R\$180.441

## Custo (2008)

- Motores – Usina com capacidade de 3,2 MW

Componente	Custo	
	Custo dos equipamentos instalados (tratamento/compressão do gás, motor/gerador, preparação do local, alojamento)	R\$2.880/ kW instalado
Custo do equipamento de interconexão com a rede	R\$450.000/ sistema	R\$450.000
<b><i>Custo Total de Investimento</i></b>		<b><i>R\$ 9.666.000</i></b>
Custo anual de operação e manutenção do equipamento de tratamento/compressão de gás e motor/gerador (excluindo energia)	R\$0,036/ kWh gerado	R\$793.336



# Utilização do Biogás

---

Comercialização de Energia



# Comercialização de Energia

---

- Crise energética de 2001
- Novo modelo do setor elétrico brasileiro, anunciado em 2003, estabeleceu dois tipos de mercados
  - Ambiente de Contratação Regulada (ACR): Contrato entre agentes de geração e distribuição de energia elétrica com preço fixo (estipulados por leilões)
  - Ambiente de Contratação Livre (ACL): Contrato entre agentes de geração, comercialização, importadores e exportadores de energia, e consumidores livres (demanda mínima de 3MW)



# Energia Renovável

---

- PROEOLICA em 2002
- PROINFA em 2002
  - 1ª Fase: Contratação de 3.300 MW de energia renovável no Sistema Interligado Nacional (SIN) por 20 anos
  - 2ª Fase: Assegurar que 10% da demanda energética venha de fontes renováveis, leilões de energia



# Energia Renovável

---

- Consumidores Especiais (demanda mínima de 500 kW) passaram a ter direito de adquirir energia a partir de fontes alternativas dentro do ACL
  - Empreendimentos com potência instalada  $\leq$  1.000 kW
  - Fontes renováveis (PCHs, eólica, biomassa ou solar) com potência instalada  $\leq$  50.000 kW



# Energia Renovável

---

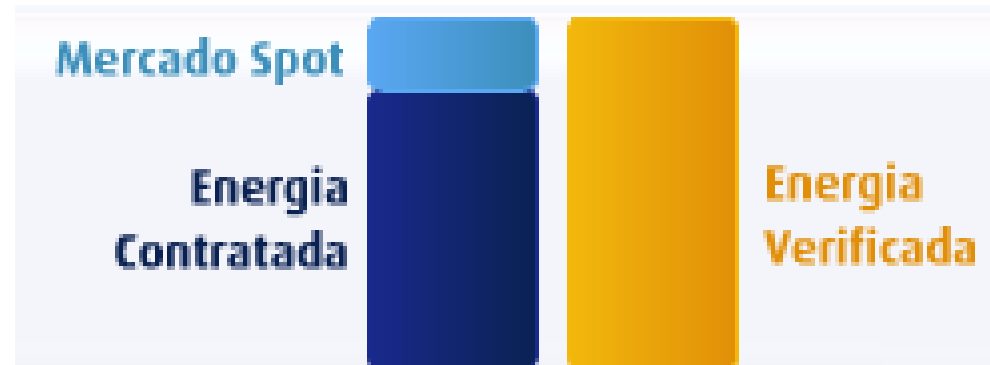
- 50% de redução da tarifa de uso dos sistemas de transmissão e distribuição para determinadas fontes de energia renovável
- 100% de redução da tarifa de uso dos sistemas de transmissão e distribuição quando 50% ou mais do insumo energético for resíduos sólidos urbanos e/ou biogás de aterro sanitário
- Usina perde desconto se comprar energia convencional em montante superior a 49% de sua Garantia Física



# Opções de Venda de Eletricidade

---

1. Venda no Mercado Spot (à vista)
2. Contrato com distribuidor de energia elétrica – leilões (ACR)
3. Contrato com consumidor livre (ACL)
4. Leilões de energia renovável



# Preço da Energia Elétrica (CCEE)

Preço Médio da CCEE (R\$/MWh)				
Mês	Submercado			
	SE/CO	S	NE	N
03/2010	27,74	27,74	30,19	27,56
02/2010	13,85	13,85	16,06	13,85
01/2010	12,91	12,91	12,91	12,91
12/2009	16,31	16,31	16,31	16,31
11/2009	16,31	16,31	16,31	16,31
10/2009	16,31	16,31	16,31	16,31
09/2009	16,31	16,31	16,31	16,31
08/2009	16,31	16,31	16,31	16,31
07/2009	30,43	30,43	25,55	25,55
06/2009	40,84	40,84	30,00	23,14
05/2009	39,00	39,10	30,17	16,31
04/2009	46,46	48,73	27,79	16,31
03/2009	90,87	91,28	84,25	24,96
02/2009	52,08	66,15	27,41	27,41
01/2009	83,64	83,66	77,77	77,82
12/2008	96,97	96,93	96,97	96,97
11/2008	106,14	93,77	106,14	106,14
10/2008	92,43	92,17	92,43	92,43
09/2008	109,93	109,40	109,91	109,93
08/2008	102,79	101,21	102,79	102,79
07/2008	108,42	108,42	108,42	108,42
06/2008	76,20	76,20	75,34	75,34
05/2008	34,18	34,19	34,42	27,61
04/2008	68,80	72,12	71,92	50,97
03/2008	124,70	127,41	123,24	117,67
02/2008	200,42	200,65	214,37	200,43
01/2008	502,45	502,45	497,61	502,45

Preço Médio da CCEE (R\$/MWh)				
Mês	Submercado			
	SE/CO	S	NE	N
12/2007	204,93	204,93	204,93	204,93
11/2007	185,11	185,11	185,11	185,11
10/2007	198,13	198,13	197,45	198,13
09/2007	149,53	149,80	149,11	149,53
08/2007	39,27	36,13	45,81	44,36
07/2007	122,59	122,19	118,94	122,87
06/2007	97,15	59,42	97,19	97,35
05/2007	59,96	23,48	53,37	53,37
04/2007	49,36	49,05	28,07	24,25
03/2007	17,59	17,59	17,59	17,59
02/2007	17,59	17,59	17,59	17,59
01/2007	22,62	26,28	17,59	17,59
12/2006	58,75	59,18	17,58	45,23
11/2006	80,82	80,82	24,40	80,82
10/2006	92,42	92,42	46,25	92,42
09/2006	123,88	123,88	68,56	123,88
08/2006	104,98	105,19	51,94	104,98
07/2006	90,90	91,44	30,61	90,90
06/2006	67,89	70,01	23,44	44,84
05/2006	51,91	52,51	19,79	16,97
04/2006	20,87	21,06	16,92	16,92
03/2006	28,56	42,67	36,10	18,94
02/2006	58,02	63,63	37,62	29,20
01/2006	28,64	28,78	19,14	19,14
12/2005	19,20	19,19	18,40	19,20
11/2005	35,73	24,17	19,79	35,73
10/2005	43,12	18,83	18,86	43,12

- Preço de Liquidação das Diferenças (PLD) - preço pelo qual é valorada a energia comercializada no Mercado de Curto Prazo (Spot)

# Preço da Energia Renovável

- 1º Leilão Energia Renovável em 2007, geração para 2010

Fonte	Potência	Energia	Preço
Biomassa (bagaço de cana-de-açúcar)	511,9 MW	115 MW médios	R\$ 138,85 /MWh
Biomassa (criadouros avícolas)	30 MW	25 MW médios	
PCH	96,74 MW	46 MW médios	R\$ 134,99 /MWh
<b>Total Geral</b>	<b>638,64 MW</b>	<b>186 MW médios</b>	<b>R\$ 137,32 /MWh</b>

- 1º Leilão Eólica em 2009 - contratação de 1.805,7 MW a um preço médio de venda de R\$ 148,39/MWh.

# Tarifas Médias por Classe de Consumo e Região (R\$/MWh)

**Novembro 2009 (ANEEL)**

Classe de Consumo/Região	Centro Oeste	Nordeste	Norte	Sudeste	Sul	Brasil
Residencial	293,35	284,18	307,14	307,24	286,04	<b>298,69</b>
Industrial	219,18	220,84	247,09	250,64	224,29	<b>237,06</b>
Comercial, Serviços e Outras	278,30	301,18	318,87	287,27	263,74	<b>286,17</b>
Rural	207,86	214,60	234,39	205,36	170,10	<b>195,38</b>
Poder Público	285,75	329,04	344,51	302,84	287,43	<b>308,81</b>
Iluminação Pública	158,71	174,93	178,22	166,64	147,09	<b>164,67</b>
Serviço Público	185,19	205,29	214,80	220,14	143,06	<b>203,30</b>
Consumo Próprio	302,63	316,25	325,94	301,91	264,74	<b>302,65</b>
Rural Aquicultor	240,98	200,37	250,61	195,21	78,76	<b>191,59</b>
Rural Irrigante	205,78	138,95	228,84	223,24	145,40	<b>165,83</b>
<b>Totais por Região</b>	<b>258,21</b>	<b>259,44</b>	<b>288,45</b>	<b>277,09</b>	<b>241,51</b>	<b>266,17</b>



Methane to Markets

# Perguntas

---

Jim Michelsen

[jmichelsen@scsengineers.com](mailto:jmichelsen@scsengineers.com)



# Perguntas?

[www.methanetomarkets.org](http://www.methanetomarkets.org)

[www.epa.gov/lmop](http://www.epa.gov/lmop)

**Chris Godlove**

U.S. EPA – LMOP

Programa de Divulgação do Metano de Aterros

Tel: +1-202-343-9795

Email: [Godlove.chris@epa.gov](mailto:Godlove.chris@epa.gov)

**Jim Michelsen**

SCS Engineers

Tel: +1-703-471-6150

Email: [jmichelsen@scsengineers.com](mailto:jmichelsen@scsengineers.com)

**Eustáquio Vasconcelos**

SCAI – Belo Horizonte

Tel: (31) 3261-7255

Email: [scai@scaiautomacao.com.br](mailto:scai@scaiautomacao.com.br)

