

**Capítulo 4**

**Estudo de caso: Projeto ATECEL-FINEP-  
UFCG**

Aderaldo de Souza Silva  
Luiza Teixeira de Lima Brito  
Beatriz Suzana Ovruski de Ceballos

Na avaliação da qualidade das águas das cisternas do Projeto ATECEL-FINEP-UFCG, o enfoque principal foi sobre os parâmetros físicos e químicos obtidos por meio da sonda multiparâmetros ([www.ysi.com](http://www.ysi.com)) para efeito do desenvolvimento do Indicador IQA-CSA. Enquanto os resultados das análises microbiológicas, usadas em forma complementar, foram provenientes do Banco de Dados da Embrapa Semi-Árido, pertencente ao Laboratório de Sustentabilidade Ambiental ([www.cpatsa.embrapa.br/lisa](http://www.cpatsa.embrapa.br/lisa)) com valores isolados de medição. As características relatadas são consideradas as mais importantes, no entanto, esta seleção foi acrescida das características de intensidade da coloração e odor.

## Localização da área de estudo

Os cinco municípios objeto das pesquisas no Estado da Paraíba (São José do Sabugi, Campina Grande e São João do Cariri) e no Estado de Pernambuco (Caruaru e Pesqueira) foram pré-selecionados pelo projeto cisternas da ATECEL-FINEP-UFCG, em parceria com Embrapa Semi-Árido e outras instituições (Figura 4.1).

A equipe de pesquisadores da Embrapa Semi-Árido contribuiu na avaliação preliminar dos recursos naturais e socioeconômicos dos municípios pesquisados e disponibilizou as bases de dados existentes no Laboratório de Sustentabilidade Ambiental. As informações foram sistematizadas em mapas digitais, tendo como unidade cartográfica de referência, o período de meses secos contínuos e geoprocessados sobre a base municipal.

As bases de dados georreferenciadas utilizadas na construção do Indicador de Qualidade de Uso de Água em Cisternas foram organizadas a partir de amostras de água, analisadas *in loco*, nos municípios estudados. Também, foram utilizadas as seguintes bases de dados: (i) poços tubulares (CPRM/Embrapa Meio Ambiente e Embrapa Semi-Árido), (ii) qualidade físico-química e microbiológica de águas provenientes das cisternas do Programa do MDS, em parceria com a ASA e (iii) agricultura irrigada, proveniente do Cadastro Frutícola da região Nordeste (CODEVASF).

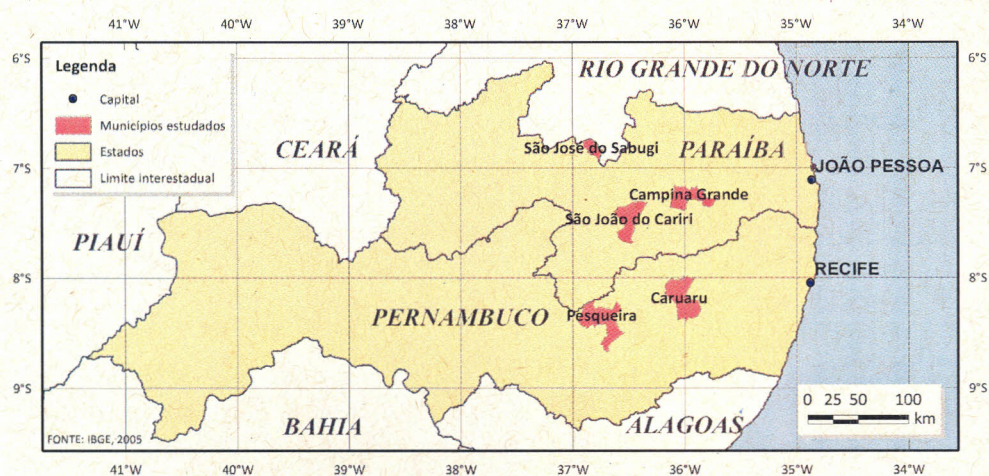


Figura 4.1. Localização das cinco comunidades rurais pesquisadas pertencentes ao Estado da Paraíba (São José do Sabugi, Campina Grande e São João do Cariri) e Pernambuco (Caruaru e Pesqueira).

Os parâmetros físico-químicos mensurados foram: temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ), turbidez (NTU), condutividade ( $\text{mS cm}^{-1}$ ), sal ( $\text{mg L}^{-1}$ ), oxigênio dissolvido ( $\text{mg L}^{-1}$ ), sólidos totais dissolvidos ( $\text{mg L}^{-1}$ ), amônia ( $\text{mg L}^{-1}$ ), amônio ( $\text{mg L}^{-1}$ ), cloretos ( $\text{mg L}^{-1}$ ) e nitrato ( $\text{mg L}^{-1}$ ). As amostras de água utilizadas pelas famílias para consumo, água de beber, foram coletadas em 288 domicílios, sendo 143 na Paraíba e 145 no Estado de Pernambuco. As análises foram feitas em tempo real com a utilização de uma Sonda Multiparâmetros (Multiprobe - DataSonde 4a) e um Medidor (Surveyor 4a) (Figura 4.2).



Figura 4.2. Instrumentos utilizados na coleta de amostras, no registro dos dados e no georreferenciamento dos pontos amostrados.

## Análise Estatística

A análise estatística multivariada remonta aos anos 30 e, após o seu advento, a sua utilização permitiu avanços significativos na pesquisa ambiental. Silva & Souza (1987) destacaram que diferentes conjuntos de dados têm considerações incomparáveis em relação a estatística convencional, devido a coleta ser realizada em contextos diversos nos sistemas ambientais.

Este tipo de análise permite inferir simultaneamente a complexidade de um conjunto de dados, considerando as semelhanças e/ou diferenças. Para obtenção dos resultados é utilizada a transformação das informações, no espaço geométrico multidimensional, em que a capacidade de interpretação humana não consegue visualizar, a não ser imaginariamente. Silva & Machado (1997) consideram que a relativa complexidade teórica inibe a utilização mais ampla do método.

Escofier & Pagès (1992) consideram os métodos multivariados um instrumento de síntese, por intermédio do qual é possível obter representações simplificadas de grandes massas de dados. Eles permitem, ainda, interpretar com maior facilidade, graças à hierarquização e eliminação dos efeitos marginais e pontuais que perturbam a percepção global.

A partir dos dados originais obtidos dos 7 parâmetros estudados realizou-se a análise estatística com o auxílio do software SAS (Statistical Analysis System), utilizando o procedimento *Factor* (SAS/STAT, 2002). A análise estatística foi feita considerando-se os valores médios dos dados coletados nos 288 pontos de coleta georreferenciados.

Os métodos de análise estatística utilizados foram a Análise Fatorial e a Análise de Agrupamento (*cluster analysis*), por enquadrarem-se na técnica de análise multivariada,

onde são efetuadas mensurações múltiplas sobre uma amostra, que fornece um melhor entendimento na razão direta do número de variáveis utilizadas e permite considerar simultaneamente a variabilidade existente nas diversas propriedades medidas. Esta técnica mostra-se adequada para o agrupamento dos parâmetros analisados, pois os considera em conjunto e com unidades de medidas diferentes.

A utilização de modelos multivariados pode ser feito numa diversidade de campos, mas dada à multiplicidade de características existentes nos ecossistemas hídricos, sua aplicação tem sido cada vez mais empregada, pois esses ambientes representam sistemas complexos nos quais aparecem os mais diferentes efeitos isolados.

## Análise Fatorial

A análise fatorial foi desenvolvida pelo psicólogo Charles Spearman em 1904 e atualmente é utilizada nos campos da sociologia, medicina, educação, economia, agronomia e limnologia (Shoji, Yamanote, Nakamura, 1966). Pertence ao grupo de técnicas que, em estatística é denominada Análise Multivariada. A análise fatorial consta de um conjunto de técnicas dirigidas ao estudo das correlações entre: diferentes variáveis, os indivíduos da amostra, indivíduos e variáveis, segundo as particularidades de cada caso. O resumo de um conjunto numeroso de dados por meio do emprego de um pequeno conjunto de fatores é o ponto comum destas técnicas. Com esta técnica é possível ordenar os indivíduos estudados em um espaço definido por um pequeno número de fatores, pelos quais fica expressa uma alta percentagem de variância total ocorrida no conjunto de pontos (Sanchez, 1988).

A análise fatorial procura condensar o espaço de muitas variáveis que descrevem uma realidade, em uma dimensão que facilite a análise (Harmann, 1976).

Na análise fatorial inicia-se com um grupo de variáveis  $X_1, X_2, \dots, X_p$ . Essas variáveis são usualmente padronizadas pelo programa de computador de forma que cada um das suas variâncias é igual a 1 e suas covariâncias são os coeficientes de correlação. Assumimos que cada  $x_i$  é uma variável padronizada, i.e.,  $x_i = (X_i - \bar{X}_i) / S_i$ . Na análise fatorial os  $x_i$ 's são chamados de *variáveis originais* ou *variáveis resposta*. O modelo de análise fatorial assume que cada variável original  $X_i$  pode ser expressa como uma função linear de um menor número de *fatores comuns*, por serem comuns às variáveis, mais uma componente de variação residual, ou seja:

$$X_i = \sum_{j=1}^n \lambda_{ij} f_j + e_i$$

em que;

$\lambda_{ij}$  é a carga fatorial da  $i$ -ésima variável no  $j$ -ésimo fator comum, refletindo a importância do  $j$ -ésimo fator na composição da  $i$ -ésima variável;

$f_j$  são os fatores comuns;

$e_i$  são fatores específicos, que descrevem a variação residual específica da  $i$ -ésima variável.

A equação acima e suas concepções constituem o chamado Modelo Fator (*Factor Model*), desse modo cada uma das variáveis é composta de uma parte devido aos fatores comuns e outra devido a eles pertencerem ao fator único (escore fatorial).

O objetivo principal da análise fatorial é estimar fatores com facilidade de interpretação, torna-se possível estimar novos fatores com elevados coeficientes de saturação, mais fáceis de interpretar. Esses novos fatores são obtidos por rotação ortogonal e são selecionados de modo que os coeficientes de saturação estejam próximos de  $\pm 1$  (Afifi & Clark, 1984), tornando-se fácil dar a cada fator uma interpretação a respeito de uma variável ou a conjunto de variáveis (que defina uma atividade ou característica), que com ele está altamente correlacionado.

Inicialmente, procedeu-se a análise fatorial, com o objetivo de reduzir um conjunto de variáveis - que caracteriza os parâmetros - a um número de (fatores) que representasse o comportamento dessas variáveis originais.

A determinação do número de fatores na análise fatorial baseia-se na percentagem da variância total das variáveis, que é explicada pelo conjunto de fatores, associada à representatividade destes à realidade da situação em estudo. Concluiu-se, após algumas tentativas, que três fatores seriam adequados para o caso em estudo.

## **Análise de Agrupamentos**

A análise de agrupamento ou *cluster analysis* compõe-se de algoritmos que pressupõe agrupar ou separar um conjunto de indivíduos (dados), em um número restrito de classes homogêneas, de modo que exista heterogeneidade, inclusive entre os elementos de grupamentos ordenados distintamente. As variáveis devem ser altamente associadas, uma após as outras, em diferentes agrupamentos e relativamente distintas umas das outras. Este processamento facilita a análise, a legibilidade, as comparações, a concentração e as transformações das estatísticas (Everitt, 1974).

Na análise de agrupamento, variáveis, elementos ou unidades constituem grupos homogêneos a partir de indicadores de semelhança ou de afinidades entre eles, Esses indicadores estão contidos numa matriz chamada *matriz de proximidade ou similaridade*. O termo *similaridade* se refere a índice de proximidade, que aumenta à medida que cresce a semelhança entre as observações. Esses índices são expressos numericamente. Se  $n$  medidas para um elemento  $i$ , são dadas em um vetor  $X_i$ ,  $n \times 1$ , a distância do elemento  $i$  a outro elemento  $j$  pode ser calculada, na forma mais simples, de acordo com:

$$D_{ij} = [(X_i - X_j)'(X_i - X_j)]^{1/2}$$

Esse cálculo pode ser generalizado para todos os elementos do estudo (Hinz, 1975). As distâncias são representadas na matriz de proximidade, e a anotação da  $ij$ , a posição, nessa matriz, indica a distância entre o elemento  $i$  e o elemento  $j$ . Essa matriz é simétrica ( $d_{ij} = d_{ji}$ ), com zeros na diagonal principal.

Finalmente com a finalidade de completar o desenvolvimento metodológico da construção do indicador de qualidade de uso da água da cisterna, realizou-se a hierarquização das variáveis estudadas, a qual permitiu identificar os grupos homogêneos de usuários das águas das cisternas, permitindo selecionar os pontos amostrados, de acordo com resultados e indicações das análises efetivadas, para sugestões de medidas atenuantes, preventivas e/ou corretivas da gestão das águas das cisternas domiciliares, utilizadas para consumo humano nos municípios do Estado da Paraíba. Procedimento similar foi feito para os dois municípios do Estado de Pernambuco, pesquisados.

Os valores para tamanho da amostra, média, desvio padrão e valores mínimos e máximos das variáveis mensuradas, são apresentados nas Tabelas 4.1 e 4.2. Na Tabela 4.1 são apresentados os dados médios obtidos nas 143 amostras de água (água de beber), do Estado da Paraíba, para as variáveis estudadas e mensuradas *in loco* nos domicílios pesquisados, no mês de maio de 2007. Os pontos amostrados foram devidamente georreferenciados e especificado a data e a hora da coleta e registro das informações, as quais se encontram sistematizadas no Banco de Dados, construído por meio do Software CSPRO V. 3.3. (<http://www.census2010.gov/ipc/www/cspro/index.html>).

Verifica-se que os valores médios obtidos para as variáveis mencionadas nos 143 domicílios amostrados, no Estado da Paraíba e, os 145 pesquisados no Estado de Pernambuco (Tabela 4.2), os quais encontram-se dentro dos limites estabelecidos como não restritivos, quando comparados com os valores do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) para águas de beber. Entretanto os valores médios encontrados para turbidez, pH, amônia e cloreto no Estado da Paraíba e turbidez e cloreto no Estado de Pernambuco, ultrapassam os padrões estabelecidos pelo OMS.

**TABELA 4.1.** Estatística descritiva das variáveis estudadas nos municípios do estado da Paraíba, comparadas com os teores máximos considerados potencialmente prejudiciais para águas utilizadas para beber pelos padrões do Conselho Nacional de Meio Ambiente, Resolução nº20, 18/06/86 (CONAMA) e pela Organização Mundial de Saúde (OMS).

Variável	N	Média	Desvio Padrão	Valor		Teores máximos	
				Mínimo	Máximo	CONAMA	OMS
Temperatura	143	24.99	1.41	22.65	27.21		
Turbidez	143	2.09	3.78	0.00	<b>14.85</b>		5.0
pH	143	8.33	0.43	7.08	<b>9.98</b>	6.0-9.0	8.0
Sal	143	0.13	0.14	0.02	0.86		
OD*	143	7.21	1.59	4.85	11.35	>5.0	
TDS**	143	0.17	0.12	0.03	0.55		1.0
Amônia	143	0.78	1.68	0.02	<b>8.27</b>		0.5
Cloreto	143	5.84	7.17	0.52	<b>43.73</b>		5.0
Nitrato	143	0.85	1.02	0.01	3.72		50

(\*) Oxigênio dissolvido - (\*\*) Sólidos totais dissolvidos.

**TABELA 4.2.** Estatística descritiva das variáveis estudadas nos municípios do estado de Pernambuco, comparadas com os teores máximos considerados potencialmente prejudiciais para águas utilizadas para beber pelos padrões do Conselho Nacional de Meio Ambiente, Resolução nº20, 18/06/86 (CONAMA) e pela Organização Mundial de Saúde (OMS).

Variável	No.	Média	Desvio Padrão	Valor		Teores máximos	
				Mínimo	Máximo	CONAMA	OMS
Temperatura	145	22.86	0.31	22.28	23.39		
Turbidez	145	2.81	4.68	0.00	<b>14.80</b>		5.0
pH	145	8.48	0.33	7.53	9.58	6.0-9.0	8.0
Sal	145	0.07	0.05	0.01	0.39		
DO*	145	7.19	1.11	4.56	11.96	>5.0	
TDS**	145	0.09	0.07	0.01	0.52		1.0
Amônia	145	0.26	0.36	0.01	2.99		0.5
Cloreto	145	4.67	14.16	0.05	<b>84.44</b>		5.0
Nitrato	145	0.68	0.49	0.03	2.84		50

(\*) Oxigênio dissolvido - (\*\*) Sólidos totais dissolvidos.

Os resultados da estatística descritiva não foram suficientes para explicar o uso da água de beber, provenientes de cisternas domiciliares, por considerar as médias e a amplitude dos valores analisados. Devido a complexidade e as interações inerentes com o ambiente, ações antropogênicas e a possibilidade de abastecimento das cisternas com água oriundas de outras fontes (cacimbas, açudes, poços, lagos, rios e barreiros), optou-se pela utilização de métodos de análise mais adequado e por esse motivo recorreu-se a Análise Fatorial e Análise de Agrupamento com a finalidade de melhor compreensão do comportamento das nove (9) variáveis estudadas, abordando-as como um sistema complexo que é característico dos corpos hídricos, principalmente na região semi-árida brasileira. Estes dois métodos de análise estatística se enquadram na técnica de análise multivariada, a qual permite inferir, simultaneamente, a complexidade de um conjunto de dados, considerando as suas similaridades e/ou diferenças.

### Identificação de Fatores

A técnica de análise fatorial é um importante instrumento no estudo dos parâmetros físico-químicos para a avaliação da qualidade das águas provenientes de quaisquer fontes hídricas, quer seja superficial ou de origem subterrânea. Porém sua utilização, se puramente estatística, pode ocasionar erros de interpretação. É necessário a verificação da matriz de correlação e a distribuição de cargas fatoriais que explicam o comportamento do corpo hídrico.

O uso desta ferramenta tem a finalidade de simplificar e precisar o processo de avaliação da qualidade das águas, usadas para consumo humano. Além disso, não elimina a necessidade de enquadramento dos corpos de água, que devem estar baseados não necessariamente no seu estado atual, mas nos níveis de qualidade que deveriam possuir para atender as necessidades da comunidade.

Considerando as ressalvas anteriores, apresenta-se nas Tabelas 4.3 e 4.4, os valores obtidos para as cargas fatoriais rotacionadas pelo método Varimax, as estimativas finais das comunalidades, e as percentagens *explicadas* da variância total relativa a cada fator e acumulada para dois, três e quatro fatores, para os municípios avaliados nos Estados da Paraíba e Pernambuco, respectivamente. As cargas fatoriais são os coeficientes de correlação entre cada uma das variáveis e os respectivos fatores. As comunalidades fornecem a proporção da variância de cada variável que é *explicada* pelo número de fatores considerados adequados na análise.

Nas mesmas Tabelas verifica-se pelas comunalidades finais, que as variáveis mais explicadas foram, turbidez, NH<sub>3</sub>, pH, oxigênio dissolvido e sal para as amostras de água coletadas na Paraíba, enquanto em Pernambuco foram: sal, sólidos totais dissolvidos, pH, NH<sub>3</sub> e temperatura. As menos explicadas na Paraíba foram: temperatura, nitrato, TDS e cloreto e, em Pernambuco, destacaram-se a oxigênio dissolvido, turbidez, nitrato e cloreto.

**TABELA 4.3 - Cargas Fatoriais para os resultados obtidos, pelo método VARIMAX, com a rotação ortogonal dos fatores principais das variáveis físico-químicas das águas de beber nos municípios do Estado da Paraíba.**

Variáveis	Cargas Fatoriais para				Comunalidades Finais (%)
	F1	F2	F3	F4	
Sal (mg L <sup>-1</sup> )	<b>0.90</b>	0.09	-0.02	-0.03	82,50
Cloreto (mg L <sup>-1</sup> )	<b>0.88</b>	-0.02	-0.05	-0.15	79,65
TDS (g L <sup>-1</sup> )	<b>0.85</b>	0.10	-0.01	0.18	76,96
OD (mg L <sup>-1</sup> )	-0.03	<b>0.86</b>	0.26	0.00	81,59
Nitrato (mg L <sup>-1</sup> )	0.20	<b>0.83</b>	-0.18	0.04	75,83
Temperatura (°C)	0.01	<b>0.76</b>	0.24	-0.09	64,68
NH <sub>3</sub> (mg L <sup>-1</sup> )	0.07	0.13	<b>0.93</b>	0.11	89,89
pH	-0.14	0.13	<b>0.92</b>	-0.11	89,51
Turbidez (NTU)	-0.01	-0.03	0.00	<b>0.98</b>	96,89
Variância explicada para cada fator	2.38	2.06	1.88	1.06	
% da Variância total	28.72	26.28	15.23	11.71	
% acumulada	28.72	55.00	70.23	81.95	

(\*) Oxigênio dissolvido - (\*\*) Sólidos totais dissolvidos.



**TABELA 4.4 - Cargas Fatoriais para os resultados obtidos, pelo método VARIMAX, com a rotação ortogonal dos fatores principais das variáveis físico-químicas das águas de beber nos municípios do Estado de Pernambuco.**

Variáveis	Cargas Fatoriais para				Comunalidades Finais (%)
	F1	F2	F3	F4	
Sal (mg L <sup>-1</sup> )	<b>0.96</b>	0.13	0.00	-0.02	93,46
TDS** (g L <sup>-1</sup> )	<b>0.96</b>	0.13	0.01	-0.03	93,17
Cloreto (mg L <sup>-1</sup> )	<b>0.81</b>	-0.20	0.12	-0.06	71,47
pH	-0.11	<b>0.91</b>	-0.06	-0.14	86,96
NH <sub>3</sub> (mg L <sup>-1</sup> )	0.16	<b>0.89</b>	0.16	0.04	84,49
Temperatura (°C)	0.26	-0.06	<b>0.87</b>	-0.13	84,52
Nitrato (mg L <sup>-1</sup> )	0.43	-0.31	<b>-0.66</b>	-0.21	76,37
Turbidez (NTU)	0.04	0.02	0.18	<b>0.78</b>	64,99
OD* (mg L <sup>-1</sup> )	0.13	0.12	0.29	<b>-0.66</b>	55,34
Variância explicada para cada fator	2.80	1.81	1.35	1.14	
% da Variância total	31.62	21.46	13.79	12.10	
% acumulada	31.62	53.08	66.87	78.98	

(\*) Oxigênio dissolvido - (\*\*) Sólidos totais dissolvidos.

Observa-se que as cargas fatoriais, nas amostras de água provenientes dos municípios paraibanos, no que refere-se ao fator F1, denominado “*Salinidade*”, por associar as variáveis sal, cloreto e TDS, têm contribuição significativa no Fator, com valores de cargas fatoriais de 0,90, 0,88 e 0,85, respectivamente. O segundo Fator F2, denominado “*Nutrientes*”, tem na sua formação o destaque da associação entre oxigênio dissolvido, nitrato e temperatura, cujos valores de contribuição no Fator foram de 0,86, 0,83 e 0,76, respectivamente. O Fator 3 denominado de “*Alcalinidade*” está associado às variáveis amônia e pH e mostrou-se positivo e mais fortemente correlacionado com estas variáveis, já que as cargas fatoriais tem valores próximo de 1 e não apresentam diferenças significativas. O Fator 4 nomeado de “*Turbidez*” é descrito exclusivamente, pela variável turbidez, sendo o mais fortemente correlacionado, entre os quatro fatores, com carga fatorial igual a 0,98, praticamente igual a unidade. Esses quatro fatores em conjunto captaram 81,95% da variância total dos fatores, sendo que 28,72%, 26,28%, 15,23% e 11,71% dessa variância foram explicadas pelos fatores F1, F2, F3 e F4, respectivamente.

As cargas fatoriais, para os resultados obtidos nas análises de qualidade de água nos municípios pernambucanos, tiveram comportamentos similares aos dos municípios paraibanos em relação ao Fator 1, também denominado de “*Salinidade*”, apenas havendo uma inversão entre nas variáveis TDS e cloreto, com valores de contribuição no Fator de 0,96 e 0,81, respectivamente, enquanto a variável sal, que representa a salinidade teve valor de 0,96. O Fator 2 foi denominado de “*Alcalinidade*” devido a estar fortemente correlacionado com as variáveis pH e NH<sub>3</sub>, com valores de contribuição da carga fatorial de 0,91 e 0,89, respectivamente. O Fator 3 foi interpretado como “*Temperatura da água*” em função da presença da variável temperatura, que segundo as estimativas finais das comunalidades

apresentaram uma explicação de 76,37% e 84,52%, respectivamente. O Fator 4 foi denominado de “Turbidez”, sendo representado pelas variáveis turbidez e oxigênio dissolvido, com valores de contribuição no Fator de 0,78 e -0,66, explicadas pelas estimativas das comunalidades finais em 64,99% e 55,34%. Salienta-se que a carga fatorial da taxa de oxigênio se apresentou negativa, significando que esta variável é inversamente proporcional a turbidez da água. O mesmo comportamento foi observado no Fator 3 com as variáveis nitrato e temperatura.

Os quatro fatores resultantes da análise fatorial mostraram as variáveis associadas entre si que possibilitaram a avaliação da qualidade das águas nos municípios paraibanos e pernambucanos com menor número de variáveis e maior compreensão do sistema.

Os resultados da Análise Fatorial foram usados para a estratificação dos grupos, por meio da Análise de Agrupamento. Também, foi usado para efeito de estratificação o mecanismo de seleção de variáveis em ordem hierárquica seqüencial, o método estatístico Stepwise a partir da variável mais significativa, como é possível observar nas Tabelas 4.5 e 4.6. Na Tabela 4.5 o pH é a variável que mais discrimina as amostras de água coletadas nos municípios paraibanos, seguidas das variáveis sólidos totais dissolvidos, turbidez, temperatura e oxigênio dissolvido. No caso dos municípios pernambucanos o resultado também, é similar para a variável pH, porém nos passos seguintes, são selecionadas outras variáveis, tais como: sal, nitrato, turbidez e temperatura, nesta ordem seqüencial.

**TABELA 4.5 – Hierarquização das variáveis avaliadas em termos de significância pelo método estatístico *Stepwise* (Summary of Stepwise Selection) em função da variável amônia (NH<sub>3</sub>) presente nas amostras de água, coletadas nos municípios do Estado da Paraíba.**

Hierarquização das variáveis			
Passo	Variável	R <sup>2</sup>	Pr > F
1	pH	0.6037	<.0001
2	TDS** (mg L <sup>-1</sup> )	0.6563	<.0001
3	Turbidez (NTU)	0.6719	0.0112
4	Temperatura (°C)	0.6794	0.0750
5	OD* (mg L <sup>-1</sup> )	0.6846	0.1354

(\*) Oxigênio dissolvido - (\*\*)Sólidos totais dissolvidos.

**TABELA 4.6 – Hierarquização das variáveis avaliadas em termos de significância pelo método estatístico *Stepwise* (Summary of Stepwise Selection) em função em função da variável amônia (NH<sub>3</sub>) presente nas amostras de água, coletadas nos municípios do Estado da Pernambuco.**

Hierarquização das variáveis			
Passo	Variável	R <sup>2</sup>	Pr > F
1	pH	0.4519	<.0001
2	Sal (mg L <sup>-1</sup> )	0.4993	0.0003
3	Nitrato (mg L <sup>-1</sup> )	0.5302	0.0028
4	Turbidez (NTU)	0.5414	0.0664
5	Temperatura (°C)	0.5503	0.0991

Obtidos os escores fatoriais, para cada um dos 143 domicílios amostrados na Paraíba e 145 em Pernambuco, com relação a cada fator, executou-se a Análise de Agrupamentos. O método utilizado foi o FASTCLUS (SAS/STAT..., 2002) baseado nos escores dos fatores. Assim, buscou-se a similaridade entre os domicílios amostrados que apresentassem níveis próximos desses fatores, constituindo-se em grupos homogêneos, apresentados nas Tabelas 4.7 e 4.8. Nas mesmas Tabelas constam a freqüência e médias dos agrupamentos dos domicílios amostrados na Paraíba e Pernambuco respectivamente.

No presente estudo foi utilizada a metodologia de classificação da qualidade de uso de água de beber proveniente de cisternas domiciliares por taxonomia numérica para obtenção dos resultados descritos nas Tabelas 4.7 e 4.8.

A Análise de Agrupamento discriminada na Tabela 4.7 apresentou como resultado a agregação de dois (2) pontos amostrados num primeiro grupo, vinte e quatro (24) num segundo, treze (13) num terceiro e cento e quatro (104) num quarto grupo. Na Tabela 4.8 a freqüência dos agrupamentos ocorreu em forma natural e diferenciada dos municípios do Estado da Paraíba, já que apresentou a agregação de dois (2) domicílios amostrados no primeiro grupo, cento e trinta e seis (136) no segundo, três (3) no terceiro e quatro (4) no quarto agrupamento.

**TABELA 4.7 - Freqüência e médias dos agrupamentos dos pontos amostrados nos municípios do Estado da Paraíba.**

		Média dos Grupos								
Grupo	Fre- qüência	Temperatura. (°C)	Turbidez (NTU)	pH	Sal (mS cm <sup>-1</sup> )	OD (mg L <sup>-1</sup> )	TDS (mg L <sup>-1</sup> )	NH <sub>3</sub> (mg L <sup>-1</sup> )	Cloreto (mg L <sup>-1</sup> )	Nitrato (mg L <sup>-1</sup> )
1	2	25.08	0.25	8.00	0.86	8.22	0.33	0.72	42.85	3.36
2	24	24.91	0.96	8.14	0.23	6.63	0.31	0.26	15.60	0.66
3	13	24.76	12.77	8.21	0.13	7.03	0.20	1.14	3.98	0.68
4	104	25.03	1.05	8.40	0.10	7.35	0.12	0.86	3.10	0.87

**TABELA 4.8 - Freqüência e médias dos agrupamentos dos pontos amostrados nos municípios do Estado de Pernambuco.**

Grupo	Freqüência	Média dos Grupos								
		Temperatura	Turbidez	pH	Sal	OD	TDS	NH <sub>3</sub>	Cloreto	Nitrato
		(°C)	(NTU)		(mS cm <sup>-1</sup> )	mg L <sup>-1</sup>	mg L <sup>-1</sup>	mg L <sup>-1</sup>	mg L <sup>-1</sup>	mg L <sup>-1</sup>
1	2	23.12	10.80	8.11	0.20	7.18	0.26	0.13	58.01	1.13
2	136	22.84	2.82	8.50	0.06	7.15	0.08	0.26	1.55	0.64
3	3	23.20	0.68	8.21	0.23	8.75	0.31	0.14	84.44	1.65
4	4	23.11	0.28	8.22	0.16	7.21	0.21	0.37	24.20	0.99

As análises físico-químicas de qualidade de água para beber, provenientes de cisternas domiciliares pesquisadas na Paraíba, apresentaram como restrição, especificamente, a variável amônia, que ultrapassa o limite permitido para as águas de Classe 1, com média de 0,26 mg L<sup>-1</sup> no Grupo 2; 0,72 no Grupo 1; 0,86 no Grupo 4 e 1,14 mg L<sup>-1</sup> no Grupo 3, considerado na Análise de Agrupamento como o de maior risco de contaminação.

Na Tabela 4.7 encontra-se especificado o Grupo 1 que agrega dois domicílios amostrados. Nesses, a variável classificatória Amônia (NH<sub>3</sub>) com média de 0,72 mg L<sup>-1</sup> foi a responsável pela caracterização das águas de beber. Provavelmente, a presença desse composto, com valores superiores a zero para as águas de abastecimento doméstico, deve-se a problemas de infiltração nas cisternas ou sujeiras acumuladas, devido a longo período de uso sem lavagem, sem a eliminação das primeiras águas de chuva e/ou a permanência da porta de acesso aberta por muito tempo. Recomenda-se uma vistoria nas cisternas pertencentes aos dois domicílios pesquisados e, que compuseram este agrupamento. Este grupo em função da análise foi classificado em termos de qualidade de uso, como de risco Médio.

O Grupo 2 é o de menor média em relação a variável amônia. Esse tem em sua composição as variáveis temperatura, oxigênio dissolvido e nitrato como atributos que qualificaram as águas de vinte e quatro domicílios amostrados. Estas variáveis estão altamente correlacionadas, confirmando as interações e alto grau de dependência existentes nos processos físico-químicos que ocorreram nas águas analisadas. Apesar dos valores encontrados estarem abaixo dos teores máximos permitidos para a Classe 1 de água, estabelecidos pelo CONAMA, para consumo humano, a variável amônia (NH<sub>3</sub>) é restritiva. Mesmo assim, este grupo foi considerado o melhor classificado, dentre os quatros avaliados, recebendo a classificação de risco de contaminação Baixo. Salienta-se que as cores das médias dos agrupamentos são simbólicas, isto é, a cor azul de um determinado agrupamento, apenas significa que este, tem a sua qualidade de água diferenciada em relação aos demais.

O Grupo 3 representa treze domicílios amostrados, e tem as variáveis pH e amônia como indicadoras da qualidade de águas. Essas variáveis estão estreitamente relacionadas e são interdependentes, pois a variação do pH afeta o teor de amônia. Apesar dos valores encontrados para essas variáveis não serem alarmantes, pois na maioria dos locais amostrados essas variáveis enquadram-se nos limites estabelecidos pelo CONAMA, para as Classes 1. Por esse motivo recomenda-se cuidados específicos e vistoria imediata nas cisternas, pertencentes a estes domicílios. Este grupo foi classificado como de risco Elevado.

O Grupo 4, da Tabela 4.7, representa cento e quatro domicílios pesquisados e tem problemas similares ao Grupo 3, porém não tão significativos. São indispensáveis cuidados específicos e uma maior dedicação da equipe de Educação Ambiental, com vistas à capacitação da comunidade, já que o teor de amônia encontrado está, algumas vezes superior ao recomendado para a qualidade das águas de consumo humano. Este grupo foi classificado como de Risco Alto.

Grupo 1 - Similarmente, na Tabela 4.8, as variáveis classificatórias foram o teor de cloreto e a turbidez. A variável cloreto não ultrapassou o limite máximo permitido (Resolução CONAMA - 250 mg L<sup>-1</sup>) para as médias dos quatros agrupamentos descritos na Tabela 4.8. O teor médio de cloreto encontrado para o Grupo 1, que agrega dois domicílios amostrados, foi de 58,01 mg L<sup>-1</sup>. Verificou-se durante a pesquisa de campo, que a maioria das famílias adicionam cloro a água de consumo, sem nem um controle da dosagem recomendada e, também, abastecem as cisternas com água proveniente de poços tubulares, principalmente em localidades com recursos hídricos superficiais escassos. Por este motivo, recomenda-se um trabalho de Educação Ambiental específico, sobre cloração para todas as famílias da comunidade estudada. Enquanto a variável turbidez, apesar de se manter dentro do limite máximo permitido (40 unidades nefelométricas – NTU), no Grupo 1, apresentou valor altamente significativo em relação as médias dos demais agrupamentos. Por este motivo, o Grupo 1 foi classificado em termos de qualidade de uso, como de risco Elevado.

O Grupo 2 é o de menor média entre os agrupamentos em relação às variáveis cloreto (1,55 mg L<sup>-1</sup>) e nitrato (0,64 mg L<sup>-1</sup>), as quais possibilitaram qualificar as águas de consumo humano de cento e trinta e seis domicílios. Essas variáveis foram altamente correlacionadas, o que confirma as suas interações e o alto grau de dependência nos processos físico-químicos, que ocorreram nas águas analisadas das comunidades de Caruaru e Pesqueira, em Pernambuco. As amplitudes de variação de todos os parâmetros físico-químicos no Grupo 2, não ultrapassaram os limites potencialmente prejudiciais, segundo a Resolução CONAMA para consumo humano. Por essa razão, foi considerado o agrupamento médio melhor classificado, entre os quatros avaliados, recebendo a classificação de Baixo risco de contaminação.

O Grupo 3 representou três domicílios amostrados e teve o teor máximo de cloreto (84,44 mg L<sup>-1</sup>), entre os agrupamentos avaliados. Em função desse resultado o Grupo 3 foi classificado como de risco Alto.

O Grupo 4, na Tabela 4.8, representa quatro domicílios pesquisados e tem problemas similares ao grupo 1, porém não significativos em relação a turbidez. Este grupo foi classificado como de Risco Médio.

Nas Tabelas 4.9 e 4.10, encontram-se todos os domicílios amostrados, tanto no Estado da Paraíba como no Estado de Pernambuco, agrupados conforme os resultados da análise estatística, nos Grupos 1, 2, 3 e 4, identificando os locais onde foram mensuradas as variáveis estudadas para avaliação da qualidade das águas das cisternas domiciliares. Estão classificados e simbolizados, seguindo-se critérios similares aos comentados anteriormente: risco elevado, alto, médio e/ou baixo de contaminação, convencionados pelas cores vermelha, amarela, verde e azul, respectivamente. Os domicílios encontram-se georreferenciados no Banco de Dados, construído por meio do software CSPRO v. 3.3., para identificação e localização, bem como remessa dos resultados obtidos aos interessados para que sejam tomadas as medidas necessárias à preservação e conservação das águas das cisternas avaliadas nos dois Estados da Federação.

**TABELA 4.9 – Classificação dos 143 domicílios amostrados, georreferenciados, obtidos pela análise de agrupamentos, a partir da hierarquização das variáveis avaliadas em termos de significância, pelo método estatístico Stepwise, pertencentes aos municípios de São João do Cariri, Campina Grande e São José do Sabugi, do Estado da Paraíba.**

Grupos	Domicílios Amostrados	Identificação dos domicílios pesquisados (PB)						
1	2	PB0416	PB0724					
2	24	PB0101	PB0102	PB0130	PB0202	PB0303	PB0312	PB0316
		PB0501	PB0503	PB0512	PB0519	PB0523	PB0524	PB0527
		PB0402	PB0406	PB0407	PB0408	PB0409		
		PB0602	PB0705	PB0714	PB0801	PB0802		
3	13	PB0123	PB0213	PB0219	PB0505	PB0604	PB0715	PB0804
		PB0805	PB0807	PB0810	PB0813	PB0814	PB0816	
4	104	PB0104	PB0117	PB0118	PB0121	PB0124	PB0125	PB0126
		PB0127	PB0128	PB0129	PB0201	PB0203	PB0204	PB0206
		PB0207	PB0208	PB0209	PB0212	PB0214	PB0215	PB0216
		PB0217	PB0218	PB0220	PB0221	PB0222	PB0304	PB0305
		PB0307	PB0308	PB0309	PB0310	PB0311	PB0313	PB0314
		PB0315	PB0317	PB0401	PB0404	PB0410	PB0411	PB0412
		PB0413	PB0417	PB0418	PB0419	PB0422	PB0423	PB0424
		PB0425	PB0426	PB0427	PB0428	PB0502	PB0506	PB0507
		PB0509	PB0510	PB0513	PB0514	PB0515	PB0516	PB0517
		PB0517	PB0518	PB0521	PB0522	PB0525	PB0526	PB0528
		PB0529	PB0605	PB0606	PB0607	PB0608	PB0610	PB0612
		PB0614	PB0615	PB0616	PB0707	PB0708	PB0709	PB0710
		PB0711	PB0712	PB0713	PB0716	PB0717	PB0718	PB0719
		PB0720	PB0721	PB0722	PB0723	PB0725	PB0726	PB0727
		PB0803	PB0808	PB0809	PB0811	PB0812	PB0815	PB0817

**TABELA 4.10 – Classificação dos 145 domicílios amostrados, georreferenciados, obtidos pela análise de agrupamentos, a partir da hierarquização das variáveis avaliadas em termos de significância, pelo método estatístico Stepwise, pertencentes aos municípios Caruaru e Pesqueira do Estado de Pernambuco.**

Grupos	Domicílios Amostrados	Identificação dos domicílios pesquisados (PE)									
1	2	PE0405	PE0702								
2	136	PE0101	PE0102	PE0103	PE0104	PE0105	PE0106	PE0107	PE0108	PE0109	PE0110
		PE0111	PE0112	PE0113	PE0114	PE0115	PE0201	PE0202	PE0206	PE0207	PE0208
		PE0209	PE0210	PE0211	PE0212	PE0213	PE0214	PE0215	PE0216	PE0217	PE0218
		PE0301	PE0302	PE0303	PE0304	PE0306	PE0307	PE0308	PE0309	PE0310	PE0311
		PE0312	PE0313	PE0314	PE0317	PE0318	PE0319	PE0402	PE0403	PE0406	PE0407
		PE0408	PE0409	PE0410	PE0411	PE0412	PE0413	PE0415	PE0416	PE0417	PE0501
		PE0502	PE0505	PE0507	PE0509	PE0510	PE0511	PE0512	PE0513	PE0514	PE0515
		PE0516	PE0602	PE0603	PE0607	PE0609	PE0610	PE0611	PE0612	PE0613	PE0614
		PE0615	PE0618	PE0619	PE0701	PE0703	PE0704	PE0705	PE0706	PE0707	PE0709
		PE0710	PE0711	PE0712	PE0713	PE0714	PE0715	PE0716	PE0717	PE0718	PE0719
		PE0720	PE0721	PE0722	PE0725	PE0726	PE0727	PE0802	PE0803	PE0806	PE0807
		PE0808	PE0809	PE0811	PE0812	PE0813	PE0814	PE0901	PE0902	PE0903	PE0905
		PE0906	PE0907	PE0908	PE0909	PE0910	PE0911	PE0912	PE0913	PE1001	PE1002
		PE1003	PE1004	PE1005	PE1006	PE1007	PE1008				
3	3	PE0503	PE0504	PE0804							
4	4	PE0506	PE0601	PE0708	PE0801						