

SELEÇÃO DE AMOSTRAS DE GASOLINA PARA ANÁLISE DE MARCADORES ATRAVÉS DA ANÁLISE EXPLORATÓRIA QUIMIOMÉTRICA DOS PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DE MONITORAMENTO

Danilo L. Flumignan¹ (UNESP), Carlos E. F. da Silva¹ (UNESP), Fabrício de O. Ferreira¹ (UNESP), Guilherme T. Tanaka¹ (UNESP), José E. de Oliveira¹ (UNESP).

¹ Centro de Monitoramento e Pesquisa na Qualidade de Combustíveis, Petróleo e Derivados (CEMPEQC), Departamento de Química Orgânica, Instituto de Química, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Rua Prof. Francisco Degni s/n, Quitandinha, 14800-900, Araraquara-SP, Brasil.
E-mail: danilo@iq.unesp.br

A gasolina é um dos combustíveis fósseis mais consumidos no mundo. Consequentemente há uma demanda grande da sociedade para que a gasolina comercializada seja de alta qualidade. Os revendedores realizam o controle de qualidade nos quais os combustíveis são analisados e avaliados pelas suas propriedades físico-químicas. Estas propriedades são especificadas pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) através da regulamentação 309 de 2001. Apesar de todos estes parâmetros, muitas amostras adulteradas são aprovadas. Recentemente, a ANP começou a introduzir marcador em todos solventes utilizados no Brasil. Estes solventes marcados ao serem adicionados à gasolina podem ser detectados por uma técnica analítica específica. Esta estratégia apesar de eficiente consome milhares de dólares, tanto na marcação como na detecção do marcador, e somente os laboratórios autorizados e credenciados pela ANP podem avaliar a sua presença. Sendo assim neste trabalho, viemos discriminar amostras de gasolinas com possível presença de marcador através da análise exploratória quimiométrica dos parâmetros físico-químicos analisados. Neste trabalho avaliamos 949 amostras de gasolinas coletadas aleatoriamente de diferentes distribuidores entre abril 2005 e maio 2006 e localizados em 228 municípios do estado de São Paulo, Brasil. As amostras foram analisadas de acordo com os métodos estabelecidos pela ANP 309/2001. São estes: densidade relativa, curva de destilação e teores de álcool anidro e benzeno. Os valores octanagem e a porcentagem de hidrocarbonetos (saturados, olefinas e aromáticos) também foram determinados. Os instrumentos utilizados nestas análises foram: um destilador automático Normalab NDI440 v.1.70C, um densímetro Anton Paar DMA4500 v.4.600.b e um analisador portátil de infravermelho Grabner IROX2000 v.2.02. Todas as amostras avaliadas foram submetidas à análise cromatográfica para detecção de marcador de solvente. Após análise estatística e quimiométrica exploratória, no qual se correlacionou à presença de marcador de solventes e diversos parâmetros físico-químicos, verificamos que as amostras que apresentaram temperaturas de destilação de 10 e 90 % fora da especificação, teor de benzeno menor que 0,3 %, porcentagem de hidrocarbonetos saturados maior que 54 % e aromáticos menor que 11,5 % e suas relações, saturados/aromáticos maior que 4,3, saturados/aromáticos+olefinas maior que 2,0 e aromáticos/saturados+olefinas menor que 0,18 apresentaram grande indício da presença de marcador de solvente.

Palavra-chave: Gasolinas Comerciais Brasileiras, Discriminação, Análise de Marcador, Análise Exploratória Quimiométrica, Parâmetros Físico-Químicos.

1. INTRODUÇÃO

O mercado brasileiro de combustíveis tem passado por grandes mudanças nos últimos anos com o fim do controle estatal sobre a produção dos mesmos. A liberalização abriu muitas oportunidades para empresas estabelecidas e novos investidores na indústria brasileira de petróleo. Reduções de barreiras para investimento no setor de distribuição, como a permissão de postos de combustíveis "bandeira branca" (Postos que podem comprar combustíveis de qualquer distribuidor, não ficando restritos a uma única marca) e a liberação de margens de lucro têm alterado radicalmente este segmento da indústria.

A adulteração de gasolina, uma prática criminal, tem sido observada no Brasil desde a reforma do mercado com o fim do monopólio estatal sobre a distribuição de combustíveis. A Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), em associação com outras agências de inspeção, têm feito todo o esforço possível para minimizar o problema, que pode causar dano a veículos e consequentemente aos consumidores. Além disso, pode afetar os cofres públicos através da evasão fiscal, dado que solventes têm tarifação diferente dos combustíveis. Distribuidoras e donos de postos de combustível não têm permissão para misturar solvente ou frações da destilação petroquímica à gasolina, mesmo que seja para melhorar suas propriedades. A gasolina só pode ser produzida em refinarias ou por indústrias com autorização expressa da ANP. Mesmo assim, a evasão

fiscal devida à mistura não autorizada de solventes à gasolina chega à marca de milhões de dólares por ano. Solventes, como querosene, solvente de borracha, nafta petroquímica e thinner têm sido usados para adulterar a gasolina. Os maiores fatores que contribuem para o uso de solventes para a adulteração de gasolina são sua composição química parecida com a de componentes da gasolina, baixo custo e impostos mais baixos.

A gasolina é uma mistura de líquidos voláteis e inflamáveis, e sua composição depende da origem do petróleo e dos processos de refino utilizados. Tipicamente a gasolina brasileira consiste em hidrocarbonetos parafínicos, naftênicos, olefínicos e aromáticos, além da adição de 25% de etanol, uma quantidade não encontrada em nenhum outro país. Os hidrocarbonetos que compõem a gasolina variam de 4 a 12 átomos de carbono com temperatura de ebulição entre 30 e 225 graus Celsius, e densidade entre 0,72 e 0,78 g cm⁻³.

A gasolina é um dos combustíveis fósseis mais consumidos no mundo. Existe, portanto, uma grande demanda da sociedade por uma gasolina de alta qualidade. As companhias mantêm um controle de qualidade, que nos combustíveis são analisados e avaliados por suas características e componentes. As propriedades físicas e químicas da gasolina são normalmente usadas no seu controle de qualidade. Estes propriedades incluem testes em relação: a medida de densidade, a temperaturas equivalentes a 10, 50 e 90% do volume destilado, ao ponto final de ebulição, ao resíduo de destilação, ao número de octanagem, ao índice antidetonante, a porcentagem de aromáticos, saturados, olefinas e a teores de benzeno e etanol. Apesar da grande diversidade de testes aplicados, muitas amostras adulteradas ainda são consideradas próprias para consumo. A adulteração de combustíveis não causa somente um impacto significativo na vida útil do veículo e na qualidade do ar em local urbano e, conseqüentemente, na saúde dos indivíduos, mas também conduz a enorme perda de imposto para o governo e a imagem do comerciante de combustível.

Recentemente, a ANP começou a introduzir marcadores em todos os solventes utilizados no Brasil, sejam eles nacionais ou importados. Os marcadores são moléculas orgânicas, adicionadas ao solvente em partes por bilhão e são projetados para não ter nenhum impacto qualquer aplicabilidade dos solventes individuais, tais como pinturas, vernizes, perfumes, farmacêuticos, etc. Solventes marcados adicionados à gasolina podem ser detectados por uma técnica analítica específica. Esta tecnologia tem se mostrado eficiente, mas consome milhares de dólares todos os anos na forma de detecção de marcadores ou na marcação em si, além de apenas alguns laboratórios estarem adequados para esta análise. É muito comum encontrar no mercado brasileiro gasolinas com propriedades físico-químicas de acordo com as especificações da ANP, mas apresentando presença de marcador. Assim, encontrar um método barato para a identificação da presença de solventes na gasolina torna-se importante, e tem sido objeto de estudo de pesquisas acadêmicas e forenses.

O controle de qualidade da gasolina é feito de acordo com ensaios laboratoriais padronizados, utilizados para a determinação das propriedades físico-químicas. Estes ensaios são normalmente caros e consomem bastante tempo. A idéia de substituí-los por correlações é, então, bastante atraente, especialmente se o número de amostras a serem analisadas for grande. Este trabalho visa estabelecer a presença de traços de marcador em gasolina utilizando um método de classificação multivariado a fim de construir um modelo que permita a identificação de combustível contaminado.

2. METODOLOGIA

2.1 Amostragem

As amostras de gasolina utilizadas neste trabalho foram analisadas pelo laboratório responsável do monitoramento da qualidade de combustíveis da região centro-oeste do estado de São Paulo. A distribuição das amostras neste universo é desconhecida. Sendo assim, a escolha natural seria utilizar amostragem aleatória. No entanto, a maioria das amostras apresenta propriedades próximas do padrão, como esperado em um laboratório de controle de qualidade. Se as amostras fossem coletadas aleatoriamente, elas constituiriam um conjunto de dados representativo da população, mas não necessariamente proveriam as informações necessárias. O universo amostral foi constituído por postos revendedores de combustíveis localizados em 228 cidades do estado de São Paulo.

As amostras foram coletadas em frascos de polietileno tereftalato e transportadas em caixas térmicas sob controle de temperatura. 949 amostras comerciais de gasolina foram aleatoriamente analisadas de acordo com os métodos estabelecidos pela Resolução nº 309 da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP). Estes métodos incluem: densidade relativa, curva de destilação, porcentagem de álcool, benzeno e composição hidrocarbônica, de acordo com os métodos internacionais padrões estabelecidos. As amostras também foram submetidas a teste de presença de marcador.

2.2 Propriedades Físico-Químicas

Para a determinação dos parâmetros, várias técnicas foram utilizadas. Os resultados foram comparados com os limites estabelecidos pela Resolução nº 309 da ANP, onde 445 amostras foram aprovadas e 504 reprovadas. A

Tabela 1 ilustra um sumário das propriedades físico-químicas do conjunto de amostra analisadas, bem como os limites estabelecidos pela resolução vigente. A espectroscopia na região do infravermelho foi utilizada para determinação de vários parâmetros, como teor de benzeno (ASTM D6277), saturados, olefinas e aromáticos (correlação com a ASTM D1319), além dos valores de octanagem (MON, RON e IAD – correlação com ASTM D2699 e D2700). Estes parâmetros foram medidos comparando-se o desempenho antidetonante das amostras testadas com o desempenho de amostras testadas nas condições estipuladas pelo método ASTM. A densidade relativa da gasolina a 20°C foi determinada segundo a norma ASTM D4052. A determinação de etanol foi realizada através de uma extração aquosa, de acordo com a norma brasileira NBR 13992. Os pontos de destilação, para as temperaturas nas quais 10, 50 e 90% do volume são destilados, bem como o ponto final e o resíduo, seguiram a norma ASTM D86. Este procedimento consiste na destilação de 100mL de amostra da gasolina, na condensação do destilado e na medida das temperaturas relacionadas às porcentagens estabelecidas de combustível. Os instrumentos utilizados para a determinação destes parâmetros foram: destilador automático (Normalab NDI440 v.1.70C), densímetro digital (Anton Paar DMA4500 v.4.600.b) e um analisador portátil de infravermelho (Grabner IROX2000 v.2.02). Além destes equipamentos, todas as amostras passaram pelo teste da presença de marcador de solvente, onde 107 amostras tinham a presença de marcador e 842 não apresentavam, porém as metodologias e o método cromatográfico utilizado para esta determinação são confidenciais e restritos aos laboratórios que prestam serviço a ANP.

Tabela 1. Sumário dos valores obtidos para os parâmetros físico-químicos avaliados e suas especificações.

Norma	Parâmetros Físico-Químicos	Unidade	Especificação	Conjunto de Dados			
				Mínimo	Máximo	Faixa	Média
ASTM D4052	Densidade	g cm ⁻³	–	0,7091	0,7671	0,0580	0,7472
ASTM D6277	Benzeno	% v/v	1,0, máx	0	0,7	0,7	0,45
NBR 13992	Etanol	% v/v	25 ± 1	19	45	26	24,7
ASTM D86	Curva de Destilação						
	10% Evaporado, máx	°C	65,0, máx	45,1	70,4	25,3	54,3
	50% Evaporado, máx	°C	80,0, máx	64,9	76,7	11,8	72,0
	90% Evaporado, máx	°C	145,0 - 190,0	72,7	396,1	323,4	158,1
	Ponto Final de Ebulição, máx	°C	220,0, máx	110,2	247,8	137,6	205,8
	Resíduo, máx	% v/v	2,0, máx	0,4	2,0	1,6	1,0
Octanagem							
Correlação com	Motor Octane Number	–	82,0	75,5	83,7	8,2	81,9
ASTM	Research Octane Number	–	-	86,6	97,8	11,2	94,5
D2699/2700	Índice Anti-Detonante	–	87,0	81,1	90,7	9,6	88,2
Composição							
Correlação com	Saturados	% v/v	-	32,1	71,3	39,2	47,5
ASTM D1319	Olefinas	% v/v	45,0, máx	0	25,5	25,5	14,7
	Aromáticos	% v/v	38,0, máx	3,8	20,9	17,1	14,1

2.3 Análise Estatística Exploratória

O software Pirouette 3.11 (Infometrix, Woodinville, EUA) foi utilizado para a análise hierárquica de agrupamentos e de componente principais. A análise de cluster aglomera um grupo de objeto *X*, descrito por diversas variáveis, em conjuntos "homogêneos". A aproximação usual é avaliar uma medida da associação, ou de similaridade, para pares de objetos por meio dos valores das variáveis que descrevem estes objetos. A linkage incremental foi usada como critério na execução do HCA. Já a PCA foi usada para conseguir reduzir as dimensões e reter a máxima variabilidade nos dados, podendo assim avaliar preliminarmente as similaridade entre as classes ou grupos. Este método fornece um novo jogo com as variáveis obtidas (componentes principais - PCs) como uma combinação linear dos descritores originais. Estas PCs permitem uma representação fácil e uma inspeção visual dos dados em um diagrama bidimensional que indique os testes padrões escondidos na série de dados. O processo de validação cruzada foi usado como critério na execução da PCA. Para estas análises exploratórias multivariadas, todos os parâmetros físico-químicos avaliados em todas as amostras de gasolina foram usados como fatores. Além disso, os melhores agrupamentos, para ambas as análises exploratórias, foram obtidos usando dados auto-escalados e transformação logarítmica.

3. RESULTADOS

Mudanças significativas nos parâmetros físico-químicos avaliados nas gasolinas comerciais brasileiras podem ser causadas pela adição de excesso de álcool ou solventes adulterantes, e estes podem causar variações na densidade, octanagem, composição e na transformação do perfil da curva de destilação. A faixa e a média das variações nos parâmetros físico-químicos avaliados podem ser observados na **Tabela 1**.

Na **Figura 1**, podemos observar que vários resultados discrepantes podem ser encontrados, o que representam amostras comerciais totalmente atípicas. Neste conjunto, 47% das amostras analisadas encontram-se de acordo com as especificações vigentes, enquanto 53% não e, além disso, 88% destas mesmas amostras encontram-se com ausência de marcador de solvente e 12% com a presença do mesmo. Vale ressaltar que do total de amostras que apresentam presença de marcador, 90% delas encontram-se com parâmetros físico-químicos fora da especificação, enquanto os outros 10% representam amostras que estão dentro dos limites especificados. A partir destas probabilidades, viemos relacionar a presença do marcador de solvente com os parâmetros físico-químicos ou com co-relações dos parâmetros.

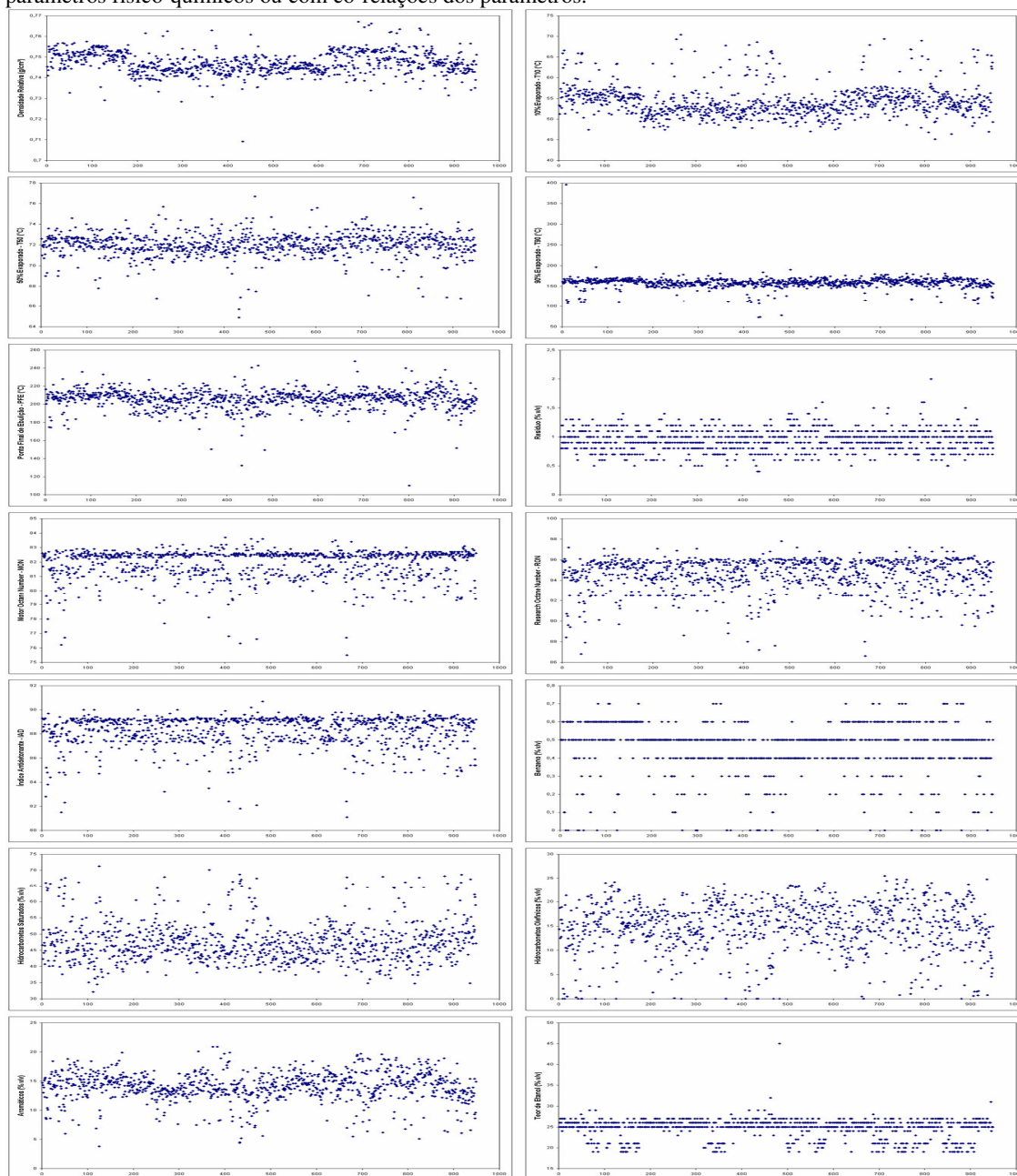


Figura 1. Valores obtidos dos parâmetros físico-químicos avaliados em todas as amostras analisadas.

A partir da **Tabela 2**, onde relacionamos a presença de marcador com os parâmetros físico-químicos avaliados, observamos que os parâmetros que, quando fora de especificação, apresentaram maiores índices proporcionais de amostras com presença de marcador foram às temperaturas nos quais 10% e 90% do combustível foi destilado (T10% e T90%). Nestes casos, aproximadamente 80% das amostras analisadas que estavam fora da especificação apresentavam a presença de marcador de solvente. Outros parâmetros estabelecidos pela Portaria n°. 309, juntamente com suas porcentagens, também podem ser analisados na mesma tabela.

Tabela 2. Incidência da presença de marcador de solvente através da avaliação dos parâmetros físico-químicos.

<i>Parâmetro</i>	<i>Valor estabelecido pela Portaria n° 309 - ANP</i>	<i>Amostras com Não Conformidade</i>	<i>Amostras com Marcador</i>	<i>Indícios de Amostras com Marcador (%)</i>
<i>Destilação</i>				
<i>T10 %</i>	65,0 °C, máx.	29	26	89,6
<i>T90 %</i>	190,0 °C, máx.	63	51	80,9
<i>PFE</i>	220,0 °C, máx.	51	14	27,5
<i>Octanagem</i>				
<i>IAD</i>	87,0, mín.	113	77	68,1
<i>MON</i>	82,0, mín.	366	89	24,3
<i>Outros</i>				
<i>AEAC</i>	24 ± 1 %	328	41	12,5

Por outro lado, verificamos também que se estabelecermos limites diferentes e inferiores dos previstos pela norma para determinados parâmetros ou, incluímos, alguns parâmetros que não apresentam valores limitantes ou relações entre os determinados parâmetros, consigamos indicar e determinar com maior incidência e destreza amostras com presença de marcador de solventes (**Tabela 3**).

Tabela 3. Incidência da presença de marcador através da relação entre diferentes parâmetros ou de valores diferentes dos estabelecidos.

<i>Parâmetros e/ou Relações</i>	<i>Valor Limitante</i>	<i>Valor estabelecido pela Portaria n° 309 - ANP</i>	<i>Quantidade de Amostras no Conjunto</i>	<i>Indícios de Amostras com Marcador (%)</i>
<i>Destilação</i>				
<i>T10 %</i>	> 58,0	65,0 °C, máx.	90	81,1
<i>T50 %</i>	< 70,2	80,0 °C, máx.	42	71,4
<i>T90 %</i>	< 146,0	190,0 °C, máx.	68	75,0
<i>PFE</i>	< 187,0	220,0 °C, máx.	39	74,4
<i>Octanagem</i>				
<i>MON</i>	< 80,6	82,0, mín.	97	71,1
<i>RON</i>	< 92,4	não atende	89	82,0
<i>IAD</i>	< 86,8	87,0, mín.	108	71,3
<i>Outroa</i>				
<i>Densidade</i>	< 0,737	não atende	20	70,0
<i>Benzeno</i>	< 0,3	1,0 % vol	129	80,0
<i>Composição</i>				
<i>Saturados (S)</i>	> 54,0	não atende	108	71,3
<i>Aromáticos (A)</i>	< 11,5	45,0, máx.	100	71,0
<i>Olefinas (O)</i>	< 8,0	30,0, máx.	74	73,3
<i>S/O</i>	> 6,3	não atende	103	71,8
<i>S/A</i>	> 4,3	não atende	110	74,5
<i>A/O</i>	> 1,9	não atende	78	73,1
<i>S/(A+O)</i>	> 2,0	não atende	194	71,1
<i>A/(S+O)</i>	< 0,18	não atende	100	70,0

Esta incidência estatística (probabilidade) pode ser confirmada através da grande variabilidade 64,0 % obtida no gráfico de *scores* da análise quimiométrica exploratória de componentes principais (**Figura 2**) usando as três primeiras componentes e no dendograma obtido na análise hierárquica de agrupamentos (**Figura 3**). Estas

análises separaram as amostras de gasolinas com e sem a presença de marcador de solvente em dois grupos, a partir dos parâmetros físico-químicos analisados e/ou as relações e valores limitantes estabelecidos.

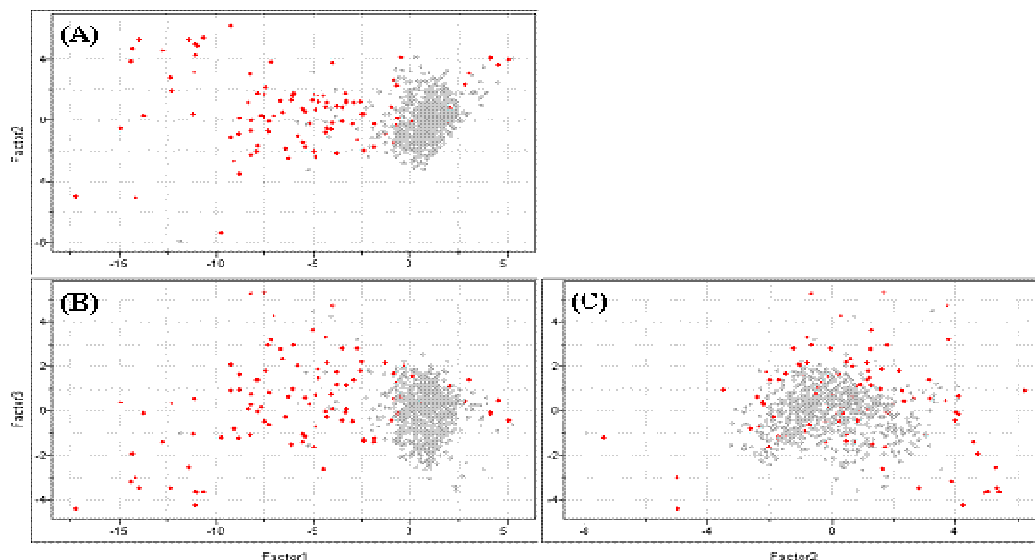


Figura 2. Gráfico de *scores* obtido na análise de componentes principais, usando as três primeiras componentes. Nota: Pontos vermelhos representam amostras de gasolinas contendo a presença de marcador; Pontos pretos representam amostras com ausência de marcador.

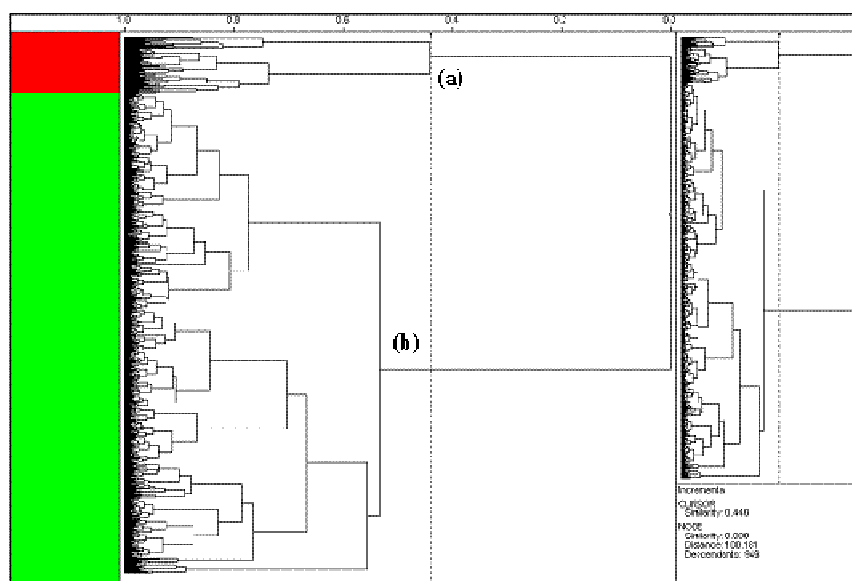


Figura 3. Dendrograma obtido na análise hierárquica de agrupamentos. Nota: Agrupamento vermelho representa preferencialmente amostras de gasolinas contendo a presença de marcador; Agrupamento verde representa preferencialmente amostras com ausência de marcador.

No *scores* da PCA (**Figura 2**) e no dendrograma da HCA (**Figura 3**) é possível observar uma tendência na formação de clusters, embora algumas amostras encontrem-se levemente sobrepostas ou aglomeradas. Na HCA verificamos dois clusters distintos (**Figura 3**), com índice de similaridade de 0,5: o (a) contém 99 amostras, sendo a sua grande maioria com a presença de marcador de solvente; enquanto o cluster (b) contém 850 amostras, sendo a maioria sem a presença de marcador.

Por outro lado, na PCA, em PC1 *versus* PC2 e PC1 *versus* PC3 (**Figura 2A e 2B**), verificamos que as amostras que contém presença de marcador (pontos vermelhos) apresentam baixos valores para PC1, enquanto que, as amostras com ausência de marcador apresentam altos valores para a mesma componente principal. Em PC2 *versus* PC3 (**Figura 2C**) não é possível estabelecer nenhuma relação entre as amostras, pois os pontos estão consideravelmente dispersos e sobrepostos. Portanto, a formação distinta dos clusters é nítida utilizando a

primeira componente em PC1 versus PC2 e PC1 versus PC3 (**Figura 2A e 2B**), onde as amostras contendo marcador (pontos vermelhos) apresentam valores negativos, enquanto que os exibidos para as demais amostras (pontos pretos) tendem a valores positivos.

Os *loadings* das variáveis (parâmetros físico-químicos) associados a estas três primeiras componentes são apresentados na **Figura 4**. Os *loadings* na PC1 (**Figura 4A e 4B**), respectivos aos *scores* obtidos na própria PC1 (**Figura 3A e 3B**), são direcionados negativamente (típico de amostras com presença de marcador) pelos parâmetros físico-químicos, T10% e Saturados, e relações entre hidrocarbonetos, Sat/Arom e St/(Ar+Ol). Além disso, verificamos na PC2 e PC3, em PC2 versus PC3 (**Figura 4C**), um leve direcionamento positivo para PC2 e PC3 (que pode ser típico de amostras com presença de marcador) ocorrido devido aos parâmetros de densidade e de destilação (T10%, T50%, T90% e PFE) e um leve direcionamento positivo para PC2 e negativo para PC3 (que também pode ser típico de amostras com presença de marcador) ocorrido devido aos aromáticos e sua relação Arom/(Sat+Olef).

Todos estes parâmetros físico-químicos e suas relações observadas indicam estatística e quimiometricamente ao direcionamento da presença de marcador de solvente em amostras de gasolinas comerciais, prevendo assim quais amostras apresentarão maiores probabilidade da presença do marcador, caracterizando a adulteração.

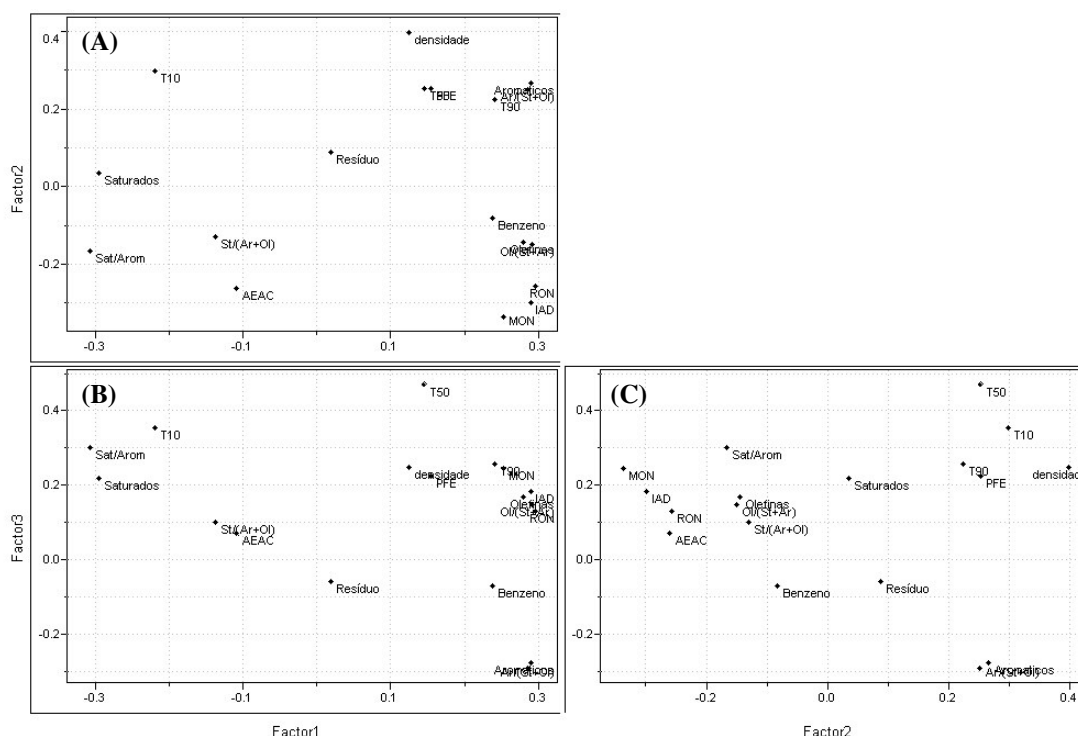


Figura 4. Gráfico de *loadings* obtidos nas três primeiras componentes principais 1 – 3.

4. CONCLUSÃO

Pelos estudos realizados, tornou-se possível direcionar de forma mais eficiente quais amostras devem ser encaminhadas para análise da presença de marcador, a fim da confirmação da presença da adição de solvente ilícito e da redução de custo operacional. Após análise estatística e quimiométrica, verificamos que as amostras que apresentaram temperaturas de destilação de 10 e 90 % fora da especificação, teor de benzeno menor que 0,3%, porcentagem de hidrocarbonetos saturados maior que 54% e aromáticos menor que 11,5% e relação sat/arom maior que 4,3, sat/(arom+olef) maior que 2,0 e arom/(sat+olef) menor que 0,18 contém grande indício da presença de marcador de solvente.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), Centro de Monitoramento e Pesquisa na Qualidade de Combustíveis, Petróleo e Derivados (CEMPEQC), Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e Fundação para o Desenvolvimento da UNESP (Fundunesp).

6. REFERÊNCIAS

- Agência Nacional do Petróleo. Gás Natural e Biocombustíveis (Brasil). Portaria nº. 309. Diário Oficial da União; Governo do Brasil: Brasília, 28/12/2001.
- Agência Nacional do Petróleo. Gás Natural e Biocombustíveis (Brasil). Portaria nº. 274. Diário Oficial da União; Governo do Brasil: Brasília, 01/11/2001.
- American Society for Testing and Materials, Annual Book of ASTM Standards, Vol.05.02. ASTM, Philadelphia, PA, 1995, D4057.
- American Society for Testing and Materials, Annual Book of ASTM Standards, Vol.05.01. ASTM, Philadelphia, PA, 2000, D86.
- American Society for Testing and Materials, Annual Book of ASTM Standards, Vol.05.02. ASTM, Philadelphia, PA, 1996, D4052.
- American Society for Testing and Materials, Annual Book of ASTM Standards, Vol.05.01. ASTM, Philadelphia, PA, 2001, D6277.
- American Society for Testing and Materials, Annual Book of ASTM Standards, Vol.05.05. ASTM, Philadelphia, PA, 2001, D2699.
- American Society for Testing and Materials, Annual Book of ASTM Standards, Vol.05.05. ASTM, Philadelphia, PA, 2001, D2700.
- American Society for Testing and Materials, Annual Book of ASTM Standards, Vol.05.03. ASTM, Philadelphia, PA, 2001, D1319.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas, Normas Técnicas Brasileiras, ONS34 – Petróleo. ABNT, Rio de Janeiro, RJ, 1997, NBR 13992.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas, Normas Técnicas Brasileiras, ONS34:000.02-012:2002. ABNT, Rio de Janeiro, RJ, 2002, NBR 14883.
- Centro de Desenvolvimento de Recursos Humanos Sudeste. Gasolinas Brasileiras; Petrobrás: Rio de Janeiro, Brazil, 2000.
- Grabner Instruments (2005) IROX2000 Operation Manual, version 2.02, Ametek, Inc.: Vienna, Austria.
- Ministério da Agricultura. Pecuária e Abastecimento (Brasil). Portaria nº. 226. Diário Oficial da União; Governo do Brasil: Brasília, 24/6/2002.
- Infometrix Inc., Pirouette® 3.11, Woodinville, WA, 2003, <http://www.infometrix.com>
- Pirouette® (2003) Pirouette User Guide, version 3.11, Infometrix Inc., Woodinville, WA.
- Refinaria Gabriel Passos. Gasolina Automotiva; Petrobrás: Betim, Brazil, 1997.