

Copyright 2004, Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás - IBP

Este Trabalho Técnico Científico foi preparado para apresentação no 3º Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás, a ser realizado no período de 2 a 5 de outubro de 2005, em Salvador. Este Trabalho Técnico Científico foi selecionado e/ou revisado pela Comissão Científica, para apresentação no Evento. O conteúdo do Trabalho, como apresentado, não foi revisado pelo IBP. Os organizadores não irão traduzir ou corrigir os textos recebidos. O material conforme, apresentado, não necessariamente reflete as opiniões do Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás, Sócios e Representantes. É de conhecimento e aprovação do(s) autor(es) que este Trabalho será publicado nos Anais do 3º Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás

SUBSTITUIÇÃO DE MOTORES ELÉTRICOS POR MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA DE CICLO OTTO A GÁS NATURAL EM INSTALAÇÕES DE BOMBEAMENTO DE PETRÓLEO E SEUS DERIVADOS

ANTONIO GONÇALVES DE MELLO JUNIOR¹
MURILO TADEU WERNECK FAGÁ²

¹UNIVERSIDADE PRESBITERIANA MACKENZIE – PROFESSOR DA ESCOLA DE ENGENHARIA

¹UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO – ALUNO DOUTORANDO DO PROGRAMA INTERUNIDADES DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENERGIA.

²UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO - PROFESSOR DO PROGRAMA INTERUNIDADES DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENERGIA.

²UNIVERSIDADE PRESBITERIANA MACKENZIE - PROFESSOR DA ESCOLA DE ENGENHARIA

Resumo – A maioria das instalações utilizadas no bombeamento de petróleo e seus derivados utilizam conjuntos de bombas centrífugas, acionadas por motores elétricos assíncronos, acoplados diretamente ao eixo da bomba*.

O objetivo deste trabalho é apresentar uma avaliação técnica e econômica da substituição do motor elétrico pelo motor de combustão interna de ciclo Otto, tendo como combustível o gás natural. A alta tecnologia apresentada pelos motores de combustão, seu progressivo aumento de rendimento, facilidade de obtenção do gás natural no caso em estudo e o aumento contínuo do custo da energia elétrica, tornam viável essa substituição.

Este artigo mostra um estudo de caso da substituição de motores elétricos de 800 CV, 60 Hz e 2 pólos acionando bombas centrífugas radiais com vazão média de 160 m³/h de petróleo, ou 180 m³/h de GLP (gás liquefeito de petróleo), em tubulações de diferentes diâmetros, de um terminal para uma refinaria.

Palavras-Chave: motor elétrico, motor de combustão, gás natural, bombeamento de petróleo.

Abstract – Most facilities used in the petroleum pumping and derived, use group of centrifugal pumps drove by asynchronous electric motors coupled directly to the pump's shaft.*

The proposal of this work consists to present a technical and economic viability in changing these electric motors for reciprocating combustion engine Otto cycle, using as fuel the natural gas. The high technology presented by the reciprocating engines fuelled by natural gas, your continuous efficiency increase, the easy access to the natural gas in the present study and the continuous increase of the electricity cost, make feasible this substitution.

This article shows a case study changing one 800 CV, 60 Hz, 2 poles electric motors driving centrifugal radial pumps with a flow of 160 m³/h of petroleum and 180 m³/h de LPG, with different piping diameters, from terminal until the refinery.

Keywords: electric motor, reciprocating engine, natural gas and petroleum pumping.

* Bombas de pistão também são utilizadas em algumas das instalações, principalmente as mais antigas.

1. Introdução

A substituição da eletricidade por gás natural como energia final para a obtenção de diferentes formas de energia útil pode representar vantagens em relação ao custo da energia final, bem como no consumo da energia primária.

Existe no sistema de bombeamento de petróleo e seus derivados como diesel, querosene, nafta, glp e outros, nos terminais terrestres e marítimos, bombas centrífugas acionadas por motores elétricos de alta potência

Com a evolução tecnológica dos motores de combustão interna a gás natural, apresentando aumento constante de rendimento, principalmente com o objetivo de maior participação do mesmo nos sistemas de co-geração (NREL, 2003), o trabalho apresentado visa substituir os motores elétricos que acionam os conjuntos moto-bomba de alguns sistemas de transporte de derivados, por motores de combustão interna do ciclo Otto, tendo como combustível o gás natural.

Por outro lado, a utilização da fonte de energia primária, no caso, o gás natural disponível no local de consumo, apresenta melhor domínio do usuário e menor poder de impacto do que a gerada a longa distância pelas centrais térmicas a gás natural.

2. Os Motores a Combustão Interna a Gás Natural.

Os motores a combustão interna a gás natural sofreram significativo avanço tecnológico na última década, principalmente com o objetivo de concorrerem, dentro de certa faixa de potência com as outras tecnologias que podem, também, fazer uso do gás natural como combustível, tais como: turbina a gás, micro turbina a gás e células a combustível, objetivando a sua utilização primordialmente nos sistemas de cogeração.

Este avanço tecnológico foi desenvolvido em diversos segmentos dos motores a combustão: redução do atrito dos anéis, como mencionado por WONG (2002), sistemas de injeção constituídos de bi-combustível com utilização do diesel para pré-ignição, mudança na geometria da cabeça do pistão conforme apresenta estudos realizados pela ARES (2001), etc.

O quadro I, mostra o rendimento elétrico dos conjuntos motos-geradores para uma grande faixa de potência e o rendimento mecânico no eixo do motor pois, no caso proposto trata-se de acionamento unicamente mecânico.

Muitos fabricantes e órgãos de pesquisa vêm aprimorando o uso do motor de combustão interna a gás natural. Esse aprimoramento passa desde a chamada Ottolização, adaptação dos motores de combustão interna de ciclo Otto, utilizado em veículos rodoviários de pequeno e médio porte para motores estacionários a gás natural, até a adaptação de motores maiores, de ciclos Diesel, também transformados em motores estacionários a gás.

Outra preocupação dos fabricantes dos motores de combustão a gás natural é o controle sobre a emissão de poluentes, notadamente os óxidos de nitrogênio (NO) e o monóxido de carbono (CO), que devem seguir as normas EPA, americana, a EURO I, II, III e IV, da comunidade europeia, e a CONAMA, no Brasil.

Atualmente, considerando a gama de potencia dos diversos fabricantes, os motores de combustão interna a gás natural podem cobrir uma larga faixa de potencia, variando de 1,0 HP até 80.000 HP.

Existem inúmeros fabricantes de motores de combustão interna a gás natural que têm sua linha de fabricação condizente com os dados necessários a essa substituição.

Quadro 1. Principais características dos motores de combustão interna a gás natural.

Capacidade Nominal	100 kW	300 kW	1000 kW	3000 kW	5000 kW
Tipo de combustão	Rica	Pobre	Pobre	Pobre	Pobre
Rendimento elétrico para geração (%) PCA	30	31	34	35	37
Rendimento mecânico (gerador 94%)	31,9	32,9	36,1	37,2	39,3
Consumo de gás MMBTU/h (m ³ /h)	1,15 (30,82)	3,29 (88,172)	10,05 (269,34)	29,1 (779,88)	46,1 (1235,50)
Rotação no eixo do motor (rpm)	1800	1800	1200	900	720
Custo de instalação (R\$/kW)	3.000,00	2.240,00	2100,0	1990,00	1945,00
Custo de Operação e Manutenção (R\$/kWh)	0,05	0,035	0,025	0,025	0,020
Pressão de gás requerida (psi)	< 3	18	3-43	43	65
Ruído (dB)	60-70	60-75	65-78	70-80	70-85
Emissão de CO ₂ (lb/MWh)	1,35	1,28	1,18	1,14	1,08
Emissão de NO _x (lb/MWh)	46	6,2	3,1	2,2	1,6
Emissão de CO (lb/MWh)	37	6,2	6,2	7,8	7,4

Utilizado 1US\$= R\$ 2,80

Fonte: NREL, 2003. Adaptado pelo autor.

3. Motores Elétricos

A maioria dos processos industriais, comerciais e agrícolas utilizam a força motriz para acionamento das máquinas necessárias a execução de várias tarefas.

Grande parte dessa força motriz é originária do motor elétrico, que transforma a energia elétrica em energia mecânica, tornando-a disponível no eixo para acionar outras máquinas.

Os motores elétricos, devido a sua versatilidade, construção, manutenção, instalação e fácil acesso à fonte de energia, no caso a eletricidade, disponível em todos os pontos industriais e comerciais, apresentam larga aplicação na transferência de energia e grande utilização no mundo moderno.

Essa aceitação fez do motor elétrico a máquina mais utilizada em todo o mundo. Entre as máquinas de maior interesse, acionadas pelo motor elétrico estão as bombas centrífugas, os compressores, os ventiladores, etc.

Uma das características dos motores elétricos é o fato de manterem a velocidade constante dependendo do número de pólos do enrolamento e da frequência da linha.

Até meados dos anos 80, os motores síncronos com comutadores de carga era a única opção disponível para variar a rotação de motores elétricos de média–alta voltagem, alta potência. Assim, esses motores foram largamente empregados em diversas instalações de companhias dos Estados Unidos, Japão e Europa, muitas delas persistindo até hoje, principalmente para acionamento de bombas de alta pressão na alimentação de água de caldeiras das antigas centrais termoeletricas e transporte de petróleo em tubulações, segundo RAMA (1995).

4. Caso em Análise

O caso escolhido para análise é o conjunto moto-bomba do terminal de Cubatão, que bombeia petróleo para a refinaria de Capuava com as seguintes características:

Potência: 800 HP

Rotação: 3600 rpm

Vazão: 160 m³/h

A figura 1 representa de forma esquematizada o sistema Terminal de Santos – Cubatão e a distribuição de Cubatão para as refinarias RECAP e UTINGÁS.

O GLP (Gás Liquefeito de Petróleo) é bombeado para a UTINGÁS e o petróleo é bombeado para a RECAP.

O estudo realizado para a substituição do motor elétrico de acionamento de 800 HP para a bomba de petróleo é válido para os conjuntos moto-bombas de GLP e para os demais conjuntos de bombas existentes no terminal.

No mesmo terminal de Cubatão existem 7 bombas centrífugas e 6 bombas alternativas, tipo pistão, com a mesma potência.

Para efeito de análise econômica foi considerado para o gás natural o preço aproximado pago pelo gás da Bolívia.

No caso específico do terminal de Cubatão existe uma tubulação de gás natural próxima à casa de bombas, o que facilitará o acesso a esse combustível e eliminará os custos com a infra-estrutura de alimentação de combustível.

Se somarmos ao estudo realizado com as bombas de 800 HP do terminal de Cubatão, outras bombas de outros terminais e refinarias teríamos uma importante parcela de energia elétrica que poderia ser transformada em uso do gás natural para os serviços de bombeamento de petróleo e seus derivados.

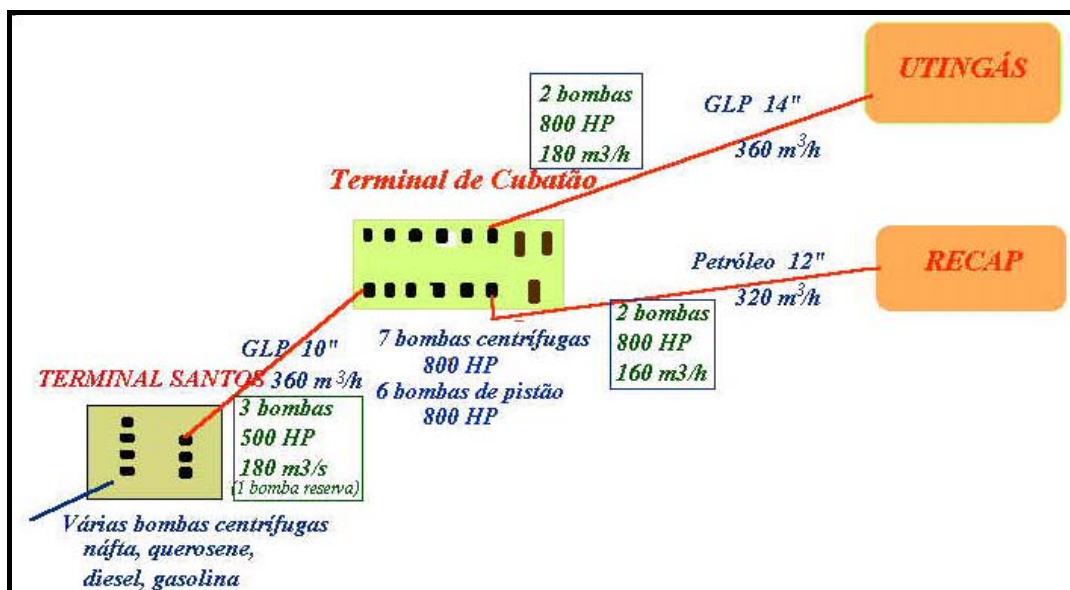


Figura 1. Esquema de bombeamento de Petróleo e GLP para as refinarias RECAP e UTINGÁS.

O quadro 2 apresenta o resumo dos principais parâmetros levantados para elaboração da análise econômica, na substituição do motor elétrico pelo motor de combustão alimentado pelo gás natural.

Quadro 2. Resumo da análise econômica para substituição dos motores.

Bombas do terminal de Cubatão			
Bombas de petróleo entre o terminal de Cubatão e a Refinaria de Capuava			
800 HP 160 m3/h			
		Elétrico	Gás
Fator de utilização das bombas		95%	95%
Potencia kW		596	600
Preço do motor a gás e instalação 2200,00 R\$/kW			1320000,00
Rendimento motores		92%	34%
Energia consumida kWh/ano		5391208,7	14685882,4
Energia elétrica paga pela Petrobras			
Demanda ponta 22,52 R\$/kW		161063,04	
Demanda f ponta 5,66 R\$/kW		40480,32	
Energia na ponta 0,16 R\$/kWh		113499,13	
Energia f. ponta 0,11 R\$/kWh		546214,57	
total energia elétrica		861257,06	
Consumo de gás natural m3/ano			1343631
Custo anual de manut./oper.			
motor a gás 0,03 R\$/kWh			141912,00
motor elétrico 0,01 R\$/kWh		49599,12	

A figura 2 mostra a variação do tempo de retorno do investimento com o preço do gás natural para taxas de juros variando entre 10 a 16%.

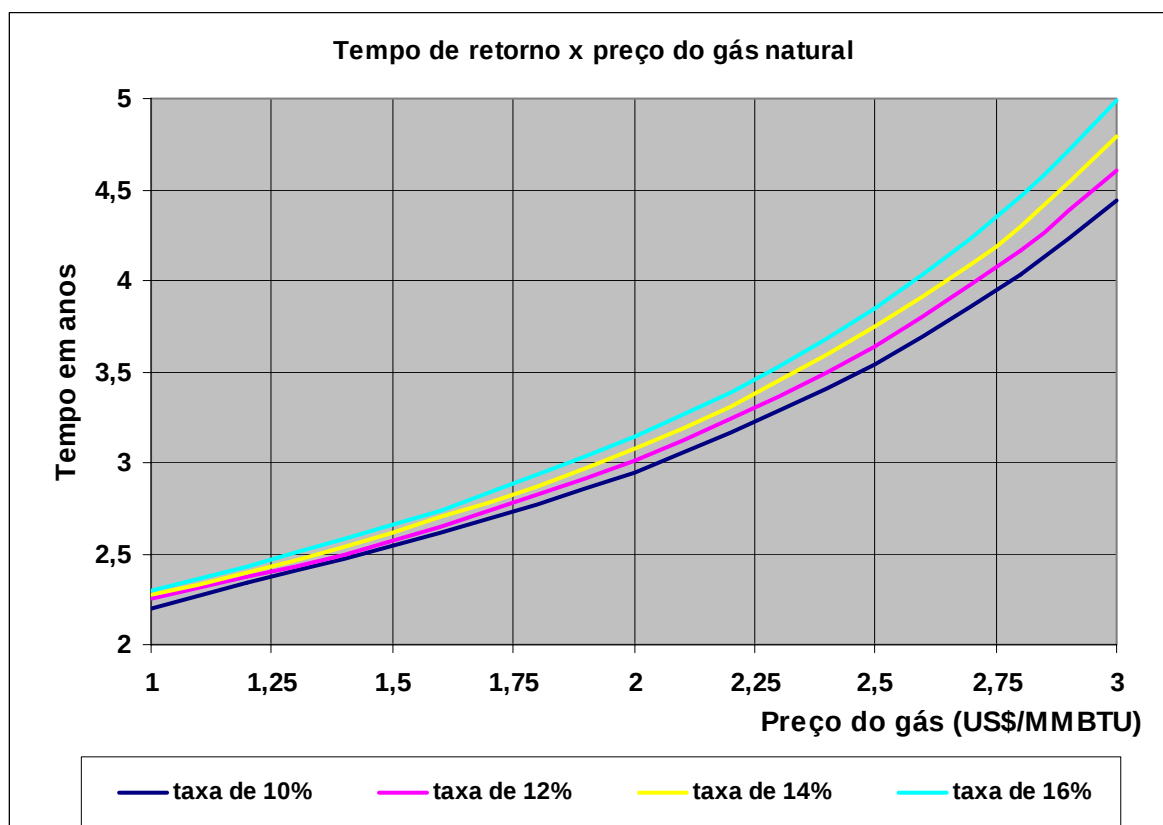


Figura 2. Tempo de retorno do investimento para vários preços do gás natural e diferentes taxas de retorno.

5. Outras Vantagens na Utilização dos Motores a Gás

Entre as principais vantagens no uso do motor a gás em substituição aos motores elétricos, pode-se citar:

- Menor custo de operação;
- Diversificação do combustível;
- Melhor rendimento a cargas parciais que o motor elétrico;
- Independência da geração elétrica, na maioria das vezes, muito distante do ponto de consumo;
- Possibilidade de co-geração

Com a disponibilidade do motor a gás, o usuário poderá ter uma maior flexibilidade para os processos que dependiam somente de um tipo de acionamento, sendo possível moldar de maneira mais vantajosa às necessidades das fontes energéticas não dependendo de uma única tecnologia.

Um outro ponto que merece destaque é a relação de rendimentos quando trabalhando com cargas parciais. A diminuição do rendimento nos motores elétricos é bem maior quando comparado com o motor de combustão a gás natural, como pode ser observado na figura 3.

Esse fator se apresenta como uma grande vantagem na substituição dos motores elétricos que trabalham com variador eletrônico de velocidade, em sistemas de bombeamento para cargas parciais, pelo motor de combustão a gás natural.

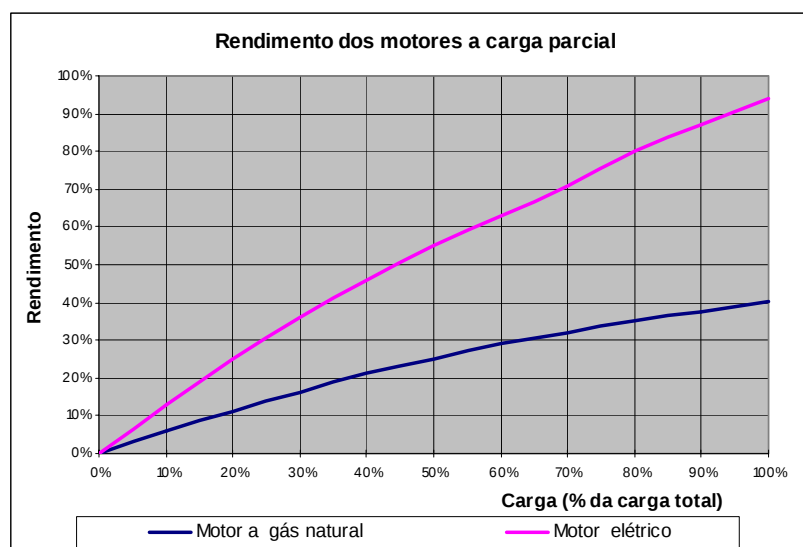


Figura 3. Rendimento comparativo de motor de combustão e motor elétrico.

Fonte: CEPEL, 2001.

Uma outra observação que pode ser feita é com relação à comparação entre a utilização local da energia primária e a utilização em uma usina térmica a gás de ciclo combinado do combustível comum, neste caso o gás natural.

O fato a utilização ser realizada no ponto de instalação do motor de combustão apresenta ao usuário maior domínio e controle sobre suas operações com maior flexibilidade e menor pressão da concessionária de energia elétrica.

A figura 4 apresenta o balanço de utilização do gás natural para as duas situações hipotéticas de mesma potência final de consumo, tanto para um motor elétrico, como para um motor de combustão.

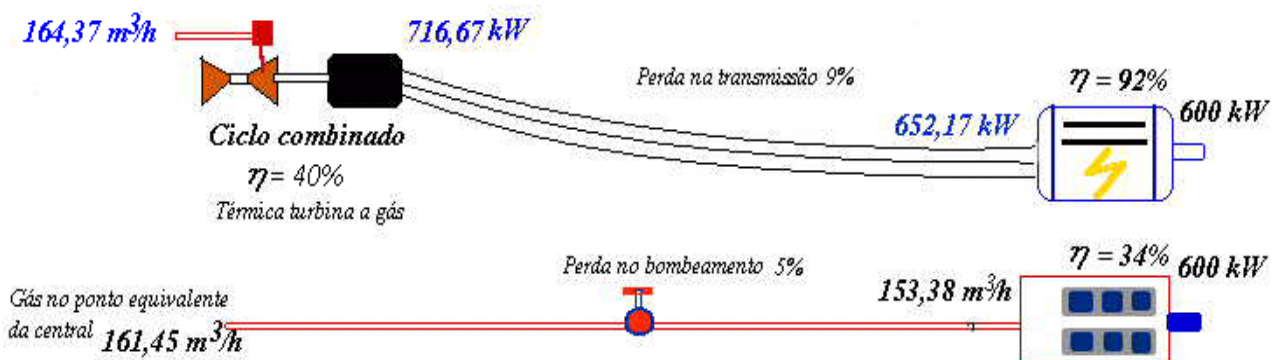


Figura 4. Balanço de utilização do gás natural em uma usina termoeletrica e diretamente em um motor de combustão interna a gás natural.

6. Conclusões

Do estudo realizado conclui-se que, a substituição de motores elétricos por motores de combustão interna a gás natural, nos sistemas de bombeamento de petróleo e seus derivados, nos terminais e refinarias, é viável e oferece boas perspectivas técnicas e econômicas para sua realização.

O tempo de amortização está diretamente ligado à valorização, no caso do gás natural, se o mesmo for um insumo do terminal ou refinaria.

Embora a quantidade de gás consumida nas instalações citadas no item 4, não represente substancial aumento na utilização do gás natural, a substituição dos motores elétricos por motores de combustão interna a gás natural pode servir como ponto de partida para sistemas semelhantes em todos os terminais e refinarias e em outras áreas, como nas estações de abastecimento de água.

Na análise de futuras instalações de bombeamento onde o preço do motor elétrico deverá ser computado no estudo da viabilidade econômica, as vantagens nessa substituição ficarão ainda mais evidentes.

7. Referências

- ARES – Advanced Reciprocating Engine Systems.** *Advanced Reciprocating Engines Technology for power generation in California.* 2001.
- CEPEL.** *Estudo comparativo de microssistemas de geração baseados em combustíveis.* Relatório técnico, DPP/PER-1165/01. Rio de Janeiro, Brasil. 2001.
- NREL-National Renewable Energy Laboratory.** *Gas-fired distributed energy resource- technology characterizations.* U.S.-Department of Energy. V.A., USA. 2003.
- CATERPILLAR, Inc.** *Catálogo de especificações para o motor G3636 LE a gás natural.* 2003.
- COAST INTELLIGENT, Inc.** *Especificações do grupo gerador modelo 150 IC.* 2003.
- CUMMINS ENGINE COMPANY.** *Catálogo de especificações do motor QSV91G 1200 rpm, com gás natural.* 2003.
- WAUKESHA ENGINE.** *Advanced natural gás reciprocating engine program.* USDOE – reciprocating engines peer review, Chicago, USA. 2002.
- GE-JENBACHER.** *Generacion y cogeneracion com motores de combustion interna a gás.* Portfolio Motores Reciprocantes. México DF. 2002.
- RAMA; J.C. , GIESECKE; A. .** *High speed electric drives – technology and opportunity.* IAS Petroleum and Industry Conference. 1995.
- WONG; Victor W. et all.** *Low Engine Friction Technology for Advanced Natural Gas Reciprocating Engines.* MIT, Massachusetts. USA. 2002.