



UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE

FACULDADE DE ENGENHARIA

MESTRADO EM HIDRÁULICA E RECURSOS HÍDRICOS

DISSERTAÇÃO

Tema:

**APLICAÇÃO DA ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS NA AVALIAÇÃO
DOS FACTORES QUE INFLUENCIARAM A DOTAÇÃO DE ÁGUA PARA O
CONSUMO NO SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE MAPUTO
ENTRE 2011 E 2019**

Por: Anselmo Carlos Manuel Munhequete

Orientador: Prof. Doutor Jaime Palalane, Eng^o.

Maputo, Junho de 2022

**APLICAÇÃO DA ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS NA
AVALIAÇÃO DOS FACTORES QUE INFLUENCIARAM A
DOTAÇÃO DE ÁGUA PARA O CONSUMO NO SISTEMA DE
ABASTECIMENTO DE MAPUTO ENTRE 2011 E 2019**

Anselmo Carlos Manuel Munhequete

Dissertação para a obtenção do grau de
Mestrado em Hidráulica e Recursos Hídricos
ministrado pela Faculdade de Engenharia da
Universidade Eduardo Mondlane.

Orientador: Prof. Doutor Jaime Palalane, Eng^o.
Coordenador do curso: Prof. Doutor Nelson
Matsinhe, Eng^o.

Maputo, Junho de 2022

Breve Nota Biográfica

O candidato licenciou-se em Engenharia Civil pela Universidade Eduardo Mondlane (UEM), em 2008. Desde esse ano trabalha no Sector de Águas, tendo trabalhado no Fundo de Investimento e Património do Abastecimento de Água (FIPAG) onde desempenhou a função de Assistente do Coordenação dos Projectos de Reabilitação e Expansão dos Sistemas de Abastecimento de Água das Cidades de Xai-Xai, Chókwè, Inhambane, Maxixe, Lichinga e Cuamba, de 2008 a 2010.

Desde 2011 até a data, trabalha no Conselho de Regulação de Águas (CRA), actual Autoridade Reguladora de Águas, Instituto Público (AURA, IP), onde desempenhou funções de Técnico de Operações até 2018, Coordenador do Departamento de Operações de 2018 a 2021, e desde Abril de 2021 passou a desempenhar funções de Chefe do Departamento de Normação, Estudos e Projectos.

Foi docente (Assistente) na Faculdade de Engenharia da UEM, das disciplinas de Mecânica dos Solos 1 e 2, e da Disciplina de Abastecimento de Água, Drenagem e Saneamento. Foi ainda Docente no Instituto Superior Politécnico de Gaza -ISPG, das disciplinas de Reservatórios de Água e de Sistemas de Abastecimento de Água.

Desempenha desde 2018 as funções de Secretário de Direcção da Associação AQUASHARE, e de Presidente da Equipa Técnica de Projectos (Project technical task-force) da Eastern and Southern Africa Water and Sanitation Regulator Association (ESAWAS), em representação da AURA,IP.

É co-autor do artigo científico “Assessing the performance of urban water utilities in Mozambique using a water utility performance index” (Gallego-Ayala *et al.*, 2014) publicado no Jornal Water SA.

Agradecimentos

A minha esposa, pela compreensão e cedências em apoio aos meus estudos.

Aos meus filhos, obrigado por colocarem pressão para a necessidade de melhoramento da minha vida social e académica.

Aos meus pais e irmãos, pelo apoio e exemplos dados que me levaram a seguir com os estudos.

Ao meu amigo e padrinho de casamento, agradeço por me ter apoiado e encorajado.

Aos meus colegas do curso de mestrado, agradeço por terem caminhado comigo nesta causa, e me apoiado no esclarecimento das infinitas dúvidas que me vinham a cabeça.

Aos meus colegas de trabalho, obrigado por terem criado um ambiente favorável para os meus estudos, que por vezes, decerto implicou que trabalhassem a mais.

Aos docentes do curso de mestrado, agradeço pelos ensinamentos que moldaram não só o meu pensar, mas a minha forma de ser e de estar.

Índice

1.	INTRODUÇÃO.....	11
1.1.	ENQUADRAMENTO.....	11
1.2.	OBJECTIVOS.....	13
1.2.1.	Objectivo Geral.....	13
1.2.2.	Objectivos Específicos.....	13
1.2.3.	Perguntas de Pesquisa.....	13
1.3.	METODOLOGIA.....	15
1.4.	ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO.....	16
2.	REVISÃO DA LITERATURA.....	17
2.1.	DEFINIÇÕES ÚTEIS.....	17
2.2.	CORRELAÇÃO E REGRESSÃO LINEAR.....	21
2.2.1.	Transformação logarítmica e padronização.....	21
2.2.2.	Correlação.....	22
2.2.3.	Regressão linear.....	24
2.3.	ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS.....	27
2.3.1.	Definição da ACP.....	27
2.3.2.	Aplicação da ACP.....	27
2.3.3.	Obtenção das componentes principais.....	28
2.3.4.	Interpretação de dados da ACP.....	31
2.3.5.	Ferramentas de auxílio para a aplicação da ACP (RStudio).....	32
3.	CARACTERIZAÇÃO DO OBJECTO DE ESTUDO.....	34
3.1.	O SAA DO GRANDE MAPUTO.....	34
3.2.	HISTÓRICO DE OCORRÊNCIAS COM IMPACTO NA DOTAÇÃO PER CAPITA.....	36
3.2.1.	Ocorrências de índole endógena.....	37
3.2.1.1.	Variação do número de ligações, produção, distribuição e tempo de distribuição.....	37
3.2.2.	Ocorrências de índole exógena.....	40
3.2.2.1.	Variação do volume de armazenamento da BPL.....	40
3.2.2.2.	Caudal de descarga da BPL e gestão do uso da água.....	41
3.2.2.3.	Nível de água no ponto de captação.....	43
3.2.2.4.	Perdas de água.....	45
4.	ANÁLISE DO PROBLEMA.....	47
4.1.	IDENTIFICAÇÃO FACTORES COM POTENCIAL PARA INFLUENCIAR A DOTAÇÃO PER CAPITA.....	47
4.2.	DETERMINAÇÃO DO VOLUME PER CAPITA.....	50
4.3.	ANÁLISE DE CORRELAÇÃO E REGRESSÃO.....	54
4.3.1.	Análise de correlação.....	55
4.3.2.	Análises de regressão e dispersão.....	56
4.3.2.1.	Volume per capita global versus total de ligações domésticas e fontenários.....	56
4.3.2.2.	Volume per capita global versus níveis de água no ponto de captação.....	58
4.3.2.3.	Volume per capita global versus caudal de descarga da BPL.....	60
4.3.2.4.	Volume per capita global versus tempo médio de distribuição.....	61
4.3.2.5.	Volume per capita global versus volume armazenado na albufeira.....	63
4.4.	ANÁLISE MULTIVARIADA PELO MÉTODO DA ACP.....	65
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	68
5.1.	RESULTADOS DA ANÁLISE DE CORRELAÇÃO E REGRESSÃO.....	68
5.2.	RESULTADOS DA ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS.....	71
5.2.1.	ACP - Período 2011-2019.....	71

5.2.2.	Análise das componentes principais para o período de 2015 a 2019	74
5.3.	DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	77
5.3.1.	Factores com influência na dotação per capita	77
5.3.2.	Padrões de variação da dotação per capita	78
5.3.3.	Análise da significância dos diferentes factores influenciadores da dotação ..	79
6.	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	81
6.1.	CONCLUSÕES	81
6.2.	RECOMENDAÇÕES	83
	BIBLIOGRAFIA	84
	ANEXOS	86

Índice de Tabelas

Tabela 1- Factores endógenos e exógenos seleccionados como influenciadores da dotação per capita da água no SAA de Maputo	37
Tabela 2- Dados usados na análise da dotação per capita da água distribuída no SAA de Maputo, e valores anuais da dotação per capita mensal de 2011 a 2021	53
Tabela 3- Coeficientes de correlação entre a dotação per capita global e os factores identificados como influentes na dotação per capita	56
Tabela 4- Resumo das variáveis analisadas, equações de regressão e coeficiente de determinação R^2	68
Tabela 5- Valores das cargas dos autovectores para as componentes principais, análise das variáveis para o período 2011-2019	71
Tabela 6- Matriz de co-variância entre as variáveis, análise das variáveis para o período 2011-2019	72
Tabela 7- Valores das cargas dos autovectores para as componentes principais, análise das variáveis para o período 2015-2019	74
Tabela 8-Matriz de co-variância entre as variáveis, análise das variáveis para o período 2015-2019	75

Índice de Figuras

Figura 1- Exemplos de representação gráfica de correlação monótona e não monótona (Naguettini & Pinto, 2007)	23
Figura 2- Exemplo de análise da dispersão entre dados de desempenho dos SAA (Klien, 2017)	24
Figura 3- Representação gráfica dos autovalores e autovectores, (Vicini, 2005).	30
Figura 4- Representação esquemática do SAA de Maputo, com a indicação dos principais Centros Distribuidores (CD)	35
Figura 5- Imagem satélite com a localização da BPL e da ETA do Umbeluzi (26°04'01.85"S; 32°22'19.28"E).	43
Figura 6- Posição da cortina metálica cravada à entrada do poço de captação e da régua de medição do nível de água no ponto de captação (autor: Anselmo Munhequete)	46
Figura 7- Comparação dos diagramas de dispersão obtidos na análise do volume per capita global e do volume per capita doméstico – Dados transformados pela aplicação do Ln e padronizados	70

Índice de Gráficos

Gráfico 1- Variação mensal do número de ligações domésticas e fontenários entre 2011 e 2019	38
Gráfico 2- Variação mensal dos volumes produzido e facturado entre 2011 e 2019	39
Gráfico 3- Variação mensal do volume do tempo médio de distribuição entre 2011 e 2019	39
Gráfico 4- Variação mensal do volume de armazenamento da BPL entre 2011 e 2019	41
Gráfico 5- Variação mensal do caudal descarregado /efluente médio da BPL entre 2011 e 2019	41
Gráfico 6- Variação mensal do nível de água no ponto de captação entre 2015 e 2019	44
Gráfico 7- Variação mensal das perdas de água entre 2011 e 2019	46
Gráfico 8- Variação mensal da dotação per capita doméstica entre 2011 e 2019	53
Gráfico 9- Dispersão do volume per capita global VS total de ligações domésticas e fontenários	57
Gráfico 10- Dispersão do volume per capita global VS total de ligações domésticas e fontenários (Dados transformados pela aplicação do Ln e padronizados)	58
Gráfico 11- Dispersão do volume per capita global VS níveis de água no ponto de captação	59
Gráfico 12- Dispersão do volume per capita global VS nível da água no ponto de captação (Dados transformados pela aplicação do Ln e padronizados)	59
Gráfico 13- Dispersão do volume per capita global VS caudal de descarga da BPL	60
Gráfico 14- Dispersão do volume per capita global VS caudal de descarga da BPL (Dados transformados pela aplicação do Ln e padronizados)	61
Gráfico 15- Dispersão do volume per capita global VS tempo médio de distribuição	62
Gráfico 16- Dispersão do volume per capita global VS tempo médio de distribuição (Dados transformados pela aplicação do Ln e padronizados)	63
Gráfico 17- Dispersão do volume per capita global VS volume armazenado na albufeira da BPL	64
Gráfico 18- Dispersão do volume per capita global VS volume armazenado na albufeira da BPL (Dados transformados pela aplicação do Ln e padronizados)	64
Gráfico 19- Percentagem das variâncias explicadas pelas componentes principais, análise para o período 2011-2019	72
Gráfico 20- Representação vectorial das variáveis nos eixos formados pelas componentes principais 1 e 2	73
Gráfico 21- Percentagem das variâncias explicadas pelas componentes principais, análise para o período 2015-2019	75
Gráfico 22- Representação vectorial das variáveis nos eixos formados pelas componentes principais 1 e 2	76

Lista de Acrónimos

ACP - Análise de componentes principais
AdeM - Águas da Região de Maputo, S.A.
ARA-Sul - Administração Regional de Águas, Região Sul
BPL - Barragem dos Pequenos Libombos
CD - Centro distribuidor
CENOE - Centro Nacional Operativo de Emergência
CRA - Conselho de Regulação de Águas
DPA - Dotação per capita de água
DSM - *Demand-Side Management*
ETA - Estação de tratamento de Água
PAIRP – Programa Acelerado e Integrado de Redução de Perdas
SAA - Sistema de abastecimento de água
UGBU - Unidade Gestora da Bacia do Umbeluzi

Lista de abreviaturas e siglas

Q - Caudal
t - Tempo
l/hab/dia - Litro por habitante por dia
Q - Caudal
Km - Quilometro
h - Hora
m³/dia - Metro cúbico por dia
m - Metro
m/s - Metro por segundo
m³ - Metro cubico
m³/ano - Metro cubico por ano
m³/mês - Metro cubico por mês
m³/dia - Metro cubico por dia
m³/hora - Metro cubico por hora
m³/s - Metro cubico por segundo
m³/hab/ano - Metro cubico por habitante por ano
m³/hab/mês - Metro cubico por habitante por mês
m³/hab/dia - Metro cubico por habitante por dia
h/dia - Hora por dia
M m³ - Milhões de metros cúbicos
M m³/mês - Milhões de metros cúbicos por mês
nr - Número
% - Percentagem
R² - Coeficiente de determinação
μ - média
σ - desvio padrão
ρ - coeficiente de correlação de Pearson

RESUMO

Nesta pesquisa, é feita a análise da influência de diferentes factores endógenos e exógenos sobre a dotação per capita de água (DPA) no sistema de abastecimento de água do Grande Maputo, usando para o efeito métodos estatísticos como a correlação, a regressão linear, a análise multivariada pelo método de Análise de Componentes Principais (ACP) para a avaliação da significância dos factores identificados. Entre os factores influenciadores da DPA temos os factores exógenos, que são tomados nesta pesquisa como aqueles cujo controlo está fora do domínio da entidade provedora e os factores endógenos, que são aqueles que esta pode controlar. A análise assenta em oito factores identificados como influenciadores da DPA, designadamente: factores endógenos, (i) o total de ligações domésticas e fontenários; (ii) o volume produzido; (iii) o volume distribuído para o consumo doméstico; e, (iv) o tempo médio de distribuição; factores exógenos: (i) o caudal de descarga da Barragem dos Pequenos Libombos (BPL); (ii) o nível de água no ponto de captação; (iii) as perdas ou água não contabilizada; e, (iv) o volume armazenado na albufeira da BPL. A pesquisa descreve ainda os padrões de variação da DPA através de equações de regressão linear simples e, evidencia os factores com maior correlação com a DPA no período em análise. A significância desses factores sobre a DPA foi avaliada usando a técnica de ACP para o período de 2011-2019. Os resultados obtidos sugerem que no período de análise, foram três os factores que exerceram maior influência sobre a DPA, designadamente: (i) o caudal de descarga da BPL; (ii) o volume armazenado na albufeira da BPL; e, (iii) o número de ligações domésticas e fontenários, sendo os primeiros dois exógenos e o último endógeno. A mesma análise realizada para o período 2015-2019, período para o qual existiam dados sobre níveis de água no ponto de captação, identificou dois factores adicionais com influência sobre a DPA, especificamente: (iv) o nível de água no ponto de captação; e, (v) o tempo médio de distribuição, sendo o primeiro exógeno e o segundo endógeno. As perdas de água (factor endógeno) apresentaram elevada significância relativa a componente principal 2 neste período e fraca influência sobre a DPA.

Palavras-chave: Dotação per capita, água, factores endógenos / exógenos, ACP.

ABSTRACT

APPLICATION OF PCA ON THE ANALYSIS OF THE FACTORS THAT INFLUENCED WATER ALLOCATION FOR CONSUMPTION IN THE MAPUTO WATER SUPPLY SYSTEM BETWEEN 2011 AND 2019

This research carries an analysis of the different endogenous and exogenous factors that influence the per capita water allocation (PWA) in the Greater Maputo water supply system, using statistical methods such as correlation, linear regression, and multivariate analysis using the Principal Component Analysis (PCA) method to assess the significance of the identified factors. Among the influencing factors of the PWA, we have the exogenous factors, which are taken in this research as those whose control is outside the domain of the provider entity, and the endogenous factors, which are those that he can control. The analysis is based on eight factors identified as influencing PWA, namely: endogenous factors, (i) total domestic connections and standpipes; (ii) the produced volume; (iii) the volume distributed for domestic consumption; and, (iv) the average distribution time; exogenous factors: (i) the Pequenos Libombos Dam (BPL) discharge flow; (ii) the water level at the catchment point; (iii) water losses or unaccounted for water; and, (iv) the volume stored in the BPL reservoir. The research also describes the patterns of variation of the PWA through simple linear regression equations and highlights the factors with the greatest correlation with the PWA in the period under analysis. The significance of these factors on PWA was assessed using the PCA technique for the period 2011-2019. The results suggest that during the period of analysis, three factors exerted the greatest influence on the PWA, namely: (i) the discharge flow of the BPL; (ii) the volume stored in the BPL reservoir; and, (iii) the number of domestic connections and sources, the first two being exogenous and the last endogenous. The same analysis carried out for the period 2015-2019, a period for which there were data on water levels at the point of abstraction, identified two additional factors influencing the PWA, specifically: (iv) the level of water at the point of abstraction; and, (v) the average distribution time, being the first exogenous and the second endogenous. Water losses (one of the endogenous factors) showed high significance relative to main component 2 in this period and had a low influence on PWA.

Keywords: Per capita water allocation, water, exogenous / endogenous factors, PCA.

1. INTRODUÇÃO

1.1. ENQUADRAMENTO

É sabido que a dotação de água per capita é afectada por vários factores, entre eles, crescimento da demanda devido à evolução da população, podendo se dizer que “a experiência tem mostrado que o consumo per capita tende a aumentar à medida que aumenta a população da cidade. Entre os factores determinantes desse facto destacam-se a maior demanda industrial e comercial, logicamente ocorrente, as maiores possibilidades de perdas nas extensas e, muitas vezes, obsoletas redes distribuidoras, e o uso da água para fins públicos, que podem assumir proporções mais amplas com a prosperidade da administração local e pública e a preocupação em manter e ampliar o serviço de limpeza de pavimentos, edifícios, monumentos e parques.” (Guimarães & Silva, 2007)

No caso do Grande Maputo, por um lado, o crescimento da população que passou de 1.962.770 habitantes em 2011 para 2.395.347 habitantes em 2019, o desenvolvimento e a urbanização das zonas periféricas da Cidade de Maputo resultaram num aumento significativo da população a servir com a rede de distribuição de água do grande Maputo e, por conseguinte, da respectiva demanda. Por outro lado, desde 2014 a produção e fornecimento de água à região do grande Maputo tem vindo a experimentar restrições cíclicas resultantes da redução da produção como consequência da redução dos volumes de armazenamento na albufeira da BPL, situação que se verificou por mais de 5 anos consecutivos (desde 2014 à 2019) como resultado da redução dos níveis de precipitação na região sul país.

De entre os factores como o crescimento da demanda, a redução ou o aumento da produção de água, e outros que afectam ou influenciam a dotação per capita, uns são endógenos e outros exógenos à entidade gestora do serviço de abastecimento de água. São factores endógenos os deliberadamente introduzidos na operação do sistema pelo operador, tais como a expansão do número de ligações do sistema, o aumento da produção, as acções visando a redução de perdas, entre outros factores. São factores exógenos os que não dependem da operação e/ou manutenção e não resultam de acção deliberada do operador, embora possam ser influenciadas por este, tais como a escassez de água nas fontes, o crescimento populacional e consequente crescimento da demanda, as perdas e outros.

Haque *et al.* (2015) destaca a importância do conhecimento dos factores dominantes, os que mais influência exercem na dotação per capita de água de um sistema específico de abastecimento de água. Para tal, este autor propõe o emprego da análise de correlação linear para identificação dos factores exógenos e endógenos relacionados, e a técnica de análise de componentes principais, para avaliação da significância das relações e identificação dos factores dominantes.

A identificação e avaliação da relação entre os factores endógenos e exógenos que contribuíram para a variação da dotação per capita de água de 2011 a 2019 no SAA do Grande Maputo constitui assim um exercício importante de apoio à gestão dos serviços de abastecimento de água. Os resultados obtidos constituem-se instrumentos para informar a tomada de decisões e orientar acções de melhoramento dos serviços a serem implementadas pelos actores chave do subsector de água no geral, pela entidade gestora do sistema em alusão em particular, e até pelo regulador destes serviços. Tal identificação e avaliação são importantes pois na área coberta por este sistema assistiu-se a um crescimento considerável da população, a várias ocorrências com influência na dotação, e foram levadas a cabo várias acções para a melhoria dos serviços de abastecimento de água, havendo um vazio no que concerne à análise dos impactos destes factores na dotação de água.

A presente pesquisa busca identificar os factores que influenciaram a dotação per capita de água no sistema de abastecimento de água (SAA) de Maputo, entre 2011 e 2019, bem como avaliar o grau de influência dos factores influenciadores da dotação de água. Para lograr este intento, o presente trabalho de pesquisa avalia a variação da dotação per capita de água em função de diferentes factores endógenos e exógenos que a podem influenciar positiva ou negativamente, recorrendo-se para o efeito a: (i) Identificação dos factores endógenos e exógenos que no geral influenciam a dotação per capita de água em SAA; (ii) Análise da correlação entre a dotação per capita de água e os factores endógenos e exógenos identificados; (iii) Descrição da variação conjunta da dotação per capita de água e dos factores endógenos e exógenos que a influenciam através da regressão linear simples; (iv) Análise multivariada da significância da influência que os vários factores endógenos e exógenos identificados, exercem sobre a dotação de água per capita, usando para este efeito a Análise de Componentes Principais (ACP).

1.2. OBJECTIVOS

1.2.1. Objectivo Geral

A presente pesquisa busca analisar os factores que impactaram na dotação de água no sistema de abastecimento de Maputo entre 2011 e 2019 através da aplicação da ACP, apresentando uma metodologia que possa ser usada pelo subsector do abastecimento de água no geral e pelos operadores de sistemas de abastecimento de água em particular, no apoio a acções voltadas a melhoria da provisão do serviço de abastecimento de água prestado ao consumidor.

1.2.2. Objectivos Específicos

Os objectivos específicos da pesquisa são os seguintes:

- I- Identificar os factores endógenos e exógenos que influenciaram a dotação per capita de água nos SAA de Maputo entre 2011 e 2019 com base na pesquisa bibliográfica;
- II- Avaliar os níveis de correlação entre a dotação per capita de água e os factores endógenos e exógenos que a influenciaram, e
- III- Descrever em termos matemáticos os padrões de variação da dotação per capita de água em função dos factores endógenos e exógenos que a influenciam, através da regressão linear simples;
- IV- Analisar a significância das diferentes variáveis (factores) que influenciaram a dotação per capita de água através de métodos estatísticos mais profundos que permitem visualizar e medir a co-variância entre esta e diversas outras variáveis transformadas em combinações lineares (análise multivariada) através do método da Análise de Componentes Principais (ACP).

1.2.3. Perguntas de Pesquisa

A dotação per capita de água nos sistemas de abastecimento é influenciada por factores exógenos às entidades gestoras, que levam a que estas, como resposta empreendam acções voluntárias de vária índole (tomadas como factores endógenos), para assegurar uma dotação de água satisfatória para os consumidores.

Assim, do ponto de vista de planeamento e gestão dos serviços, é importante que tais factores sejam identificados, e que seu nível de influência na dotação per capita seja conhecido, com vista à tomada de acções de mitigação para aqueles que exercem influência negativa

(geralmente exógenos) e a capitalizar aqueles que exercem influência positiva (no geral endógenos).

Tomando como base estes pressupostos e os cenários de restrição vividos nos últimos seis anos no sistema de distribuição de água ao Grande Maputo, para o presente trabalho foram definidas as seguintes perguntas de pesquisa:

- I- Quais foram os factores endógenos e exógenos que influenciaram a dotação per capita de água entre 2011 e 2019?
- II- Quais foram os níveis de correlação entre a dotação per capita de água e os factores endógenos e exógenos que a influenciaram?
- III- Como variou a dotação per capita de água no sistema de Maputo, sob a influência dos diferentes factores endógenos e exógenos identificados?
- IV- Qual é a significância relativa das diferentes variáveis (factores) que influenciaram a dotação per capita de água no sistema de Maputo no período em análise?

1.3. METODOLOGIA

A presente pesquisa é baseada numa análise estatística correlacional usando para o efeito dados operacionais históricos do SAA de Maputo. Nela, procura-se determinar a relação estatística entre a dotação per capita de água no SAA de Maputo e as variáveis ou factores endógenos e exógenos ao provedor de serviço, que a influenciaram. A pesquisa busca assim medir e descrever a relação observada entre a DPA e os referidos factores no período 2011 - 2019, seguindo uma abordagem quantitativa interpretativa de carácter objectivo, uma vez que a correlação é uma medida quantitativa do grau de associação entre duas ou mais variáveis, (Mutumucuo *et al.*, 2019), que busca resultados quantitativos de apoio à tomada de decisão, elaboração de políticas e/ou dinamizar mudanças.

A abordagem metodológica usada para conduzir a pesquisa, cujos resultados são agora apresentados, compreendeu quatro etapas a saber:

- I- A pesquisa documental que teve em vista levantar os dados relativos à dotação de água no período em análise, e ainda identificar os factores endógenos e exógenos que influenciam a variação da dotação per capita de água para os consumidores do sistema.
- II- A análise por via de correlação entre pares de variáveis, trazendo-se para cada análise como variável independente (x) a que corresponde ao factor endógeno ou exógeno em apreço, que influencia a variável dependente (Y) que traduz a dotação per capita em função da variação de (x).
- III- A determinação da relação estatística entre a dotação per capita de água (variável dependente - Y) e os factores endógenos e exógenos identificados (variáveis dependentes - x), por via de regressão linear simples, trazendo-se para cada análise as variáveis citadas no ponto II acima que tenham correlação significativa.
- IV- A análise multivariada dos factores com maior influência na dotação per capita de água por meio da ACP, uma vez que a ACP facilita a análise simultânea de múltiplas variáveis, tomando-se como variáveis para a ACP os factores influenciadores da dotação per capita de água com correlação forte. Esta análise estatística multivariada permite visualizar a estrutura de correlação olhando para as diferentes variáveis transformadas em combinações lineares.

Com a aplicação da metodologia acima, procedeu-se à análise do impacto que os factores endógenos e exógenos seleccionados como os mais relevantes para a pesquisa, têm sobre a variação da dotação per capita de água na área de serviço do SAA de Maputo.

1.4. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

A presente dissertação configura-se em sete capítulos, sendo designadamente (i) a introdução, (ii) a revisão da literatura, (iii) o objecto da pesquisa, (iv) materiais e métodos, (v) apresentação dos resultados, (vi) discussão e, (vii) as conclusões e recomendações.

Na introdução, é feito o enquadramento da pesquisa, e são trazidos os objectivos, as perguntas de pesquisa e a metodologia. É na introdução onde se enquadra igualmente este subcapítulo que descreve a estrutura da dissertação.

A revisão da literatura segue-se à introdução, e nela se abordam as técnicas de análise estatística usadas, e algumas definições úteis para a percepção dos conceitos abordados na presente pesquisa.

O terceiro capítulo é reservado a descrição do objecto da pesquisa, que atendendo ao facto de tratar-se de uma investigação correlacional baseada em dados históricos sobre a dotação per capita de água no SAA do Grande Maputo, descreve este SAA e, aborda o histórico das ocorrências com impacto na dotação per capita.

O quarto capítulo é reservado a descrição dos materiais e métodos usados para a identificação dos factores que exerceram influência na dotação per capita, a determinação do volume per capita; a análise de dados, que abrangeu aspectos como a descrição da variação da dotação per capita em função dos factores identificados, e a aplicação da técnica da ACP através de uma aplicação informática vocacionada para este fim.

O quinto e sexto capítulos são dedicados respectivamente a apresentação dos resultados e a discussão, sendo seguidos das conclusões e recomendações.

2. REVISÃO DA LITERATURA

Uma vez tratar-se de uma pesquisa correlacional de dados históricos que traduzem os factores influenciadores da dotação per capita de água, a revisão da literatura começa com o subcapítulo das definições úteis onde definem-se alguns conceitos úteis para a compreensão dos dados em análise, tais como capitação, dotação de água, dotação per capita de água e alguns indicadores de desempenho dos provedores dos serviços e de seguida traz dois subcapítulo que descrevem as técnicas de análise estatística dos dados, contemplando técnicas como a transformação logarítmica e padronização, correlação, regressão linear e, ACP.

2.1. DEFINIÇÕES ÚTEIS

Neste capítulo, apresentam-se os conceitos e definições tomados como úteis para a presente pesquisa e que resultam da revisão da literatura e documentos do subsector do abastecimento de água em Moçambique, que possui um acervo legal e normativo como seja, decretos, legislação, regulamentos, normas, relatórios e técnicos de natureza diversa.

Assim, para a definição dos conceitos que traduzem indicadores de desempenho da entidade gestora do sistema de Maputo no que diz respeito à dotação per capita, recorreu-se aos relatórios da entidade reguladora do abastecimento de água, uma vez que as definições vindas desta entidade são tomadas como vinculativas e aceites pelas entidades gestoras reguladas.

Conforme estabelecido nos referidos documentos normativos, a dotação de água está estritamente relacionada com os volumes que são distribuídos para consumo doméstico (ligações doméstica e fontenários), volumes produzidos, perdas de água nos sistemas, tempo de distribuição, entre outros aspectos que na sua maioria fazem parte dos indicadores de desempenho das entidades provedoras do serviço ou dos dados usados para a obtenção destes indicadores. Tendo como base estes pressupostos, torna-se pertinente definir as principais utilizações da água em SAA, o conceito indicador, e dos indicadores de desempenho comumente usados para avaliar o desempenho dos provedores do serviço de abastecimento de água, entre outros conceitos que são abaixo definidos.

Capitação

Por definição, a capitação é o volume de água que é preciso atribuir à um individuo durante um dia (capitação diária), para que este usufrua da água sem quaisquer restrições de ordem qualitativa. Esta depende dentre outros, da disponibilidade de água, fiabilidade do serviço, do

tempo de distribuição, da pressão no ponto de consumo, distancia ao ponto de colecta para o caso de fontenários públicos, entre outros factores.

Dotação de água

Segundo a Organização Mundial da Saúde (WHO, 2017), uma série de conceitos muito diferentes podem ser usados para medir a dotação por individuo, entre eles (i) a quantidade de água disponível ou usada em um determinado período de tempo, (ii) as horas de serviço por dia (conceito normalmente usado para sistemas de abastecimento de água), ou (iii) a frequência de interrupções e o tempo necessário para reparações (conceito normalmente usado para fontes dispersas como furos e bombas manuais).

Consumo per capita de água

O consumo per capita, é um indicador obtido pela divisão entre o volume total distribuído por dia pelo prestador de serviço e a população servida (Matos, 2007). Traduz a quantidade de água alocada a cada consumidor servido pelo sistema.

Segundo Tsutiya (2006) para uma definição correcta do consumo per capita, deve-se adicionar ao consumo efectivo per capita, as perdas de água do sistema, passando a definição de consumo per capita efectivo a corresponder à razão entre o volume facturado (resultante das leituras dos contadores) e o produto entre o número de habitantes servido e o tempo/período, tendo o resultado em litros por pessoa por dia (litros/pessoa/dia).

Indicador

Em termos gerais, um indicador é uma medida quantitativa ou qualitativa derivada de uma série de factos observados que podem revelar posições relativas em uma determinada área. Quando avaliado em intervalos regulares, um indicador pode apontar a direcção da mudança de diferentes unidades em função do tempo (OCDE , 2008).

Indicadores de desempenho relacionados com a dotação

Os indicadores de desempenho dos provedores dos serviços de abastecimento de água são aqueles que permitem uma análise mais efectiva da evolução do serviço prestado ao longo do tempo, bem como o estabelecimento de comparação entre o desempenho de dois ou mais provedores do serviço.

Em Moçambique, a entidade reguladora do serviço de abastecimento de água considera, nos seus relatórios anuais, quatro grupos de indicadores usados para a avaliação da qualidade do serviço prestado pelos Operadores dos SAA, sendo estes: (i) indicadores de acesso ao serviço; (ii) indicadores de sustentabilidade da empresa; (iii) indicadores do atendimento ao

consumidor e, (iv) indicadores de qualidade da água tratada. Conforme se pode ver, do conjunto de indicadores listados anteriormente, nem todos avaliam a dotação de água, como é o caso dos indicadores de qualidade de água tratada e do atendimento ao consumidor.

Assim, entre os indicadores usados pela entidade reguladora dos serviços públicos de abastecimento de água no país (AURA,IP), na presente pesquisa, para a avaliação da qualidade do serviço prestado pelo Operador de SAA, com consideração de aspectos ligados à dotação de água, foram seleccionados os seguintes indicadores:

I - Cobertura do Serviço

É um indicador que tem como objectivo avaliar o nível acesso ao serviço pela população residente na área de jurisdição da entidade gestora do SAA. Em termos percentuais, é obtido, pela razão entre a população total residente servida por ligações domésticas e fontanários públicos, e a população total residente na área de jurisdição da referida entidade. Para efeito de cálculo da cobertura, a entidade reguladora do abastecimento de água em Moçambique assume que o agregado médio familiar, que serve-se de uma ligação doméstica, é de 5.3 pessoas e que um fontanário público abastece cerca de 300 pessoas.

II- Tempo Médio de distribuição

Este indicador avalia o nível de disponibilidade de água para aos consumidores e é medido como sendo a média ponderada das horas de distribuição de todos os Centros Distribuidores (CD) do sistema, usando-se como factor de ponderação a população servida por cada CD.

III- Água não contabilizada (perdas)

Este indicador destina-se a avaliar a eficiência da exploração do sistema no que respeita às perdas técnicas e comerciais, ou seja, a percentagem da água que deu entrada no sistema e que não é facturada. Sendo obtida dividindo a diferença entre o volume produzido e o facturado, pelo volume produzido, tomando-se esta razão de forma percentual.

Factores endógenos e exógenos

No contexto da gestão do abastecimento de água e da provisão do serviço, muitas são os factores que influenciam a dotação per capita, mas não resultam da acção da entidade gestora do serviço de abastecimento de água, podendo-se citar como exemplo a escassez de água na fonte. Por outro lado, é comum que a entidade gestora do serviço tenha iniciativas que

resultam na variação da disponibilidade per capita, como sendo as obras voltadas para o aumento da produção e distribuição, sendo importante que estes dois grupos de factores sejam analisados em função da sua natureza endógena ou exógena a empresa provedora do serviço.

Factores são elementos que contribuem ou influenciam na obtenção de um resultado, são agentes de mudança, condições ou causas de mudança, sendo que, só se observa a mudança quando se tem dois ou mais pontos de observação, para que se possa medir e comparar a variação / mudança.

Assim, as iniciativas e acções voluntárias das empresas de água com vista a melhoria da dotação de água, seguindo ou não instruções governamentais ou sectoriais, são tomadas como “endógenas” à empresa. Porquê endógenas? De acordo com Mathes (2001), forças / factores internos aos serviços públicos são os factores que as empresas geralmente podem controlar mais directamente do que as forças / factores externos a estas. Muitas dessas forças reflectem escolhas a serem feitas pelas concessionárias de imediato ou a curto prazo. Forças externas são, por exemplo, as condições do mercado, as demandas dos clientes e as mudanças sociais que estão acontecendo.

Atendendo que a abordagem da separação dos factores em exógenos e endógenos acima é trazida a nível dos processos de gestão de empresas, no presente trabalho é feita a sua analogia com os processos de operação, manutenção, reabilitação e expansão, dos SAA trazendo-se, por exemplo, a escassez de água na fonte e outros factores externos alheios a acção do operador como factores exógenos à empresa de água. As acções de operação, manutenção, reabilitação e expansão, entre outras sob controlo do operador são tomadas como factores endógenos no que concerne à influência que estes trazem a dotação per capita de água.

Factores endógenos

Factores endógenos ao provedor de serviços são definidos como sendo os controlados de forma directa pelo mesmo, como por exemplo os indicadores cobertura do serviço e tempo médio de distribuição, pois são resultado da acção directa das empresas de água.

Factores exógenos

Entendem-se como factores exógenos os factores que não dependerem de acções deliberadas do operador do SAA, ou de alterações a configuração do sistema.

2.2.CORRELAÇÃO E REGRESSÃO LINEAR

Na avaliação dos factores que influenciam a dotação de água são usadas técnicas estatísticas diversas. Klien (2017) empregou, na avaliação do desempenho de vários sistemas de abastecimento de água situados em países da Ásia, Europa, América Latina, América do Norte e África subsaariana, as técnicas de transformação logarítmica e padronização dos dados, a correlação e a análise da dispersão entre dados de desempenho dos SAA para verificar a existência de correlação entre as variáveis consideradas pela *International Benchmarking Network* (IBNET), em sua base de dados.

No seu estudo de avaliação da significância do clima e dos factores comunitários na demanda urbana de água, Haque *et al.* (2015) exploraram com sucesso a aplicação da técnica da ACP. Pela similaridade de aplicações, nas secções que se seguem são descritas as técnicas de transformação logarítmica e padronização de dados, a correlação, a regressão e a ACP, seleccionadas nesta pesquisa para análise da dotação de água per capita no SAA de Maputo.

2.2.1. Transformação logarítmica e padronização

Na análise estatística, a transformação logarítmica (TL) de dados é usada para minimizar diferenças de proporcionalidade de dados, isto é, a TL é usada para suavizar a diferença entre os valores extremos e os demais valores das séries de dados o que permite reduzir as extremidades elevadas ou caudas longas nos gráficos, suavizar picos na distribuição de dados, *outliers*, dentre outros.

Por razões de proporcionalidade, a necessidade de transformação é justificada segundo Winter e Lôbo (2019), pelo facto de alguns conceitos serem melhor compreendidos quando tratamos sobre a proporção dos objectos do que sobre a diferença entre eles, por exemplo a comparação da variação da facturação de duas empresas quando uma delas é muito grande e a outra é muito pequena, os valores tomados em moeda podem destorcer a percepção da comparação. Neste caso a transformação logarítmica dos dados de facturação durante um ano, por exemplo, poderia ser utilizada para comparar o crescimento das empresas de forma justa, podendo ajudar a deixar mais clara a relação entre os dados.

A padronização das variáveis consiste em subtrair de cada valor na série de dados a sua média, passando assim toda a série a ter média zero (centralização), e de seguida dividir cada uma

delas pelo seu desvio padrão para que tenham escala e magnitude equiparável (redução da escala), conforme traduz a equação 1.

$$Z = \frac{X - \mu}{\sigma} \quad (1)$$

Onde:

- Z - é a variável padronizada
- X - é a variável original
- μ - é a média
- σ - é o desvio padrão

2.2.2. Correlação

A medida da variação conjunta das variáveis ou co-variação observada em um diagrama de dispersão é definida como a correlação entre as duas variáveis. Essa medida é traduzida numericamente por meio de um coeficiente (coeficiente de correlação) que representa o grau de associação existente entre duas variáveis.

As medidas genéricas de correlação são frequentemente designadas por ρ , ou coeficiente de correlação de Pearson. Estas são adimensionais e variam entre -1 e +1. No caso de $\rho=0$, não existe correlação entre as duas variáveis. Quando $\rho>0$, a correlação é positiva e uma variável aumenta quando a outra cresce. A correlação é negativa, $\rho<0$, quando as variáveis variam em direcções opostas. A equação 2 traduz a expressão do coeficiente de correlação.

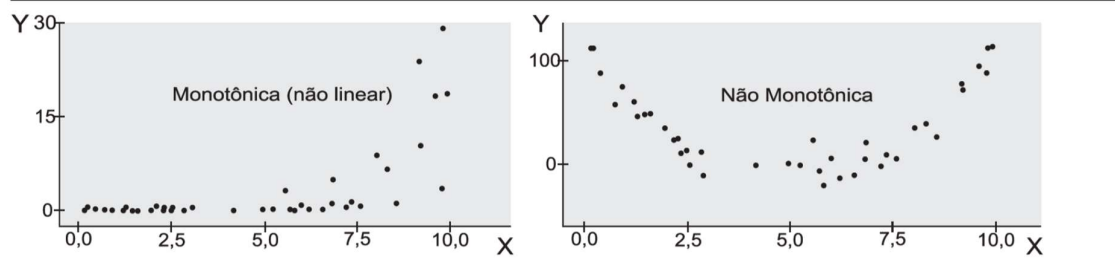
$$\rho = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (2)$$

Onde:

- ρ - é o coeficiente de correlação entre as variáveis;
- $x_1, x_2, \dots, x_n$ e $y_1, y_2, \dots, y_n$ - são os valores medidos de ambas as variáveis;
- $\bar{x} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n x_i$ e $\bar{y} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n y_i$ - são as médias aritméticas de ambas as variáveis.

A correlação é chamada de monótona se uma das variáveis aumenta ou diminui sistematicamente quando a outra decresce, com associações que podem ter forma linear ou não linear. Os gráficos da Figura 1 extraídos de Naghettini e Pinto (2007) apresentam exemplos de correlações monótonas não lineares e não monótonas, analisando variáveis representadas num dado sistema cartesiano ortogonal onde o eixo das abcissas é designado X e o das ordenadas Y, o resultado da análise visual denota a pertinência da análise da dispersão para o presente trabalho.

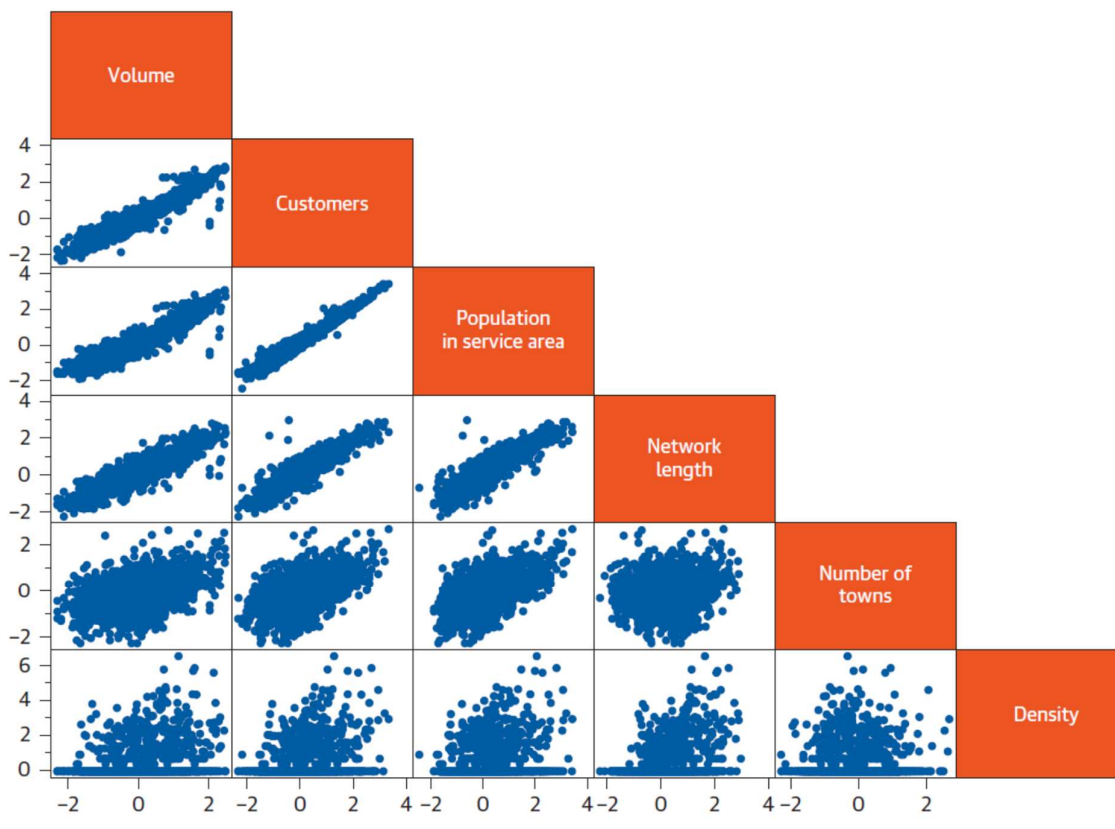
Figura 1- Exemplos de representação gráfica de correlação monótona e não monótona (Naguettini & Pinto, 2007)



Cohen (1988) citado por Figueiredo (2009), interpreta a magnitude da correlação entre diferentes variáveis considerando que os valores dos coeficientes de correlação de Pearson entre 0,10 e 0,29 são considerados pequenos, traduzindo correlação fraca; os valores entre 0,30 e 0,49 são considerados médios, traduzindo correlação moderada; e os valores entre 0,50 e 1 são interpretados como grandes, traduzindo correlação forte.

Como resultados esperados, podemos trazer o exemplo de Klien (2017) ilustrado na figura 2 abaixo, que analisou a correlação entre as variáveis consideradas pela International Benchmarking Network (IBNET) na avaliação do desempenho de vários sistemas de abastecimento de água situados em países da Ásia, Europa, América Latina, América do Norte e África subsaariana, tendo concluído que as variáveis, número de clientes, população na área de serviço e comprimento da rede são altamente correlacionadas, com coeficientes de correlação de Pearson entre 0,90 e 0,98 conforme se pode interpretar da figura.

Figura 2 - Exemplo de análise da dispersão entre dados de desempenho de SAA, (Klien, 2017).



Note: The variables have been transformed by taking the natural log of the original value and then standardizing the variables.

O gráfico da figura 2 mostra a existência de correlação entre os dados de desempenho dos SAA analisados pela IBNET, transformados pela aplicação do logaritmo natural e padronizados. Desta análise se pode observar que a aplicação da transformação logarítmica e da padronização de dados facilitou a visualização gráfica da correlação entre o volume de água distribuído e outras variáveis, podendo-se concluir que esta é uma técnica de bastante utilidade para o presente trabalho por permitir destacar a correlação entre os factores que influenciam a DPA que apresentam diferenças de proporcionalidade.

2.2.3. Regressão linear

Se a observação dos pontos referentes aos diagramas de dispersão de duas variáveis sugerirem uma relação linear ou uma curva bem definida, passível de ser transformada numa equação, então será notória a existência de correlação. Para poder avaliar melhor a correlação entre as variáveis, é interessante obter a equação da recta de regressão designada equação de regressão. Existem vários tipos de regressão, sendo a regressão linear simples a mais adequada para obter a recta de regressão que melhor se ajusta aos pontos do diagrama de dispersão dado por duas variáveis, onde a equação da recta de regressão é obtida pela expressão:

$$Y = aX + b \quad (3)$$

Onde:

- a e b – são os parâmetros da equação da recta

Os parâmetros da equação da recta são dados pelas expressões:

$$a = \frac{n \sum x_i y_i - \sum x_i * \sum y_i}{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2} \quad (3.1)$$

$$b = \bar{y} - a\bar{x} \quad (3.2)$$

O grau de ajustamento dos pontos dispersos a um modelo estatístico linear como a regressão linear simples ou múltipla, aos valores observados de uma variável aleatória é dado pelo coeficiente de determinação, também chamado de R^2 .

O R^2 varia entre 0 e 1, por vezes sendo expresso em termos percentuais. Esta expressa a quantidade da variância dos dados que é explicada pelo modelo linear. Assim, quanto maior o R^2 , mais explicativo é o modelo linear, ou seja, melhor ele se ajusta à amostra.

O R^2 para regressão linear simples calcula-se da seguinte forma:

- Obtem-se a soma total dos quadrados, ou seja, a soma dos quadrados das diferenças entre a média e cada valor observado:

$$SQ_{\text{tot}} = \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2, \quad (4)$$

Onde:

- n - é o número de observações;
- y_i - é o valor observado;
- $\bar{y}$ - é a média das observações;
- Calcula-se a soma dos quadrados dos resíduos, que traduz a parte que não é explicada pelo modelo:

$$SQ_{\text{res}} = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2, \quad (5)$$

Onde:

- $\hat{y}$ - é o valor estimado (previsão) de y_i ;
- Calcula-se a soma dos quadrados explicada, que indica-nos a diferença entre a média das observações e o valor estimado para cada observação, e soma os respectivos quadrados:

$$SQ_{\text{exp}} = \sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y})^2 \quad (6)$$

- Por vezes tem-se:

$$SQ_{\text{tot}} = SQ_{\text{exp}} + SQ_{\text{res}}. \quad (7)$$

- Assim, tem-se o coeficiente de determinação dado por:

$$R^2 = \frac{SQ_{\text{exp}}}{SQ_{\text{tot}}} = 1 - \frac{SQ_{\text{res}}}{SQ_{\text{tot}}}. \quad (8)$$

2.3. ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS

2.3.1. Definição da ACP

A Análise de Componentes Principais (ACP) é uma das formas mais simples e directas usadas para ordenar variáveis múltiplas em um espaço bidimensional. O objectivo primário da sua aplicação é reduzir a dimensionalidade de dados multivariados. Por outras palavras, usa-se a ACP para criar algumas variáveis chave que caracterizam provavelmente toda a variação dos dados. Parafraseando Ritte (2019), o preceito básico é que ao transpor as variáveis a dois eixos arbitrários, eles sempre serão ortogonais entre si, ou seja, não são correlacionados entre si (são independentes). Os eixos estão ordenados segundo a variância (inércia) dos dados: o eixo 1 possui a maior parte da variância dos dados, enquanto o eixo 2 possui a segunda maior porção da variância, e assim sucessivamente.

Os factores a analisar por este método podem ser denominados como um elemento que pode ser uma variável não observada, escalas, itens, ou uma medida de qualquer espécie. Na análise, os factores explicam a variância das variáveis observadas, tal como se revelam pelas correlações entre as variáveis em análise.

2.3.2. Aplicação da ACP

A ACP permite transformar um conjunto de variáveis iniciais, correlacionadas entre si, num outro conjunto de variáveis não correlacionadas (ortogonais), que são as componentes principais (CP), que resultam das combinações lineares do conjunto de variáveis iniciais. Assim sendo, a ACP é uma técnica de análise multivariada, que permite analisar um conjunto de variáveis, para descobrir quais dessas são mais relevantes, na composição de cada factor, sendo os factores independentes uns dos outros.

O recurso a ACP viabiliza a análise da influência conjugada de diversas variáveis independentes sobre a variável dependente por elas influenciada, situação que a regressão linear simples não permite analisar.

Como tal, o método de análise de componentes principais é aplicado para transformar o conjunto de variáveis iniciais, correlacionadas entre si, em outro conjunto de variáveis não correlacionadas (ortogonais), que são as componentes principais (CP), resultantes das combinações lineares do conjunto de variáveis inicial, com o objectivo de encontrar funções matemáticas que relacionam estas variáveis.

2.3.3. Obtenção das componentes principais

Assim, dadas várias observações de um dado vector $(K \times I)$ de elementos x , a ACP encontra $(M \times I)$ vectores cujos elementos u são combinações lineares dos elementos de x , e que contêm a maioria das informações do conjunto original de x . A ACP é mais eficaz quando essa redução de dados pode ser obtida com um número de vectores transformados (M) muito inferior ao conjunto de vectores originais $(K \times I)$, ou seja, $M \ll K$. Essa situação ocorre quando há correlações substanciais entre as variáveis dentro dos elementos x , onde x contém informações redundantes. Os elementos desses novos vectores $(M \times I)$ são chamados de componentes principais.

Wilks (2011) recomenda que as CP sejam calculadas como combinações lineares das anomalias $x' = x - \bar{x}$, onde a primeira CP, u_1 , é a combinação linear de x' com a maior variância, e as CP subsequentes $u_m, m = 2, 3, \dots$, são combinações lineares com as maiores variâncias possíveis, sujeitas à condição de não estarem correlacionadas com as componentes principais com índices mais baixos. O resultado é que todas CP não estão correlacionadas entre si. As novas CP que fazem parte de u_m que contará sucessivamente até ao máximo valor da variação conjunta de x' , são unicamente definidas pelo autovector da matriz de co-variância de x , $[S]$, exceptuando o sinal. Em particular, a m -ésima componente principal, u_m é obtida como projecção do vector x' no m -ésimo autovector, e_m , dado por:

$$u_m = \sum_{k=1}^K e_{k,m} x'_k, \quad m = 1, \dots, M. \quad (9)$$

Observe-se que cada um dos M autovectores contém um elemento pertencente a cada uma das K variáveis, x_k .

Obtenção dos autovalores e autovectores

Geometricamente, o primeiro autovector, e_1 , aponta na direcção (no espaço dimensional K de x') em que os vectores de dados, juntos, exibem a maior variância. Este primeiro autovector é aquele associado ao maior autovalor, λ_1 . O segundo autovector e_2 , associado ao segundo maior autovalor λ_2 , é restringido a ser perpendicular a e_1 , e como tal, aponta na direcção em que os vectores x' exibem as subsequentes maiores variações. Os $e_m, m = 3, 4, \dots$ subsequentes autovectores são numerados de forma semelhante de acordo com as magnitudes decrescentes de seus autovalores associados e, por sua vez, serão perpendiculares a todos os autovectores anteriores. Sujeitos a essa restrição de ortogonalidade, esses autovectores continuarão a apontar para direcções nas quais os dados originais em conjunto exibem co-

variância máxima. A equação 10 apresenta a expressão de cálculo das variâncias onde R^2 tem o mesmo sentido que apresentado acima, no subcapítulo que aborda a regressão linear.

$$R_m^2 = \frac{\lambda_m}{\sum_{k=1}^K \lambda_k} \times 100\% = \frac{\lambda_m}{\sum_{k=1}^K s_{k,k}} \times 100\% \quad (10)$$

A equação 11 expressa a transformação de um vector de dados ($K \times I$) do vector x' em um vector u de componentes principais. Se $[E]$ contém todos os K autovectores de $[S_x]$ (assumindo que seja não singular) como suas colunas, o vector resultante u também terá dimensão ($K \times I$). Assim, os dados x' podem ser obtidos invertendo a equação 11.

$$\underset{(K \times I)}{x'} = \underset{(K \times K)}{[E]} \underset{(K \times I)}{u} \quad (11)$$

Autovector e autovalor

Se E é uma matriz de ordem n , então um vector não nulo e é chamado autovector da matriz E se Ee é um múltiplo escalar de e , ou seja, $Ee = \lambda e$ para algum escalar λ . Este escalar λ é chamado de autovalor do autovector E e e é um autovector associado a λ .

Do ponto de vista algébrico, um autovector de uma matriz E é um vector cuja multiplicação por λ pode ser feita de forma simples bastando multiplicar este vector por um escalar. O exemplo de aplicação da expressão $Ee = \lambda e$, que mostra de forma matricial e numérica como um vector E de tamanho 2×2 pode ser reduzido a um vector de menor tamanho pela sua multiplicação por outro autovector e com tamanho 2×1 . Mostra ainda a redução deste autovector de tamanho 2×1 no produto de um vector ainda menor e um escalar λ , conforme é demonstrado nas equações 12 e 12.1 abaixo:

$$Ee = \lambda e \leftrightarrow \begin{pmatrix} E_{11} & E_{21} \\ E_{12} & E_{22} \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} e_{11} \\ e_{12} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} E_{11} \cdot e_{11} + E_{21} \cdot e_{12} \\ E_{12} \cdot e_{11} + E_{22} \cdot e_{12} \end{pmatrix} = \lambda \cdot \begin{pmatrix} e_{11} \\ e_{12} \end{pmatrix} \quad (12)$$

De forma numérica podemos tomar o seguinte exemplo:

$$Ee = \lambda e \leftrightarrow \begin{pmatrix} 2 & 3 \\ 2 & 1 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 3 \\ 2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 12 \\ 8 \end{pmatrix} = 4 \times \begin{pmatrix} 3 \\ 2 \end{pmatrix} \quad (12.1)$$

2.3.4. Interpretação de dados da ACP

Assim, escolhidas as duas componentes principais com maior variância, tomadas como eixos ortogonais de um sistema de coordenadas que é designado *biplot*, e representadas nestes eixos, como vectores, as variáveis cuja correlação se pretende avaliar, faz-se a análise considerando que:

- I- A valores de co-variância próximos de 1 entre duas variáveis implicam dependência (correlação forte) e valores próximos ou iguais a zero implica independência (correlação nula ou fraca). E como tal, os valores de co-variância superior a 0,5 indicam existência de correlação entre as variáveis, e abaixo de 0,5 indicam fraca correlação.
- II- As variáveis cujos vectores apresentam entre si ângulos de 90° (ângulos rectos) não têm correlação, ou seja, numericamente apresentam co-variância nula para 90° ou próxima de zero;
- III- As variáveis cujos vectores apresentam entre si ângulos menores do que 90° (ângulos agudos) têm correlação positiva, sendo esta mais forte quanto menor (mais agudo) for o ângulo. Quantitativamente pode-se dizer que apresentam alto valor de co-variância positiva;
- IV- As variáveis cujos vectores apresentam entre si ângulos maiores do que 90° (ângulos obtusos) têm correlação negativa, sendo esta mais forte quanto maior (mais obtuso) for o ângulo. Quantitativamente pode-se dizer que apresentam alto valor de co-variância, porém com sinal negativo;
- V- O comprimento de cada vector que representa a componente principal no sistema de coordenadas ortogonais composto pelas duas componentes principais (*biplot*) corresponde a quantidade de variação contribuída pela componente principal. Quanto maior o comprimento da CP, maior a contribuição da variância e melhor representada no espaço ela fica. Este comprimento pode ser analisado quantitativamente como carga do autovector para cada CP (*loading*).

2.3.5. Ferramentas de auxílio para a aplicação da ACP (RStudio)

Uma vez que o ACP é sensível às diferenças de magnitude dos dados (escalas) e a descentralização das variáveis ou distância ao eixo zero (origem), há necessidade de centralizar os dados e de reduzi-los à mesma magnitude (evitando-se assim trabalhar com uma parte das variáveis em milhões e outra em dezenas), esta centralização e redução à mesma escala é efectuada para que a importância das variáveis não seja influenciada pela magnitude ou pela distância à origem ao fazer a análise, passando a nova origem a ser $\bar{x}$.

A aplicação da ACP fez-se com recurso ao programa Rstudio que é ao mesmo tempo um tipo de linguagem de programação e um *software* computacional e gráfico com funções de análise estatística avançada. O Rstudio tem a vantagem de ser um *software* de código aberto, livre, grátis, do tipo *General Public License* (GNU), que permite executar o programa livremente, estudar como ele funciona e adaptá-lo às necessidades (livre acesso aos códigos-fonte) (Ritte, 2019).

Uma vez que, segundo recomendam Naghettini & Pinto (2007), na análise multivariada deve-se evitar a colinearidade¹ entre as variáveis pela eliminação de uma, entre cada conjunto de duas variáveis explicativas que apresentem coeficientes de correlação superiores a 0,85 para que as variáveis mantidas no modelo de regressão contribuam significativamente para explicar a variabilidade dependente, é indispensável que na análise das componentes principais se efectue o cálculo da variância de cada componente principal e se descarte as componentes de menores variâncias por apresentarem maior colinearidade, analisando-se as variáveis através das componentes principais com maior variância, o que se logra facilmente com o uso do programa Rstudio.

A ACP permite obter as co-variâncias, que descrevem a relação linear ou ligação entre as variáveis, tomadas duas a duas, e a sua dependência mútua, fornecendo-nos uma indicação do modo como X e Y variam uma relativamente à outra, a equação 13 traduz a expressão da co-variância entre duas variáveis x e y :

$$Cov_{(x,y)} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [(x_i - \bar{x}) \cdot (y_i - \bar{y})] \quad (13)$$

A ACP permite ainda obter gráficos de correlação entre as diversas variáveis tomadas como vectores representados em eixos que são as componentes principais. Para tal, deve-se escolher

¹ Colinearidade é a propriedade um conjunto de três ou mais pontos ou variáveis têm quando posicionados de tal forma que se pode traçar uma reta que contenha todos eles, ficando contidos na mesma linha recta.

como eixos as componentes principais com maior variância ($\delta^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [(x_i - \bar{x})^2]$), pois estes têm mais dispersão e como tal mais representatividade amostral para a análise.

O tratamento matemático aplicado aos dados pela ACP consiste, essencialmente, na determinação dos chamados autovalores da matriz de co-variâncias e dos autovectores a eles associados. No caso de os dados serem previamente padronizados (média zero e variância unitária) esse tratamento é equivalente a usar a matriz de correlações em substituição das variáveis originais. Os p autovalores calculados são precisamente as variâncias das variáveis em relação às p componentes principais tomadas como novos eixos ortogonais (autovectores). Estes autovalores são frequentemente representados por λ_i ($i=1,2,\dots,p$). Assim, λ_i mede a magnitude da variabilidade das variáveis captada pela i -ésima componente principal tendo-se uma nova série de variáveis, $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \geq \lambda_p$.

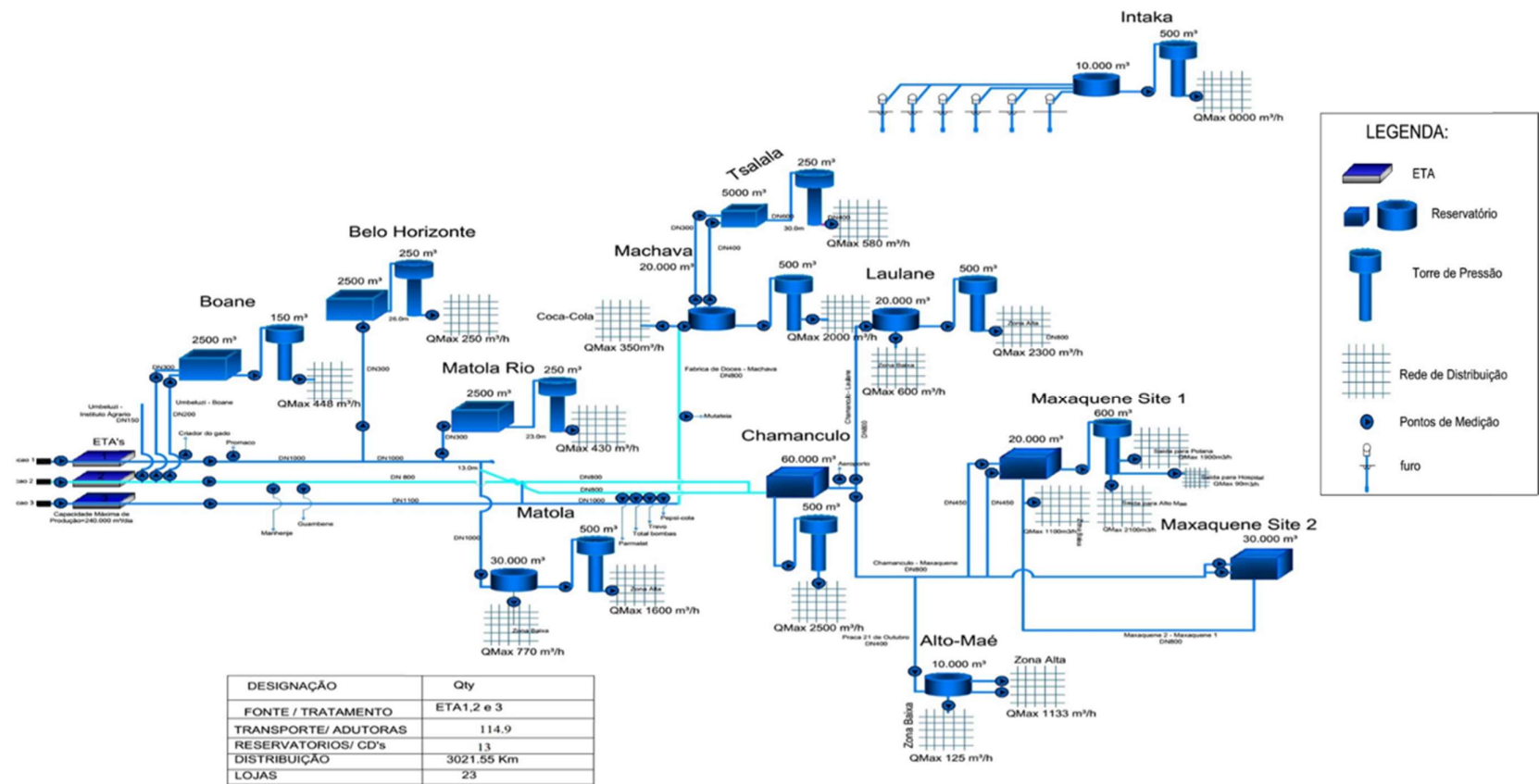
3. CARACTERIZAÇÃO DO OBJECTO DE ESTUDO

3.1. O SAA DO GRANDE MAPUTO

A pesquisa cujos resultados dão corpo a presente dissertação, tem sido realizada no SAA de Maputo, que cobre a região do Grande Maputo, que compreende actualmente os municípios de Maputo, Matola, Vila de Boane e as localidades de Matola Rio e Belo Horizonte. No período em análise, o SAA de Maputo estava sob gestão privada da Sociedade Águas da Região de Maputo, S.A. (AdeM), ao abrigo do Contrato de Cessão de Exploração celebrado entre esta Sociedade e o FIPAG, em 1999, com um período de vigência de 15 anos.

Este sistema é constituído pela captação, situada no Rio Umbeluzi a jusante da Barragem dos Pequenos Libombos, Estação de Tratamento de Água (ETA) localizada no mesmo recinto que a captação, condutas adutoras, estações elevatórias, Centros Distribuidores de Boane, Belo Horizonte, Matola Rio, Matola, Machava, Tsalala, Chamanculo, Alto Maé, Maxaquene e Laulane e respectivas redes de distribuição. Este sistema possui ainda sistemas satélite autónomos com captação subterrânea, sendo estes o sistema autónomo de KaTembe, o sistema autónomo da Vila Olímpica e os pequenos sistemas de Zona Verde, Telegrama (no Bairro de Laulane), Hulene Esquadra, Hulene Mercado, 3 de Fevereiro (no Bairro de Laulane), e do Bairro Ferroviário. A figura 4 ilustra de forma esquemática as componentes do SAA de Maputo.

Figura 4-Representação esquemática do SAA de Maputo, com a indicação dos principais Centros Distribuidores; (autor: AdeM)



3.2. HISTÓRICO DE OCORRÊNCIAS COM IMPACTO NA DOTAÇÃO PER CAPITA

Conforme identificado na introdução do relatório, constitui principal objectivo desta pesquisa, identificar e quantificar os factores endógenos e exógenos à entidade gestora do SAA do Grande Maputo, com influência sobre a dotação per capita de água. Assim, como primeiro passo da metodologia de análise foi feito um arrolamento das ocorrências históricas com relevante influência na dotação per capita no período 2011-2019 no referido SAA, tendo-se para o efeito, escolhidos oito factores seleccionados com base na análise de documentos do subsector de águas que reportam a variação dos mesmos ou abordam ocorrências ligadas à sua variação, evidenciando o impacto destes na dotação per capita.

Os referidos factores foram agrupados em dois grupos em função da sua dependência relativa às acções da entidade gestora, designadamente:

- a) Factores endógenos a entidade gestora do SAA, onde se alistam: (i) o crescimento das ligações domésticas e fontenários, (ii) a variação da produção ou do volume produzido, (iii) a variação da distribuição para o consumo doméstico ou do volume distribuído para o consumo doméstico, (iv) tempo médio de distribuição.
- b) Factores exógenos a entidade gestora, no qual se alistam: (v) os volumes de armazenamento da albufeira BPL, (vi) o caudal de descarga da BPL, (vii) o nível de água no ponto de captação e, (viii) as perdas ou água não contabilizada.

A selecção destes factores foi informada por evidências obtidas da prática de gestão e regulação de SAA, que indica que a variação destes factores prenuncia a variação da disponibilidade de água, e como tal, constitui elemento de preocupação dos vários intervenientes do subsector do abastecimento de água.

Na tabela 1 a seguir, apresenta-se de forma resumida o tipo de factores analisados e sua variação, permitindo igualmente visualizar dados anuais relativos a estes factores, para o SAA de Maputo entre 2011 e 2019, que são objecto de análise, designadamente: (i) ligações domésticas e fontenários, (ii) volume produzido, (iii) volume distribuído, (iv) volume facturado, (v) tempo de distribuição de água, (vi) níveis da água no ponto de captação, (vii) caudal de descarga da BPL, (viii) volume armazenado na albufeira da BPL e (ix) perdas totais.

Tabela 1 – Factores endógenos e exógenos identificados como influenciadores da dotação per capita da água no SAA de Maputo.

Parâmetros	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Total de ligações domésticas e fontenários (nr)	132,174	185,842	212,564	229,026	237,364	242,371	243,447	244,566	243,145
Total de ligações domésticas (nr)	131,749	185,412	212,187	228,616	236,954	241,965	243,143	244,332	242,995
Total de fontenários (nr)	425	430	377	410	410	406	304	234	150
Volume total produzido (10^3 m ³ /ano)*	63,265	73,109	73,523	75,967	75,831	73,151	63,645	61,901	78,767
Volume distribuído para o consumo doméstico e dos fontenários (10^3 m ³ /ano) **	20,625	25,080	27,539	29,215	30,190	30,177	25,749	26,353	26,229
Volume total facturado doméstico e dos fontenários (10^3 m ³ /ano) **	20,678	25,080	27,682	29,220	30,190	30,175	27,724	26,267	25,967
Níveis da água no ponto de Captação (m)	Sem dados	Sem dados	Sem dados	Sem dados	1.32	1.22	1.12	1.09	1.15
Caudal de descarga da BPL (m ³ /s)	6.75	9.85	6.78	11.15	4.32	3.35	2.05	2.02	2.65
Tempo médio de distribuição (h/dia)	10	16	17	16	13	13	10	10	10
Vol. Armazenado na albufeira da BPL (M m ³)	288.59	299.91	328.64	329.32	257.24	112.05	86.95	98.10	112.72
Perdas totais (%)	52%	51%	47%	46%	44%	42%	42%	39%	53%

* - Inclui fontes subterrâneas dos sistemas satélite mobilizados permanentemente ou em casos de emergência.

** - Obtido subtraindo do volume total distribuído as perdas e volumes público, comercial e industrial.

3.2.1. Ocorrências de índole endógena

3.2.1.1. Variação do número de ligações, produção, distribuição e tempo de distribuição

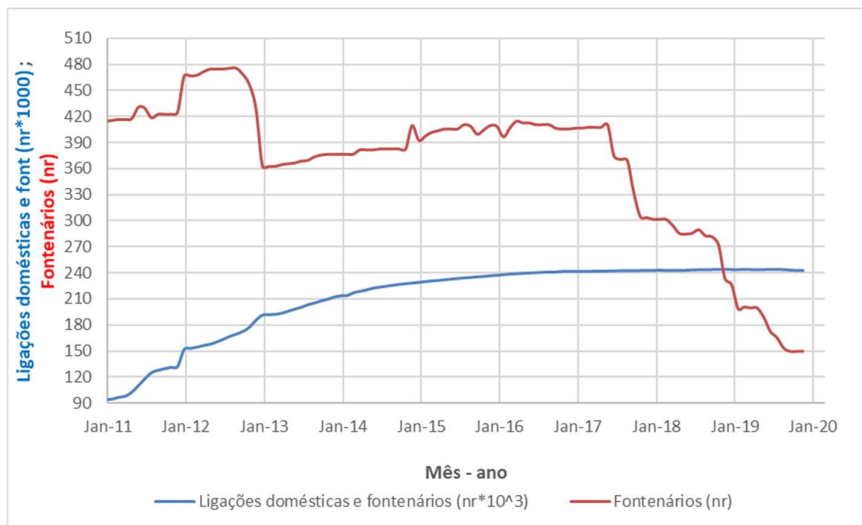
Conforme se infere da tabela 1, em 2011, o sistema de Maputo servia cerca de 698,270 habitantes através de ligações domésticas, e 212,500 através de fontenários, o que correspondia a uma cobertura de 41%. Ainda de acordo com a tabela e, usando a mesma abordagem, a taxa de cobertura evoluiu de 41% em 2011 para cerca 56% em 2019, servindo uma população de cerca de 1,287,874 habitantes por via de ligações domésticas, e 45,000 habitantes através de fontenários.

Se por um lado nota-se o crescimento do número de ligações domésticas, que desfavorece a dotação, por outro, nota-se a redução do número de fontenários, que a favorece, e que deriva da tendência dos utentes em abandonar os fontenários e aceder às ligações domésticas, causando, por conseguinte, a variação da dotação per capita.

No SAA do Grande Maputo, um dos factores exógenos que provoca a escassez de água e redução da dotação per capita é o crescimento da população ao longo do tempo, que é acompanhado pelo crescimento da demanda que induz ao aumento do número de ligações no geral.

O gráfico 1 apresenta o crescimento das ligações domésticas e dos fontenários observados mensalmente no período 2011-2019, bem como o crescimento a variação do número de fontenários.

Gráfico 1 – Variação mensal do número de ligações domésticas e fontenários entre 2011 e 2019

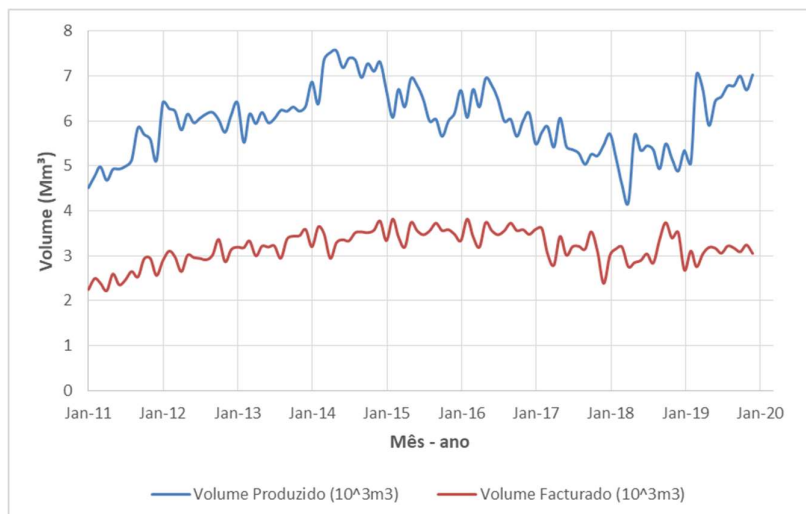


O volume produzido e o distribuído para o consumo doméstico tiveram igualmente variação no período 2011-2019, conforme ilustra o gráfico 2, estando estes claramente relacionados com a dotação per capita de água.

Entenda-se que, para o caso do sistema de Maputo, o operador considera como volume produzido a produção da ETA e dos pequenos subsistemas satélite que captam a água através de furos, nomeadamente os pequenos sistemas de (i) KaTembe, (ii) Intaca, (iii) Zona Verde, (iv) Telegrama, (v) Hulene Esquadra, (vi) Hulene Mercado, (vii) 3 de Fevereiro, (viii) Bairro Ferroviário e (ix) Vila Olímpica, mesmo em situações em que estas são activados para atender a situações de escassez e de seguida desactivados.

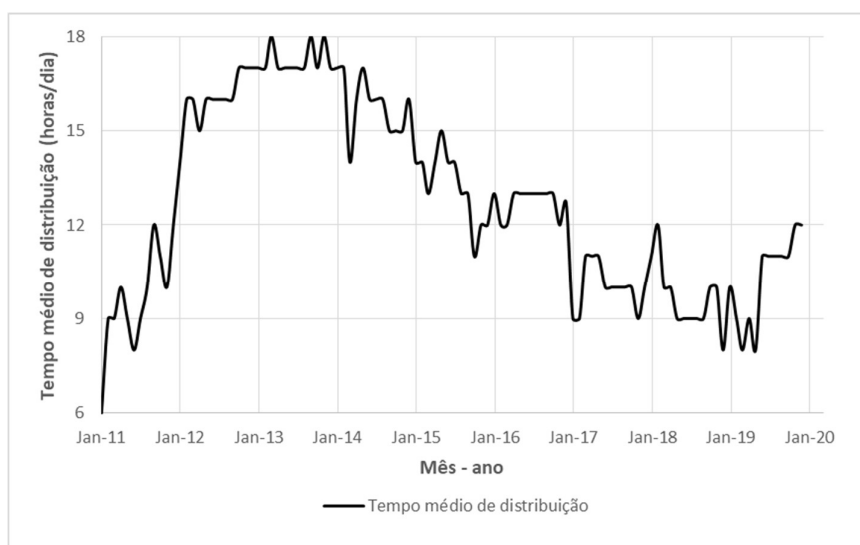
Em situações de escassez, são por vezes mobilizadas outras fontes subterrâneas, como aconteceu em novembro de 2018, quando, para fazer face a escassez de água na captação do Umbeluzi, foram construídos 46 furos de água em Intaka, Mali, Infulene e Laulane, foram equipados de 10 furos em Laulane e Intaka, reabilitados 22 pequenos sistemas satélite nas áreas peri urbanas de Maputo, contribuindo com um total adicional de 12.500m³/dia (0.38M m³/mês) acima dos cerca de 5M m³/mês produzidos pela ETA de Umbeluzi (CRA, 2019 A).

Gráfico 2 – Variação mensal dos volumes produzido e facturado entre 2011 e 2019



Na observação dos dados históricos da variação do tempo médio de distribuição constante do gráfico 3, constata-se que este apresentou uma tendência crescente de janeiro de 2011 a janeiro de 2014, ano em que este passou a decrescer, tendo-se voltado a observar crescimento em meados de 2019. Esta tendência de crescimento do tempo de distribuição deveu-se em parte às obras de construção de uma nova estação de tratamento de água no Umbeluzi, em 2011, e a reabilitação e melhoramento da Estação de Captação de Água Nº.2, em 2012, que inclui a reestruturação e substituição das instalações electromecânicas incluindo bombas submersíveis, e substituição do material filtrante dos filtros da estação de tratamento.²

Gráfico 3 – Variação mensal do tempo médio de distribuição entre 2011 e 2019



² www.fipag.co.mz

3.2.2. Ocorrências de índole exógena

3.2.2.1. Variação do volume de armazenamento da BPL

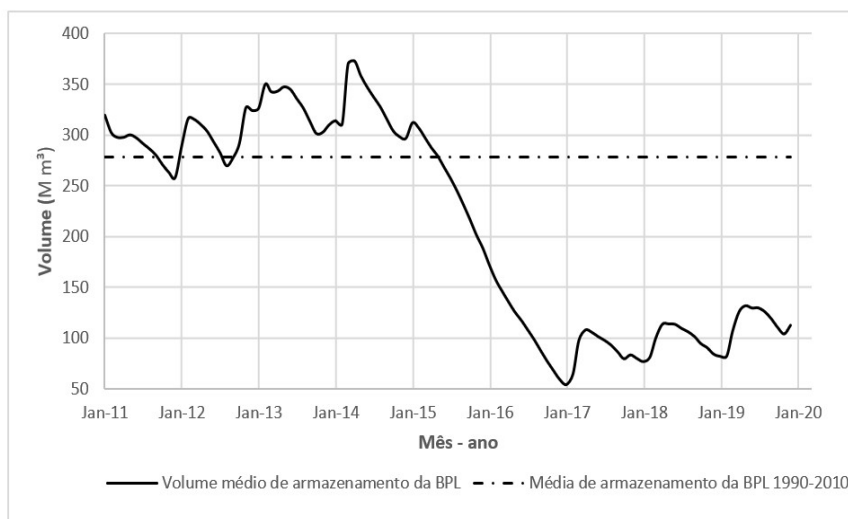
A disponibilidade e fiabilidade da fonte de água bruta foi identificada nesta pesquisa como um dos factores exógenos que impactam sobre a dotação per capita por estar fora do controlo da entidade gestora. Conforme se viu anteriormente, no caso presente a disponibilidade de água bruta para o SAA do grande Maputo é fortemente condicionada pela disponibilidade de água na BPL cujo comportamento é ditado pelo padrão de precipitação observado na região circunscrita a bacia hidrográfica do Rio Umbeluzi.

Dados obtidos Unidade Gestora da Bacia do Umbeluzi (UGBU) indicam que no período 2014-2017 a bacia do Umbeluzi registou fraca precipitação que teve como consequência a redução dos níveis de armazenamento na BPL e à imposição de restrições nas extracções localizadas a jusante da BPL incluindo a captação de água para o abastecimento ao Grande Maputo. Como resultado, os relatórios de desempenho do CRA, indicam que houve redução da dotação de água no sistema de Maputo entre 2014 e 2019, motivada pela redução do nível de armazenamento na albufeira da Barragem dos Pequenos Libombos (CRA, 2019 B).

O gráfico 4 mostra a variação dos volumes médios de armazenamento na BPL no período 2011-2019, onde se observa que à excepção do ano 2014 em todos os restantes anos o volume armazenado esteve sempre abaixo dos 350 M m³ que correspondem ao seu volume útil e sempre abaixo dos 400 M m³ que correspondem ao nível de pleno armazenamento (NPA). A leitura do gráfico mostra ainda que no período 2014-2017 o volume disponível baixou significativamente até níveis críticos (<55 M m³) que forçaram ao governo a decretar o estado de alerta laranja.

O mesmo gráfico faz referência ainda a média dos níveis de armazenamento observados nos 20 anos que antecederam 2011, que segundo Mercelino (2004) é de 278.3 M m³ como referência comparativa, nível estes que desde o primeiro trimestre de 2016 até 2019 não mais fora atingido.

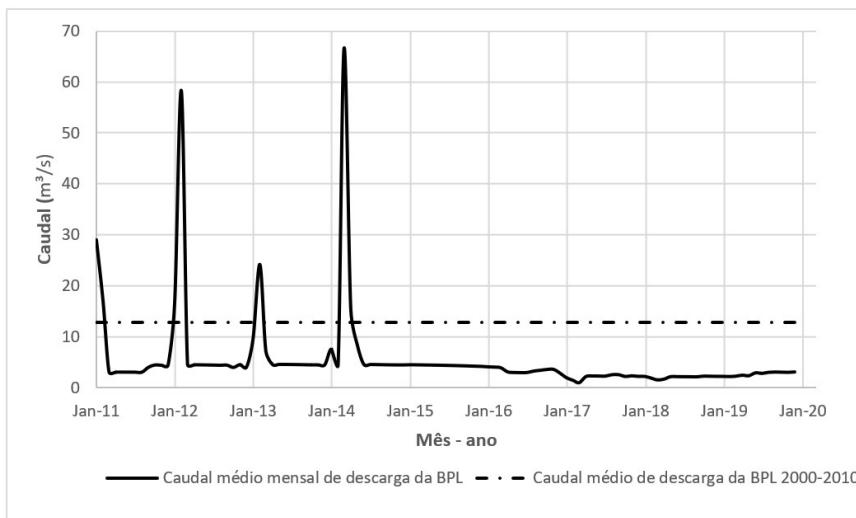
Gráfico 4 – Variação mensal do volume médio de armazenamento da BPL entre 2011 e 2019



3.2.2.2. Caudal de descarga da BPL e gestão do uso da água

O gráfico 5 apresenta a variação dos caudais de descarga da BPL no período compreendido entre 2011 e 2019, e traz ainda como referência comparativa a média dos caudais de descarga observados nos 10 anos que antecederam 2011, situada em $12.85 \text{ m}^3/\text{s}$, caudal este que no período em análise observou-se em momentos excepcionais, cada um deles com duração inferior a dois meses.

Gráfico 5 – Variação mensal do caudal descarregado/efluente médio mensal da BPL entre 2011 e 2019



Conforme se observa no gráfico 5, o caudal médio mensal descarregado situou-se no geral abaixo dos $5 \text{ m}^3/\text{s}$ correspondente, sendo que de 2017 a 2019 este é reduzido para cerca de $3 \text{ m}^3/\text{s}$, cerca de 60% do caudal médio mensal do período anterior (2011-2017). De referir que à jusante da BPL existem outras utilizações para além do abastecimento de água que, segundo a Unidade Gestora da Bacia do Umbeluzi (UGBU), é a principal utilização e acarreta em média 66.6% do

caudal descarregado, sendo que as outras principais utilizações são a agricultura com 16.6%, a indústria com 5.9%, e o caudal ecológico que comporta 11.4% do caudal total descarregado (ARA-sul, UGBU, 2014).

Importa ainda referir a capacidade instalada de produção da ETA do Umbeluzi era de 240 mil m³/dia³, ou seja 2.78 m³/s, alvo que de 2017 a 2019 tornou-se difícil de alcançar devido ao baixo caudal médio de descarga observado neste período (3m³/s), dada a existência das outras utilizações referidas no parágrafo acima, mesmo com a contribuição do Rio Movene no caudal que aflui a captação do sistema.

Gestão do uso da água

Do ponto de vista de gestão do da água, o período 2014-2019 foi caracterizado por um conjunto de medidas de restrição implementadas pela ARA-SUL que tinham como objectivo salvaguardar manutenção do AA ao Grande Maputo a saber:

- De outubro de 2015 a janeiro de 2016 - Restrições na extracção de água para irrigação à montante da albufeira da barragem impostas pela ARA-Sul (CRA, 2019 A).
- Entre Janeiro e Fevereiro de 2016 - Interrupção da produção de energia a partir da BPL por deliberação da reunião do Comité de Gestão da Bacia do Umbeluzi de informe da situação hidrológica delicada que se verificada na região. Adicionalmente, redução das descargas da BPL de 3m³/s para 2.5m³/s;
- Março de 2016 - restrição das extracções de água para agricultura em 75% e realização de um levantamento das fontes alternativas para o reforço do AA ao Grande Maputo;
- Dezembro de 2016 - Aprovação pelo Conselho de Ministros do programa de restrições no abastecimento de água ao Grande Maputo (Cidades de Maputo e Matola e Vila de Boane) para 40% da demanda, e proibição de usos agrícolas;
- Janeiro de 2017 - Iniciadas as restrições ao abastecimento de água às Cidades de Maputo, Matola e Boane. Foram elaborados cenários de redução das descargas da BPL com vista a identificar o cenário de menor impacto para o abastecimento ao Grande Maputo e que mais retardasse o esgotamento do volume disponível. A situação de escassez na BPL melhorou 4 meses depois, tendo voltado a ocorrer restrições em Setembro do mesmo ano;
- Janeiro de 2018 - Declaração de situação de alerta laranja pelo Centro Nacional Operativo de Emergência (CENOE) face à redução da descarga da BPL de 2.15 para

³ www.fipag.co.mz

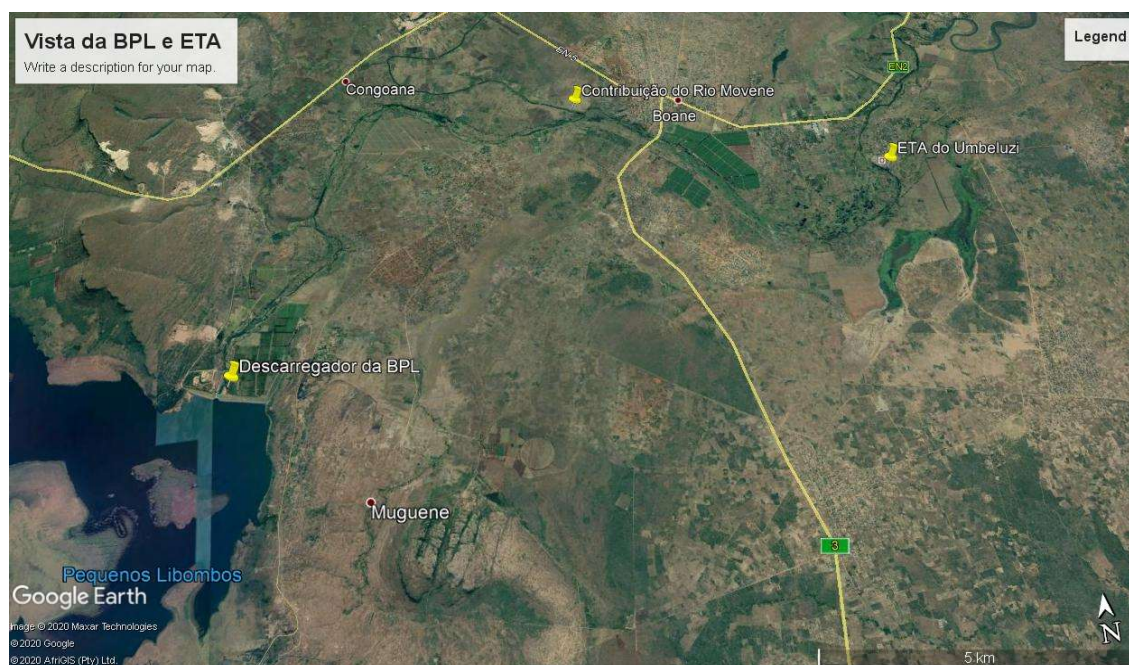
1.5m³/s. Início da implementação de restrições no AA ao Grande Maputo pela AdeM, satisfazendo apenas 40% da demanda com distribuição em dias alternados;

- Janeiro de 2019 - Declaração da manutenção das restrições no abastecimento de água ao Grande Maputo (em dias alternados) devido à escassez de precipitação que continuava a verificar-se na bacia do Umbeluzi.

3.2.2.3. Nível de água no ponto de captação

A figura 5, capturada por satélite, mostra que entre a descarga da BPL e o ponto de captação do Umbeluzi, há vários usos pois o rio Umbeluzi percorre mais de 15 km de um ponto para o outro. Assim, é notório que nem toda a água descarregada é destinada à captação. Porém, é também incontestável a existência de relação entre as descargas da BPL e os volumes captados, e por conseguinte, entre as descargas e a dotação per capita, e uma vez que as descargas da BPL, tomadas como factor que influencia a dotação per capita, dependem dos seus níveis de armazenamento, estes níveis são igualmente considerados como factor influenciador da dotação per capita.

Figura 5- Imagem satélite com a localização da BPL e da ETA do Umbeluzi (26°04'01.85"S; 32°22'19.28"E).



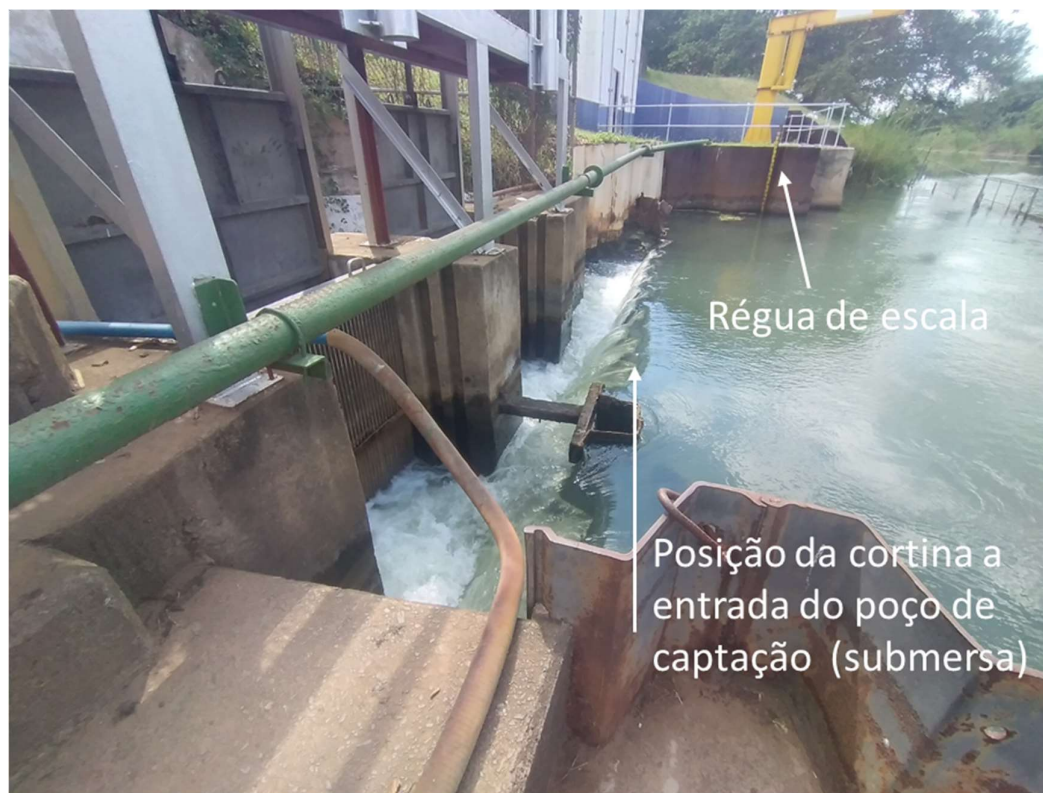
A 08 de Dezembro de 2016, a BPL atingiu percentagens de armazenamento bastante baixas, na ordem de 15% da sua capacidade. Como tal, foram reduzidas as descargas da BPL que já tinham sido restringidas a 3m³/s, tendo passado para 2.5m³/s. Nesta altura, o nível de água à montante da cortina de entrada do poço de captação era de 1.17m, considerado alarmante, pois, com 1.13m a água não galga a cortina, e por conseguinte não entra no poço, impedindo total ou

parcialmente a captação das bombas três bombas que compõem o grupo 2, dependente desta cortina, mantendo-se operacional outro grupo, igualmente composto por três bombas, designado grupo 1, que capta a água através de um segundo poço (CRA, 2016).

Uma vez que as infra-estruturas de captação não foram intervencionadas desde então, é notório que o nível de água no ponto de captação é um factor que influi no volume passível de ser captado, e como tal afecta o volume produzido e a dotação per capita de água.

A imagem 2 ilustra fotograficamente a cortina submersa cravada à entrada do poço de captação, sendo que, o nível de água acima da cortina, medido pela régua de escala situada neste ponto, dita o número de bombas de captação a activar.

Figura 6- Imagem da posição da cortina metálica cravada a entrada do poço de captação e da régua de medição do nível de água no ponto de captação, (autor: Anselmo Munhequete)



A variação dos níveis de água no ponto de captação é melhor visualizada no gráfico 6 que se segue, sendo que, esta reflecte o período 2015-2019 uma vez que para o período 2011-2014 não estavam disponíveis os registos. Os pontos baixos do gráfico localizados imediatamente a seguir a janeiro de 2017 e janeiro de 2018 são consistentes com as ocorrências de restrições devidas à escassez de água na BPL descritas em 3.2.2.2 acima, com algum desfasamento de cerca de um

a dois meses que se pode relacionar com a os volumes que são efectivamente captados, os outros usos que ocorrem entre a BPL e a ETA, e as contribuições do Rio Moveene.

Gráfico 6 – Variação mensal do nível de água no ponto de captação entre 2015 e 2019

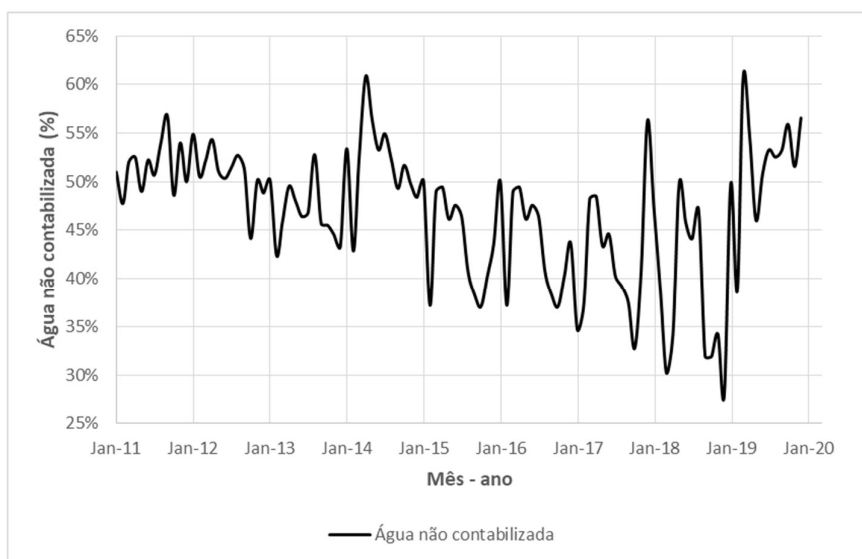


3.2.2.4. Perdas de água

O indicador perdas de água destina-se a avaliar a eficiência da exploração do sistema no que respeita ao conhecimento e controlo de perdas físicas e comerciais, ou seja, a percentagem da água que dá entrada no sistema mas que não é facturada (também designado água não contabilizada).

Num SAA, o volume de perdas depende dos processos de operação e manutenção levados a cabo (perdas no tratamento e nas operações de lavagem de determinados órgãos, expurga de água para reparações entre outros), do estado de conservação do sistema, principalmente na componente de adução, distribuição e reserva, da eficiência da exploração dos sistemas no que diz respeito a facturação, cobrança, níveis de controlo, fugas, roturas, ligações clandestinas e usos não autorizados. As perdas são sem margem de dúvidas, um factor que reduz a disponibilidade de água de água no sistema, e, por conseguinte, a dotação per capita de água. O gráfico 7 mostra a evolução das perdas no período 2011-2019.

Gráfico 7 – Variação mensal das perdas de água entre 2011 e 2019



4. ANÁLISE DO PROBLEMA

Com vista a responder aos objectivos específicos e perguntas da pesquisa, foram aplicados alguns métodos e materiais julgados apropriados para uma investigação correlacional baseada em dados históricos, visando a obtenção e o processamento dos dados, os quais se descrevem neste capítulo.

A metodologia de análise usada para dar resposta aos objectivos e às perguntas da pesquisa, conforme apresentados na parte introdutória do relatório, compreendeu quatro etapas a saber:

- a) Identificação dos factores endógenos e exógenos que influenciaram a dotação per capita de água nos SAA;
- b) A análise por via de correlação entre dotação per capita de água e os factores endógenos e exógenos identificados;
- c) A descrição, através da regressão linear, da relação estatística entre a dotação per capita de água e os factores endógenos e exógenos identificados;
- d) A análise multivariada dos factores com maior influência na dotação per capita de água por meio da ACP.

4.1. IDENTIFICAÇÃO FACTORES COM POTENCIAL PARA INFLUENCIAR A DOTAÇÃO PER CAPITA

Na presente pesquisa, a selecção dos factores que tiveram potencial de exercer influencia na dotação per capita de água no SAA de Maputo, baseou-se na análise documental, tendo sido informada por evidências obtidas da prática de gestão e regulação de SAA. Os factores seleccionados foram agrupados em duas categorias, sendo uma a factores dos factores endógenos e a outra dos exógenos conforme a descrição que se segue.

- Factores endógenos com potencial para influenciar a dotação, que incluem: o total de ligações domésticas, a população servida, o volume produzido, o volume distribuído para o consumo doméstico (considerado igual ao facturado) e o tempo médio de distribuição.
- Os factores exógenos com potencial para influenciar a dotação, que incluem: os caudais de descarga da BPL, o nível de água no ponto de captação, o nível de armazenamento da albufeira da BPL e as perdas ou água não contabilizada.

Os dados usados para o cálculo da dotação teórica de água foram obtidos dos relatórios mensais da entidade provedora dos serviços (AdeM), dos relatórios anuais da entidade reguladora

(AURA,IP) e, base de dados mensais desta entidade. Em termos de tratamento de dados, a informação obtida destas fontes foi cruzada para identificar desvios e/ou anomalias de registo, e posteriormente inseridos na aplicação informática Excel para produzir tabelas e gráficos para a análise estatística, e interpretação de eventuais tendências.

Os dados mensais relativos aos níveis da água no ponto de captação do sistema foram extraídos da bases de dados da entidade provedora (AdeM), enquanto que, os referentes aos caudais de descarga da BPL foram obtidos das bases de dados da Unidade Gestora da Bacia do Umbeluzi (UGBU). Os indicadores de desempenho da entidade provedora e os dados usados para a sua obtenção foram facultados pelo regulador dos serviços de abastecimento de água.

Constatou-se ainda a existência de medidas impulsionadoras e redutoras do impacto dos factores influenciadores da dotação, que são descritas como aquelas que aumentam ou reduzem o impacto dos factores influenciadores da dotação per capita através da influência que exercem sobre estes, porém, não se pretende estudar o impacto destas medidas na dotação per capita, uma vez que estas foram maioritariamente observadas no limiar ou fora do período do estudo. Abaixo trazem-se alguns exemplos destas com vista a elucidar sobre as suas características, e a sua distinção com relação aos factores endógenos e exógenos acima identificados como tendo potencial para influenciar a dotação per capita.

Medidas impulsionadoras e redutoras do impacto dos factores influenciadores da dotação

Alguns dos factores identificados como influenciadores da dotação per capita de água podem ser impulsionados ou reduzidos por determinada medida de intervenção no sistema, e / ou acção de carácter operacional. Como tal, neste trabalho as medidas que aumentam ou reduzem o impacto dos factores influenciadores da dotação per capita são tidas como impulsionadoras ou redutoras destes factores.

Assim, abaixo se listam algumas medidas impulsionadoras e redutoras da influência dos factores endógenos e exógenos identificados, que foram usadas no sistema de Maputo no período coberto pela pesquisa, sendo que, uma vez conhecida a magnitude do seu impacto (catalisação ou inibição) nos factores influenciadores da dotação:

- I- As obras de reabilitação ou expansão das infra-estruturas de produção, ou seja, obras voltadas para o aumento da produção como é o caso da construção da ETA de emergência compacta de Corumana em Sábie, Distrito da Moamba, na província de

Maputo, com capacidade de produção de 30.000 m³/dia, inaugurada em Novembro de 2019.

- II- As medidas de reforço da dotação de água na Albufeira da BPL, entre as quais se pode citar a abertura das comportas da Barragem de Mjoli pelo Reino de eSwatini a 11 de Abril de 2019, com vista a lançar um volume adicional 18 M m³ de água para a albufeira da BPL em 30 dias, elevando o nível de armazenamento de cerca de 25% para 34%, por forma a responder à crise registada no Grande Maputo (Notícias, 2019).
- III- Os programas de redução de perdas como inibidores do seu agravamento, de entre os quais a título de exemplo coloca-se o caso do Programa Acelerado e Integrado de Redução de Perdas (PAIRP), que visa diminuir o índice actual de perdas de 50% para 19% até 2023. O PAIRP foi iniciado em finais de 2019, e sendo implementado irá decerto inibir a ocorrência de perdas.
- IV- As medidas de controlo da demanda podem ser vistas como inibidoras / redutoras dos volumes distribuídos. Em situações de escassez ou de redução da dotação de água para o abastecimento aos consumidores, é comum a introdução de medidas de controlo da demanda, ou *Demand-Side Management* (DSM) como forma de maximização dos proveitos da pouca água disponível no sistema, podendo-se citar como exemplo as campanhas de sensibilização dos consumidores para o uso racional da água, que ocorreram no sistema de Maputo aquando da escassez vivida em 2018.

A Gestão do Lado da Demanda, ou DSM, é uma das formas de aliviar a pressão sobre a capacidade das Empresas de água em criar dotação de água nos sistemas por forma a satisfazer a demanda por via da sua redução. Esta consiste em influenciar não apenas a quantidade de água que os consumidores usam, mas também como eles a utilizam, este conceito tornou-se comum nos sectores de energia eléctrica e gás natural na década de 70, como resultado da crise de energia, tendo a DSM se tornado actualmente uma componente importante de planeamento para o sector de água (Bishop, 1996). No SAA de Maputo observaram-se medidas de controlo da demanda como:

- Os programas de gestão da demanda (geralmente implementados como plano director de conservação / poupança da água) tornaram-se bastante difundidos no sector de água. Mesmo em áreas que ainda não enfrentam restrições no abastecimento, o planeamento da conservação tornou-se visível à medida que as empresas de abastecimento em todo o

mundo começaram a reconhecer a necessidade de proteger esse recurso vital e escasso que é a água.

- O agravamento das tarifas, muito embora tenha em vista assegurar a sustentabilidade das empresas provedoras do serviço de abastecimento de água, garantindo a coberturas dos custos de produção, é muitas vezes tomado como uma medida de controlo da demanda, pois pode levar a que os consumidores contenham os seus consumos por forma a reduzi os valores dos seus consumos, no caso de Maputo, a última revisão tarifária no período da pesquisa data de 2018, feita através da Resolução número 1 de 20 de Junho de 2018, emanada pelo Conselho de Regulação de Águas.
- A introdução de contadores de água pré-pagos, ora em fase piloto no sistema de Maputo, impacta igualmente na forma de usar a água pois desperta o consumidor a racionalizar os consumos, podendo por isso ser vista como uma medida de controlo da demanda, muito embora esse não seja o principal objectivo da sua introdução.

Maggioni (2020) remete a análise da demanda a estudos mais específicos devido à sua complexidade, pois, segundo esta, a análise da demanda de água estuda a relação entre os indivíduos e o consumo de água em ambientes residenciais. Estudos antológicos resumem as características da função de demanda de água, identificam os principais temas de investigação, analisam desafios e lacunas na pesquisa e avaliam suas implicações para a conservação da água.

4.2. DETERMINAÇÃO DO VOLUME PER CAPITA

Na determinação do volume per capita considerou-se um volume per capita global, que integra a população servida por ligações domésticas e por fontenários, e um volume per capita doméstico, que integra apenas a população servida por ligações domésticas, isto é, sem incluir a parcela correspondente à população servida por fontenários. O cálculo do volume per capita, quer global quer apenas doméstico obedeceu os procedimentos que se explicam de seguida.

É com base nos dados da tabela 1 que a dotação per capita de água foi obtida. Para o cálculo da dotação per capita global de água foram usados dois procedimentos que deram resultados similares, o que possibilitou a aferição pela sua comparação. O primeiro procedimento de cálculo consistiu em subtrair do volume distribuído os volumes facturados público, comercial, industrial e municipal e as perdas totais, ficando-se somente com o volume destinado ao consumo doméstico no global (destinado as ligações domésticas e fontenários), que dividido

pelo número de pessoas servidas por ligações domésticas e fontenário, obtendo-se o volume disponível para cada uma das pessoas (volume total disponível per capita para os consumidores servidos por ligações domésticas e por fontenários), conforme expressa a equação 14.

O valor médio de habitantes por agregado familiar usando teve como referência a entidade reguladora CRA (2019 C), que em seus relatórios anuais de avaliação do desempenho das empresas de água, considera 5.3 habitantes por ligação doméstica, e para cada fontanário público considera uma média de 300 utentes.

$$Vol_{per\ capita\ global} = \frac{(Vol_{distribuido} - Vol_{perda} - Vol_{fact.\ publico,\ comercial,\ industrial\ e\ municipal})}{Pop.Servida_{doméstica\ e\ fontenários}} \quad (14)$$

Onde :

- $Vol_{per\ capita\ global}$ - é o volume disponibilizado a cada consumidor servido por ligação da categoria doméstica e fontenário no período de cálculo ($m^3/pessoa/período$);
- Vol_{perdas} - é o volume de perdas totais obtido multiplicando a percentagem de perdas pelo volume total produzido no período ($m^3/período$);
- $Vol_{distribuido}$ - é o volume total distribuído pelos CD do SAA no período ($m^3/período$);
- $Vol_{volumes\ publico,comercial,industrial\ e\ municipal}$ - é a soma dos volumes facturados nas categorias pública, comercial, industrial e municipal no período ($m^3/período$);
- $Pop.Servida_{doméstica\ e\ fontenários}$ - é o número pessoas servidas por ligações domésticas e por fontenários no sistema (nr).

A mesma expressão, dada pela equação 14, foi reformulada e usada para a aferição, tendo o procedimento consistido em somar os volumes facturados das categorias doméstica e fontenários (novo numerador da equação com o mesmo significado), e de seguida dividir o resultado pela população servida pelas ligações destas categorias (mesmo denominador), obtendo assim o volume facturado per capita dado pela equação 15, que foi usado para aferir os resultados obtidos usando a equação 14.

$$Vol_{per\ capita\ global} = \frac{Vol_{fact.\ doméstico\ e\ fontenários}}{Pop.Servida.doméstica\ e\ fontenários} \quad (15)$$

Onde :

- $Vol_{per\ capita\ global}$ - é o volume disponibilizado a cada consumidor com ligação da categoria doméstica e fontenário no período de cálculo ($m^3/pessoa/período$);
- $Vol_{fact.\ doméstico\ e\ fontenários}$ - é o volume facturado para as categorias doméstica e fontenário ($m^3/período$);
- $Pop.Servida.doméstica\ e\ fontenários$ - é o número pessoas servidas por ligações domésticas e por fontenários no sistema (nr).

Para o cálculo da dotação per capita doméstica de água o procedimento consistiu em somar os volumes facturados da categoria doméstica e dividir o resultado pela população servida por ligações domésticas, obtendo assim o volume facturado per capita apenas para a categoria doméstica conforme expressa a equação 16.

$$Vol_{per\ capita\ doméstico} = \frac{Vol_{fact.\ doméstico}}{Pop.Servida.doméstica} \quad (16)$$

Onde :

- $Vol_{per\ capita\ doméstico}$ - é o volume disponibilizado a cada consumidor com ligação da categoria doméstica no período de cálculo ($m^3/pessoa/período$);
- $Vol_{fact.\ doméstico}$ - é o volume facturado para as categorias doméstica ($m^3/período$);
- $Pop.Servida.doméstica$ - é o número pessoas servidas por ligações domésticas no sistema (nr).

Uma vez calculada a dotação per capita, seguiram-se os procedimentos de análise estatística.

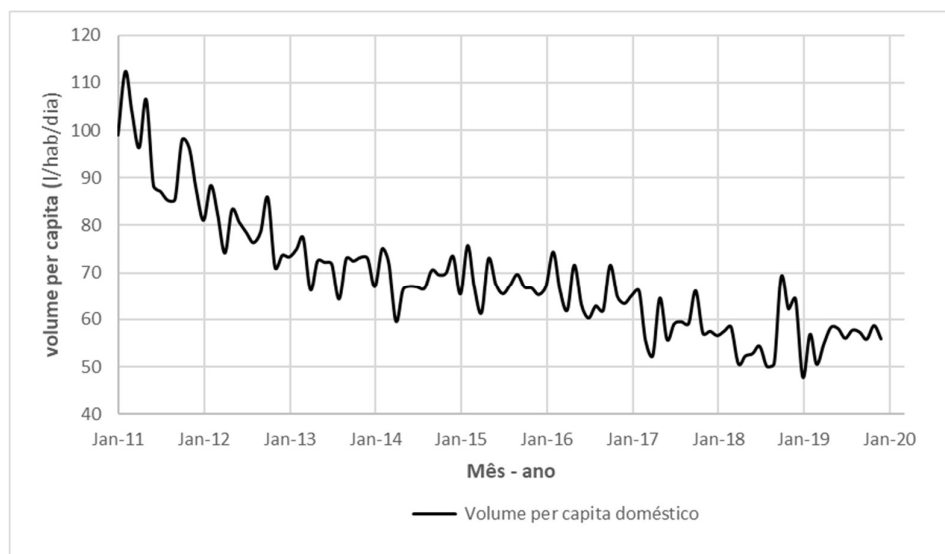
Após o levantamento dos dados necessários para o cálculo da dotação per capita mensal, que se listam numa base anual na tabela resumo abaixo (tabela 2), foram feitos os cálculos da dotação para períodos mensais que se traduzem no gráfico 8.

Tabela 2 – Dados usados na análise da dotação per capita da água distribuída no SAA de Maputo, e valores anuais da dotação per capita mensal de 2011 a 2019.

Parâmetros	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Total de ligações domésticas (nr)	131,749	185,412	212,187	228,616	236,954	241,965	243,143	244,332	242,995
Total de fontenários (nr)	425	430	377	410	410	406	304	234	150
Total de ligações domésticas e fontenários (nr)	132,174	185,842	212,564	229,026	237,364	242,371	243,447	244,566	243,145
Acréscimo de Ligações (nr)	ano zero	63,002	28,003	17,064	9,569	6,815	504	1,324	-1,191
População servida por ligações domésticas (10 ³ nr)	698	983	1,125	1,212	1,256	1,282	1,289	1,295	1,288
População servida por fontenários (10 ³ nr)	230	215	189	192	123	122	91	70	45
População total servida (10 ³ nr)	928	1,198	1,313	1,403	1,379	1,404	1,380	1,365	1,333
Volume total produzido (10 ³ m ³ /ano)	63,265	73,109	73,523	75,967	75,831	73,151	63,645	61,901	78,767
Volume total facturado (10 ³ m ³ /ano)	30,367	35,816	39,110	41,158	42,430	42,565	38,866	37,756	36,757
Perdas totais (%)	52%	51%	47%	46%	44%	42%	42%	39%	53%
Volume facturado público (10 ³ m ³ /ano)	1,999	2,154	2,095	2,238	2,228	2,074	1,875	1,931	1,845
Volume facturado comercial (10 ³ m ³ /ano)	4,302	4,939	5,067	5,335	5,884	6,362	5,967	6,309	6,163
Volume facturado industrial (10 ³ m ³ /ano)	3,442	3,638	4,260	4,354	4,103	3,919	3,300	3,141	2,750
Volume facturado municipal (10 ³ m ³ /ano)	0	5	7	16	24	33	24	26	32
Volume facturado público, comercial, industrial e municipal (10 ³ m ³)	9,742	10,736	11,429	11,943	12,240	12,388	11,166	11,407	10,791
Volume facturado público, comercial, industrial e municipal (%)	32%	30%	29%	29%	29%	29%	29%	30%	29%
Volume distribuído para o consumo doméstico e dos fontenários (10 ³ m ³ /ano)	20,625	25,080	27,539	29,215	30,190	30,177	25,749	26,353	26,229
Volume facturado doméstico (10 ³ m ³)	20,393	24,819	27,518	29,113	30,105	30,132	27,683	26,238	25,913
Volume facturado fontenários (10 ³ m ³ /ano)	284	260	164	107	85	43	41	28	54
Volume facturado fontenários + Volume facturado doméstico (10 ³ m ³ /ano)	20,678	25,080	27,682	29,220	30,190	30,175	27,724	26,267	25,967
Volume per capita global (m ³ /hab/ano)	22.17	20.94	20.97	20.82	21.89	21.49	18.66	19.30	19.68
Volume per capita global (m ³ /hab/mês)	1.85	1.75	1.75	1.74	1.82	1.79	1.56	1.61	1.64
Volume per capita global (l/hab/dia)	61.57	58.17	58.26	57.84	60.82	59.70	51.83	53.62	54.66
Volume per capita doméstico (l/hab/dia)	95.44	79.51	72.05	68.70	67.63	65.77	59.83	56.61	55.68

O gráfico 8 mostra que, apesar do comportamento oscilatório da dotação per capita doméstica, esta apresenta uma tendência decrescente no período em apreço.

Gráfico 8 – Variação mensal da dotação per capita doméstica entre 2011 e 2019



4.3. ANÁLISE DE CORRELAÇÃO E REGRESSÃO

Cálculo e interpretação dos coeficientes de correlação

Conforme mencionado na revisão da literatura, a medida da variação conjunta das variáveis ou co-variação observada em um diagrama de dispersão é a correlação entre as duas variáveis. No presente caso, os coeficientes de correlação de Pearson foram obtidos através da ferramenta informática Excel, seguindo-se as técnicas de análise descritas no ponto 2.1 acima.

Assim, numa primeira fase é avaliada a existência e a magnitude da correlação entre a dotação de água e os factores exógenos e endógenos identificados e convertidos em volumes per capita incrementais ou défice de volume provocado por estes na dotação de água do sistema. A interpretação da magnitude da correlação foi tomada segundo Cohen (1988) citado por Figueiredo (2009), que afirma que valores coeficientes de correlação de Pearson entre 0,10 e 0,29 podem ser considerados pequenos; valores entre 0,30 e 0,49 podem ser considerados como médios; e valores entre 0,50 e 1 podem ser interpretados como grandes. Do mesmo modo, no presente trabalho considerou-se que correlação fraca é aquela com coeficiente de correlação de Pearson inferior a 0,3 ($|\rho| < 0,3$), correlação moderada aquela com coeficiente de correlação de Pearson entre 0,30 e 0,49, e forte a que apresenta coeficiente igual ou superior a 0,5.

Obtenção dos diagramas de dispersão e rectas de regressão

Tendo em atenção que a existência de uma correlação linear entre duas variáveis não significa que não se verifique outro tipo de correlação, por exemplo, exponencial, optou-se por efectuar uma análise mais simplificada dos diagramas de dispersão, obtendo-se as rectas que melhor que traduzem linearmente a relação entre a dotação per capita e as restantes variáveis, uma vez que os níveis de correlação serão alvo de uma análise posterior mais robusta através da ACP.

Foi igualmente calculado o grau de ajustamento dos pontos dispersos que representam os factores influenciadores da dotação e esta a uma linha recta, traduzido pelo coeficiente de determinação R^2 , seguindo-se as técnicas de análise descritas no ponto 3.1.3. acima.

4.3.1. Análise de correlação

Com vista a avaliar a existência e a magnitude da relação entre a dotação de água e os factores exógenos e endógenos identificados, foi feita a análise de correlação.

Com base nos dados históricos extraídos das bases de dados e relatórios anuais da entidade provedora e da entidade reguladora no período 2011-2019 (registos mensais) apresentados na tabela 2, foi analisada o grau de correlação existente entre a dotação per capita global de água e os factores endógenos e exógenos seleccionados para análise designadamente: o total de ligações domésticas e fontenários, os volumes produzidos, volumes facturados e tempo médio de distribuição para a categoria de factores endógenos e, as perdas totais, os caudais das descargas da BPL, os caudais descarregados pela BPL, os volumes de armazenamento da albufeira da BPL e os níveis de água no ponto de captação para a categoria de factores exógenos. De referir que para este último factor exógeno foram usados dados de cinco anos apenas (2015-2019) devido à indisponibilidade de dados nos restantes anos.

A avaliação do grau de correlação foi feita por determinação do coeficiente de correlação de Pearson (equação 2), tendo com variável dependente a dotação per capita global de água e, como variáveis independentes, cada um dos factores identificados com tendo potencial para influenciar a dotação per capita global. Os resultados obtidos são apresentados na tabela 3 donde se observa a existência de uma correlação fraca ($|\rho| < 0.3$) entre a dotação per capita de água e os factores endógenos designadamente, (i) volumes produzidos, (ii) volumes distribuídos, e, (iii) perdas totais.

Já com relação aos factores exógenos, os resultados obtidos, que são trazidos na tabela sugerem existir uma correlação moderada, com $0.5 > |\rho| \geq 0.3$ entre a dotação per capita global de água e (i) os caudais descarregados pela BPL e (ii) o tempo médio de distribuição, e uma correlação forte, com $|\rho| \geq 0.5$ entre a dotação per capita global de água e o (i) total de ligações domésticas e fontenários, (ii) o volume de armazenamento da albufeira da BPL e (iii) os níveis de água no ponto de captação (níveis de água na toma).

Tabela 3 - Coeficientes de correlação entre a dotação per capita global e os factores identificados como influentes na dotação per capita

Variáveis correlacionadas com o volume per capita global	Coeficiente de correlação de Pearson (ρ)	Natureza do factor (Endógeno / Exógeno)	Tipo de Correlação
Total de ligações domésticas e fontenários	-0.664	Endógeno	Forte
Volume produzido	0.075	Endógeno	Fraca
Volume distribuído à doméstica	-0.004	Endógeno	Fraca
Perdas totais	0.042	Exógeno	Fraca
Níveis da água no ponto de Captação	0.553	Exógeno	Forte
Caudal de descarga da BPL	0.328	Exógeno	Moderada
Tempo médio de distribuição	0.442	Endógeno	Moderada
Volume de armazenamento da albufeira	0.663	Exógeno	Forte

4.3.2. Análise de regressão e dispersão

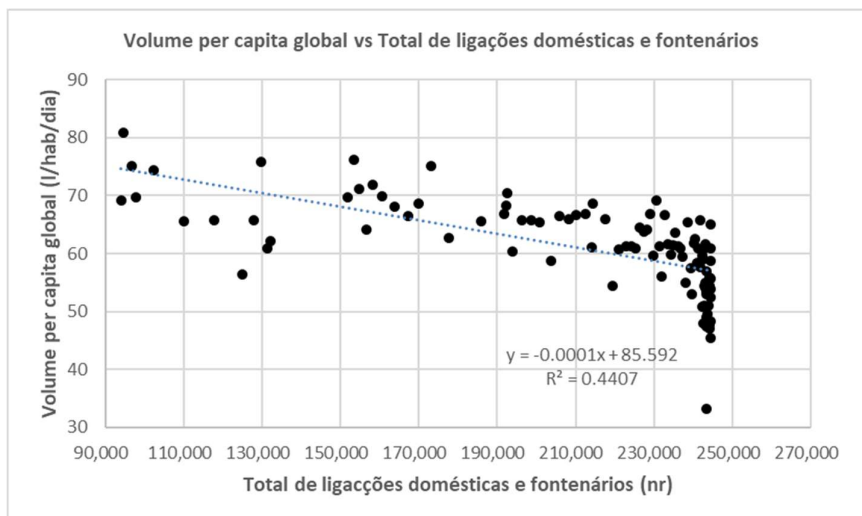
A análise de regressão foi feita com o intuito de aferir o grau de ajustamento dos pontos dispersos a uma equação linear (regressão linear simples), através da definição da equação da recta e análise do respectivo coeficiente de determinação (R^2). A análise visual da dispersão apoia na interpretação dos resultados obtidos.

Para esta análise foram seleccionados apenas os factores com coeficiente de correlação Pearson superior a 0.3, ou seja, com correlação moderada e forte, sendo estes: a) o número total de ligações; b) os níveis de água no ponto de captação; c) o caudal de descarga da BPL; d) o tempo médio de distribuição e e) o volume de armazenamento da albufeira da BPL, os restantes factores não foram trazidos a análise por apresentarem correlação fraca.

4.3.2.1. Volume per capita global versus total de ligações domésticas e fontenários

Na análise do diagrama de dispersão que relaciona o volume per capita global de água (l/hab/dia) e o total de ligações domésticas e fontenários (nr) obteve-se a equação de regressão linear $Y = -0.0001x + 85.542$ onde Y é o volume per capita global e x o total de ligações domésticas e fontenários (nr), através do ajuizamento da equação da recta que melhor se ajusta aos pontos do gráfico. O gráfico 9 mostra a recta que melhor se ajusta à dispersão entre o número total de ligações domésticas e fontenários e o volume per capita global.

Gráfico 9 - Dispersão do volume per capita global VS total de ligações domésticas e fontenários



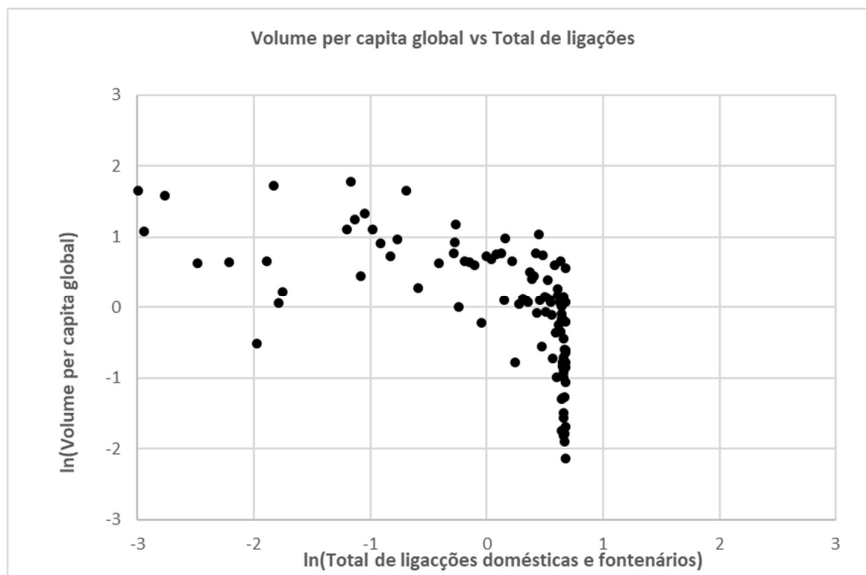
Conforme se observa a existência de correlação forte que se traduz num coeficiente de correlação de Pearson ($|r|$) igual a $|-0.664|$, sendo negativo porque o crescimento da variável independente implica o decréscimo da dependente.

Neste caso, obteve-se $R^2 = 0.441$, o que significa que o modelo linear explica 44.10% da variância do volume per capita global de água (variável dependente) a partir do regressor (variáveis independentes) que é o número total de ligações domésticas e fontenários, para esta recta de ajustamento.

A mesma análise feita com as variáveis padronizadas e logaritmizadas (obtendo-se o gráfico 10, dos logaritmos dos valores do volume per capita global VS total de ligações e fontenários, na qual as variáveis foram transformadas pela aplicação do logaritmo natural seguida da padronização).

Em análises do género a padronização ajuda a fazer com que os dados tenham escala e magnitude equiparável, pois consiste em subtrair de cada valor a sua média levando a série a ter média zero (centralização), e dividir cada valor pelo seu desvio padrão, e a transformação logarítmica ajuda a suavizar as diferenças entre os valores extremos e os demais valores das séries de dados reduzindo as extremidades elevadas e os picos na distribuição de dados, aglutinando-se assim os pontos dispersos. Contudo, no presente caso a logaritmização não resultou na melhoria dos resultados de dispersão conforme ilustra o gráfico 10.

Gráfico 10 - Dispersão do volume per capita global VS total de ligações domésticas e fontenários (Dados transformados pela aplicação do Ln e padronizados)

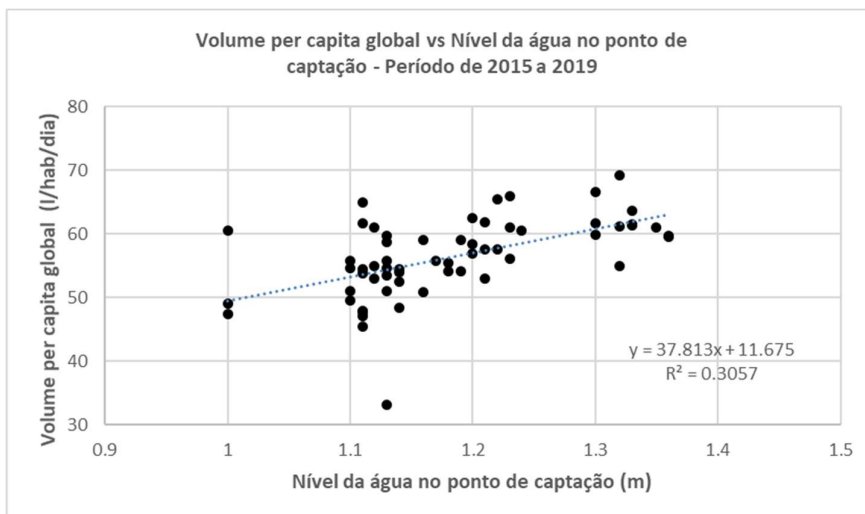


4.3.2.2. Volume per capita global versus níveis de água no ponto de captação

Na análise do diagrama de dispersão que relaciona o volume per capita global de água (l/hab/dia) e o níveis de água no ponto de captação (m) obteve-se a equação de regressão linear $Y = 37.813x + 11.675$ onde Y é o volume per capita global e x o nível de água no ponto de captação. É notória a existência de correlação que se traduz num coeficiente de correlação de Pearson na ordem de 0.553.

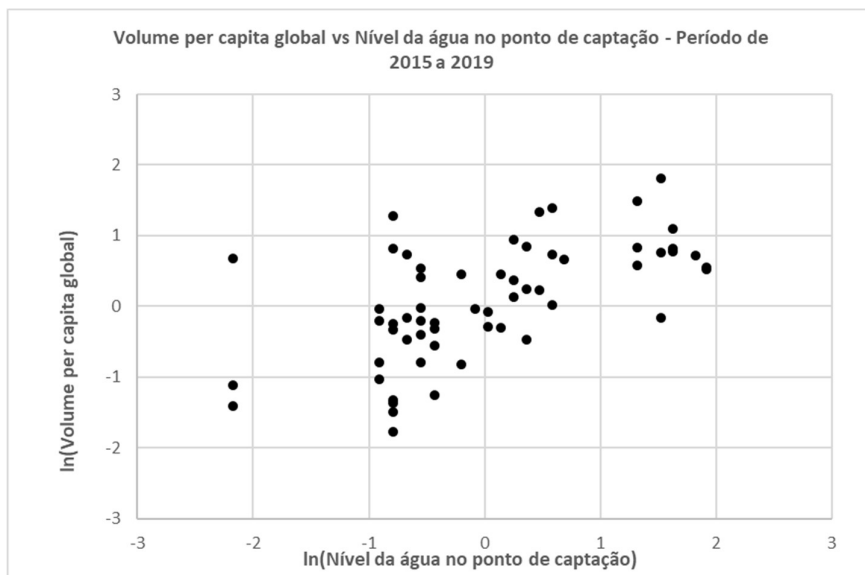
Neste caso, o $R^2 = 0.3057$, o que significa que o modelo linear explica 30.57% da variância do volume per capita global de água (variável dependente), a partir do regressor (variáveis independentes) que é o nível de água no ponto de captação, para esta recta de ajustamento. O gráfico 11 apresenta a recta que melhor se ajusta à dispersão entre o nível de água no ponto de captação e o volume per capita global.

Gráfico 11 - Dispersão do volume per capita global VS Níveis de água no ponto de captação



Foi efectuada uma análise complementar dos logaritmos dos valores do volume per capita global VS nível de água no ponto de captação, na qual as variáveis foram transformadas pela aplicação do logaritmo natural seguida da padronização. No entanto, desta não resultou a redução dos pontos dispersos (aglutinação dos dados) que se busca em análises semelhantes, conforme se afigura no gráfico 12.

Gráfico 12 - Dispersão do volume per capita global VS nível da água no ponto de captação (Dados transformados pela aplicação do Ln e padronizados)



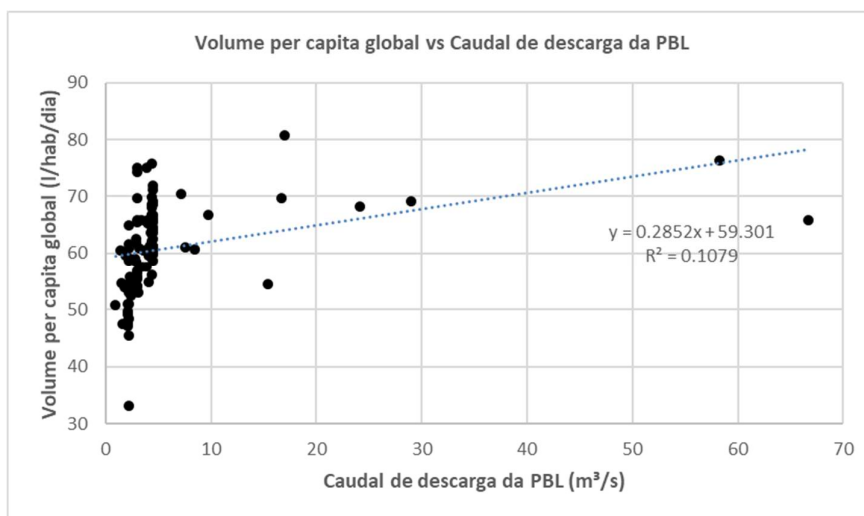
4.3.2.3. Volume per capita global versus caudal de descarga da BPL

Na análise do diagrama de dispersão ilustrando o volume per capita global de água (l/hab/dia) e o caudal de descarga da BPL (m^3/s) obteve-se a equação de regressão linear

$Y = 0.2852x + 59.31$ como a mais ajustada aos dados, onde Y é o volume per capita global e x o nível de água na captação. É notória a existência de correlação que se traduz num coeficiente de correlação de Pearson na ordem de 0.328.

Neste caso, o $R^2 = 0.108$ significa que o modelo linear explica 10.79% da variância do volume per capita global de água (variável dependente) a partir do regressor (variáveis independentes) que é o caudal da descarga da BPL, sendo visível que os pontos não se ajustam à recta. O gráfico 13 apresenta a recta que melhor se ajusta a dispersão entre o caudal de descarga da BPL e o volume per capita global.

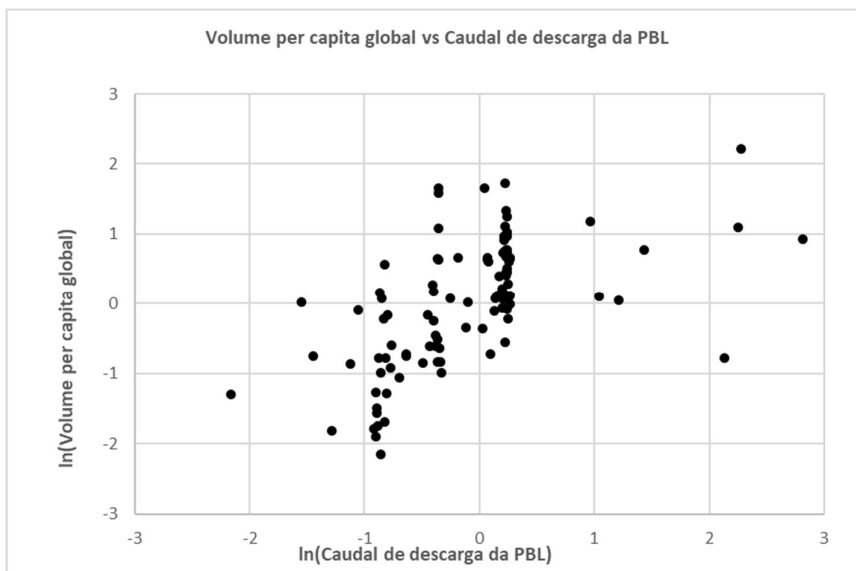
Gráfico 13- Dispersão do volume per capita volume per capita global VS caudal de descarga da BPL



Foi efectuada uma análise complementar dos logaritmos dos valores do volume per capita global VS caudal de descarga da BPL, na qual as variáveis foram transformadas pela aplicação do logaritmo natural seguida da padronização. A logaritmização resultou na melhoria dos resultados de dispersão, que analisados visualmente deixaram de estar concentrados no lado esquerdo do gráfico (gráfico 13), tendo passado a estar concentrados à volta da origem conforme ilustra o gráfico 14, mas, com predominância de *outlayers*, o que justifica o coeficiente de correlação de Pearson de 0.328 que traduz uma correlação moderada, (muito próxima da fraca) e um coeficiente de determinação R^2 de 0.1079, também chamado de R^2 que remete a uma equação linear pouco ajustada à amostra, pois explica apenas 10.79% da variância do volume per capita global de água.

Esta fraca correlação pode ser justificada pela facto de ser estar perante um sistema cuja produção e distribuição mensal não depende taxativamente dos caudais das descargas da BPL, pois uma vez atingido os caudais de descarga que garantem a produção normal, os caudais de descarga acima deste não interferem na produção, quando os caudais de descarga abaixo destes influenciam na produção e podem condiciona-la.

Gráfico 14- Dispersão do volume per capita global VS caudal de descarga da BPL (Dados transformados pela aplicação do Ln e padronizados)



4.3.2.4. Volume per capita global versus tempo médio de distribuição

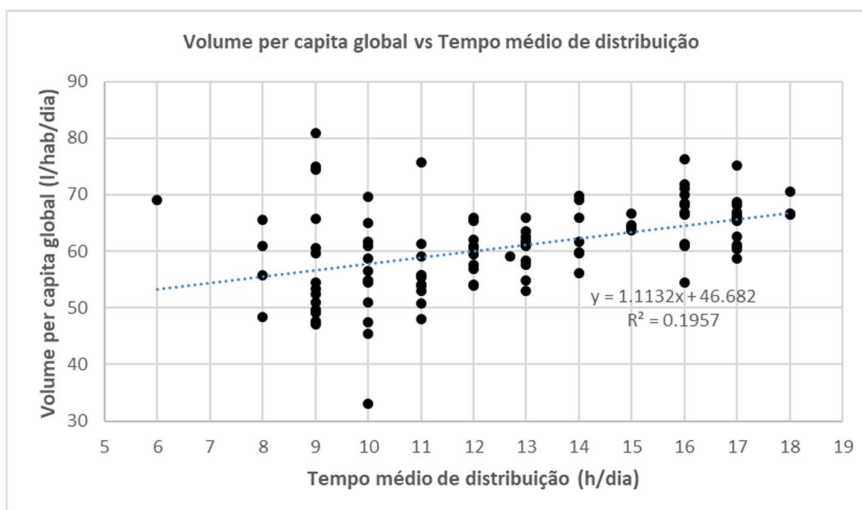
Na análise da regressão linear entre o volume per capita global de água (l/hab/dia) e tempo médio de distribuição (h/dia) obteve-se a equação de regressão linear $Y = 1.113x + 46.682$ como a que mais interpreta a relação entre estas duas variáveis, onde Y é o volume per capita global e x o tempo médio de distribuição. O coeficiente de correlação de Pearson obtido foi de 0.442, o que traduz uma correlação moderada.

Neste caso, o $R^2 = 0.1957$, o que significa que o modelo linear explica 19.57% da variância do volume per capita global de água (variável dependente) a partir do regressor (variáveis independentes) que é tempo médio de distribuição, para esta recta de ajustamento. O gráfico 15 apresenta a recta que melhor se ajusta à dispersão entre o tempo médio de distribuição da água e o volume per capita global.

Esta correlação moderada entre a dotação per capita e o tempo de distribuição pode em parte resultar do uso quase generalizado de reservatórios nas instalações hidráulicas das residências

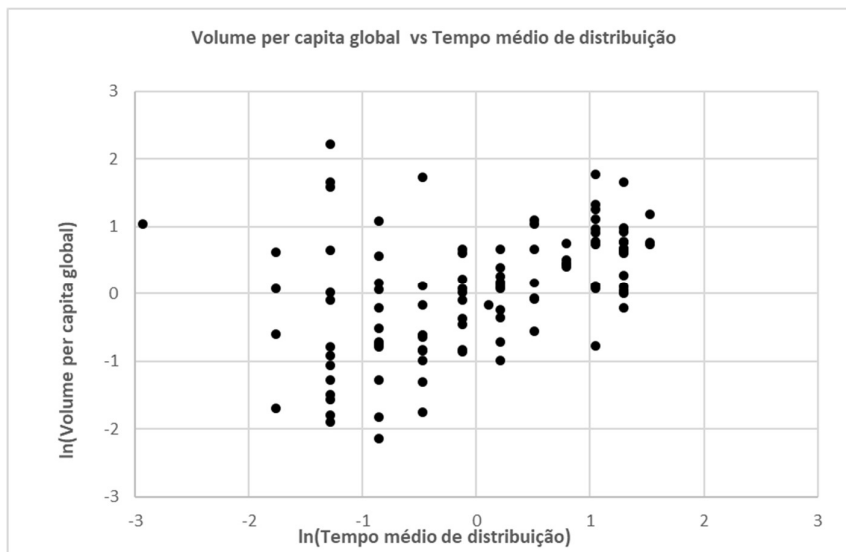
do Grande Maputo, para fazer face aos constrangimentos da distribuição intermitente, que leva que os volumes distribuídos sirvam para preencher as reservas domésticas, e o padrão de variação do tempo de distribuição se dissocie dos padrões de consumo das famílias, uma vez que estas recorrem aos seus reservatório ao longo do dia.

Gráfico 15- Dispersão do volume per capita global VS Tempo médio de distribuição



Foi efectuada uma análise complementar dos logaritmos dos valores do volume per capita global VS tempo médio de distribuição, na qual as variáveis foram transformadas pela aplicação do logaritmo natural seguida da padronização. O aspecto visual e a consequente análise visual da dispersão não variam muito depois de efectuada a logaritmização conforme ilustra o gráfico 16.

Gráfico 16- Dispersão do volume per capita global VS tempo médio de distribuição (Dados transformados pela aplicação do Ln e padronizados)

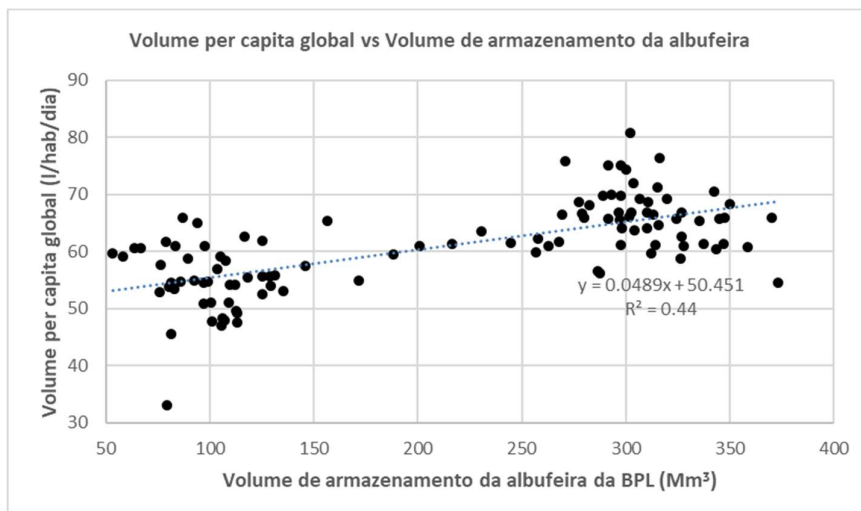


4.3.2.5. Volume per capita global versus volume armazenado na albufeira

Na análise do diagrama de dispersão que relaciona o volume per capita global de água (l/hab/dia) e o volume armazenado na albufeira (Mm³) obteve-se a equação de regressão linear $Y = 0.0489x + 50.451$ onde Y é o volume per capita global e x o volume armazenado na albufeira (Mm³), através do ajustamento da equação da recta que melhor se ajusta aos pontos do gráfico. É notória a existência de correlação forte que se traduz num coeficiente de correlação de Pearson ($|\rho|$) igual a 0.663, sendo negativo porque o crescimento da variável independente implica o decréscimo da dependente.

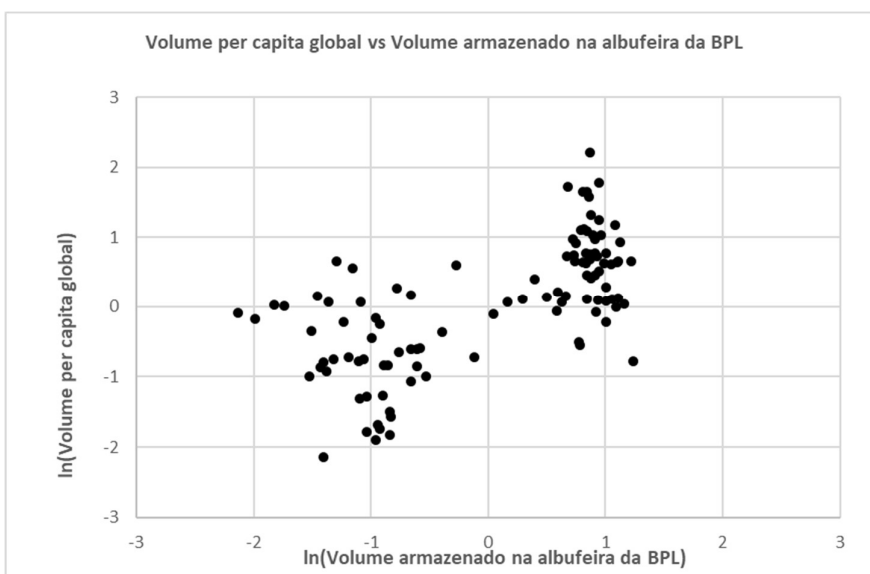
Neste caso, obteve-se $R^2 = 0.44$, o que significa que o modelo linear explica 44.00% da variância do volume per capita global de água (variável dependente) a partir do regressor (variáveis independentes) que é o volume armazenado na albufeira da BPL, para esta recta de ajustamento. O gráfico 17 apresenta a recta que melhor se ajusta à dispersão entre o volume de armazenamento da albufeira da BPL e o volume per capita global.

Gráfico 17 - Dispersão do volume per capita global VS volume armazenado na albufeira da BPL



Foi efectuada uma análise complementar dos logaritmos dos valores do volume per capita global VS volume armazenado na albufeira da BPL, na qual as variáveis foram transformadas pela aplicação do logaritmo natural seguida da padronização. Após a logaritmização os dados mantiveram-se concentrados em dois pólos conforme ilustra o gráfico 18, o que era expectável pois, segundo Wilks (2011), a heterogeneidade dos dados do gráfico 17 é difícil de eliminar através da logaritmização, e indicia variância não constante.

Gráfico 18 - Dispersão do volume per capita global VS volume armazenado na albufeira da BPL (Dados transformados pela aplicação do Ln e padronizados)



4.4. ANÁLISE MULTIVARIADA PELO MÉTODO DA ACP

Neste subcapítulo, apresenta-se a análise dos factores influenciadores da dotação per capita de água no SAA do Grande Maputo, pelo método da Análise de Componentes Principais (ACP) que se segue a análise da correlação e regressão feita no subcapítulo 4.3 que permite inferir o grau de interdependência entre a dotação per capita de água e os factores identificados como influenciadores desta, os quais servem de suporte para a ACP aqui apresentada.

A ACP exigiu que os dados fossem alvo de uma prévia transformação logarítmica para reduzir os picos, e de seguida, que fossem padronizadas, subtraindo-se de cada uma a sua média, passando todas a ter média zero (centralização), e divididas pelo seu respectivo desvio padrão populacional para que tenham escala e magnitude equiparável (redução da escala).

A ACP foi feita considerando dois cenários de análise que se diferenciam pela disponibilidade de dados uns dos quais (2011-2014), sem consideração dos níveis de água na captação (por ausência de dados) e outro (2015-2019) considerando todas variáveis.

A ACP foi efectuada com base na aplicação informática R-Studio⁴, que é um software computacional e gráfico com funções de análise estatística avançada, tendo sido obtidos os valores das componentes principais que traduzem a significância de cada variável para cada uma das componentes principais e as co-variâncias entre as diferentes variáveis analisadas.

Foram também computados por esta aplicação informática os autovalores e autovectores das componentes principais 1 e 2, com maior variância para as variáveis seleccionadas, e que por conseguinte traduzem as correlações mais fortes entre as variáveis, atendendo que o número máximo de componentes principais é igual ao número de variáveis analisadas, porém a variância reduz da primeira à última componente. Foram destacados os agrupamentos de autovalores através dos rectângulos A, B e C, circunscritos aos mesmos.

O objectivo do uso da ACP não foi o comumente pretendido que é, determinar as variáveis de maior influência na formação de cada componente principal, mas sim, determinar as variáveis com maior influencia na dotação per capita, que é tomada como variável *pivot* nesta pesquisa.

⁴ Vide anexo 2 - Procedimento de processamento de dados para o ACP usando Rstudio

Através da matriz de correlação, pode-se observar se existe correlação entre as variáveis. Se algumas variáveis iniciais forem linearmente dependentes umas das outras, os respectivos valores da correlação serão nulos na matriz. Esta dependência linear que se caracteriza por valores de correlação muito próximos de zero caracteriza variáveis cuja contribuição para explicar a variância será muito pequena, para a respectiva componente principal, o que significa que as variáveis têm pouca informação. Assim, deve-se retirar da análise aquelas componentes que possuem pouca informação, pois a sua retirada não acarreta uma perda significativa de informação, e permite reduzir os dados e tornar os resultados mais fáceis de serem interpretados.

Segundo Rencher (2002), em cada aplicação da ACP, uma decisão deve ser tomada sobre quantas componentes principais devem ser retidos para resumir efectivamente os dados. As seguintes linhas de orientação são por ele propostas para o efeito:

- Reter componentes suficientes para contabilizar uma percentagem especificada do total variância, seja, 80%;
- Reter as componentes cujos autovalores são maiores que a média dos autovalores, $\sum_{i=1}^p \frac{\lambda_i}{p}$. Para uma matriz de correlação, essa média é 1.
- Usar o gráfico λ_i versus i , e procurar uma quebra natural entre os autovalores “grandes” e os “pequenos”.
- Testar a significância das componentes “maiores”, ou seja, os componentes que correspondem aos autovalores maiores.

Assim, na presente pesquisa, a definição do número de componentes a serem utilizadas foi feita considerando as componentes principais que um mínimo de 75% da variância acumulada.

Para o efeito, a ACP assentou na análise dos autovectores que traduzem o peso de cada variável para cada uma das componentes principais, mas também o nível de correlação entre uma variável e as outras, tomando como componentes principais mais relevantes as componentes 1 e 2, por apresentarem as maiores variâncias para as variáveis seleccionadas, e por conseguinte traduzirem as correlações mais fortes entre as variáveis.

Esta análise envolveu dados mensais para as oito variáveis seguintes:

- O volume per capita global (l/hab/dia);
- O volume per capita doméstico (l/hab/dia);
- O número total de ligações domésticas e fontenários (nr);

- O volume produzido (m^3);
- O caudal de descarga da BPL (m^3/s);
- As perdas totais (%);
- O tempo médio de distribuição (h/dia);
- O volume de armazenamento da BPL ($M m^3$)

Para a análise, estas variáveis foram previamente transformadas pela aplicação do logaritmo natural e de seguida padronizadas, ou seja, cada variável de cada grupo foi dividida pelo desvio padrão populacional por forma a terem escala e magnitude equiparável (redução da escala), e de seguida foi subtraída de cada uma a sua média, passando todos os grupos a ter média zero (centralização), para a análise das componentes principais (vide equação 1).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo, apresentam-se os resultados da análise da correlação e regressão feita no subcapítulo 4.3 que permite inferir o grau de interdependência entre a dotação per capita de água e os factores identificados como influenciadores desta. Apresentam-se ainda os resultados da análise multivariada pelo método da Análise de Componentes Principais (ACP) feita no subcapítulo 4.4 aos com maior influencia na dotação per capita de água no SAA do Grande Maputo, e fez-se a discussão interpretativa dos resultados.

5.1. RESULTADOS DA ANÁLISE DE CORRELAÇÃO E REGRESSÃO

Na tabela 4 resume-se os resultados da análise da correlação e regressão entre o volume per capita global e os factores: (a) total de ligações domésticas e fontenários, (b) nível de água no ponto de captação do Umbeluzi, (c) caudal de descarga da BPL, (d) tempo médio de distribuição, e (e) volume de armazenamento da albufeira da BPL.

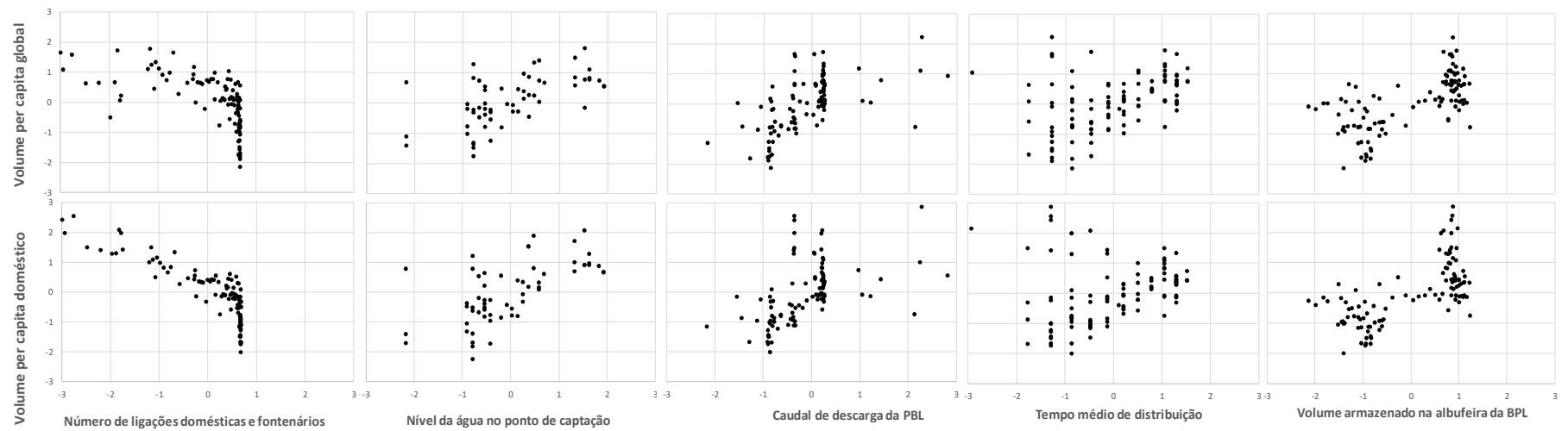
Tabela 4 - Resumo das variáveis analisadas, equações de regressão e coeficiente de determinação R^2

Ref.	Variáveis correlacionadas com o volume per capita global (l/hab/dia)	Equação de Regressão e Coef. R^2 e coef. de correlação (ρ)	Natureza do factor (Endógeno / Exógeno)
A	Total de ligações domésticas e fontenários (nr)	$Y = -0.0001x + 85.541$ $R^2 = 0.441$; $\rho = -0.664$	Endógeno
B	Níveis de água no ponto de Captação (m)	$Y = 37.813x + 11.675$ $R^2 = 0.306$; $\rho = 0.553$	Exógeno
C	Caudal de descarga da BPL (m^3/s)	$Y = 0.285x + 59.31$ $R^2 = 0.108$; $\rho = 0.328$	Exógeno
D	Tempo médio de distribuição (h/dia)	$Y = 1.113x + 46.682$ $R^2 = 0.196$; $\rho = 0.442$	Endógeno
E	Volume de armazenamento da albufeira ($M m^3$)	$Y = 0.0489x + 50.451$ $R^2 = 0.440$; $\rho = 0.663$	Exógeno

Por forma a aferir se o facto de existir uma tendência de abandono dos fontenários no sistema de Maputo, que se traduziu na redução do número de fontenários entre 2011 e 2019, afecta a análise, foi analisada a dispersão das variáveis seguintes: a) o número de ligações domésticas; b) os níveis de água no ponto de captação; c) o caudal de descarga da BPL; d) o tempo médio de distribuição; e, e) o volume de armazenamento da albufeira da BPL, em relação ao volume per capita doméstico (excluindo-se os fontenários). Desta análise obteve-se diagramas de dispersão semelhantes aos obtidos quando se considera o volume per capita global, que inclui o volume destinado aos fontenários, considerando dados transformados através da aplicação do logaritmo natural, e padronizados, conforme a comparação dos diagramas da figura 7, o que se explica pelo facto de ter-se um número de fontenários bastante reduzido comparativamente ao

total número de ligações e fontenários, tendo-se 0.32% de fontenários em 2011, e 0.06% em 2019, porção que quando excluída não altera em grande o total de ligações.

Figura 7- Comparação dos diagramas de dispersão obtidos na análise do volume per capita global e do volume per capita doméstico (Dados transformados pela aplicação do Ln e padronizados)



Da comparação dos diagramas de dispersão obtidos na análise do volume per capita global e do volume per capita doméstico constata-se não haver grandes variações entre os diagramas de dispersão que consideram o volume per capita global que inclui os fontenários e os diagramas que consideram o volume per capita doméstico (excluindo a componente do volume per capita dos fontenários), ou seja a exclusão da componente dos fontenários na análise não altera a dependência da dotação per capita com relação ao número de ligações domésticas e fontenários, níveis de água no ponto de captação da ETA do Umbeluzi, caudal de descarga da BPL, tempo médio de distribuição e volume de armazenamento da albufeira da BPL, uma vez que os fontenários são uma porção muito baixa do total de ligações (0.3 a 0.06% do total de ligações são fontenários).

5.2. RESULTADOS DA ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS

Com o apoio do *software* RStudio foi processada a análise multivariável das componentes principais, tomando os dados de 2011 a 2019 sem considerar o nível de água na captação por indisponibilidade de dados para o período, tendo o nível de água na captação sido considerado na análise de dados de 2015 a 2019.

5.2.1. ACP - Período 2011-2019

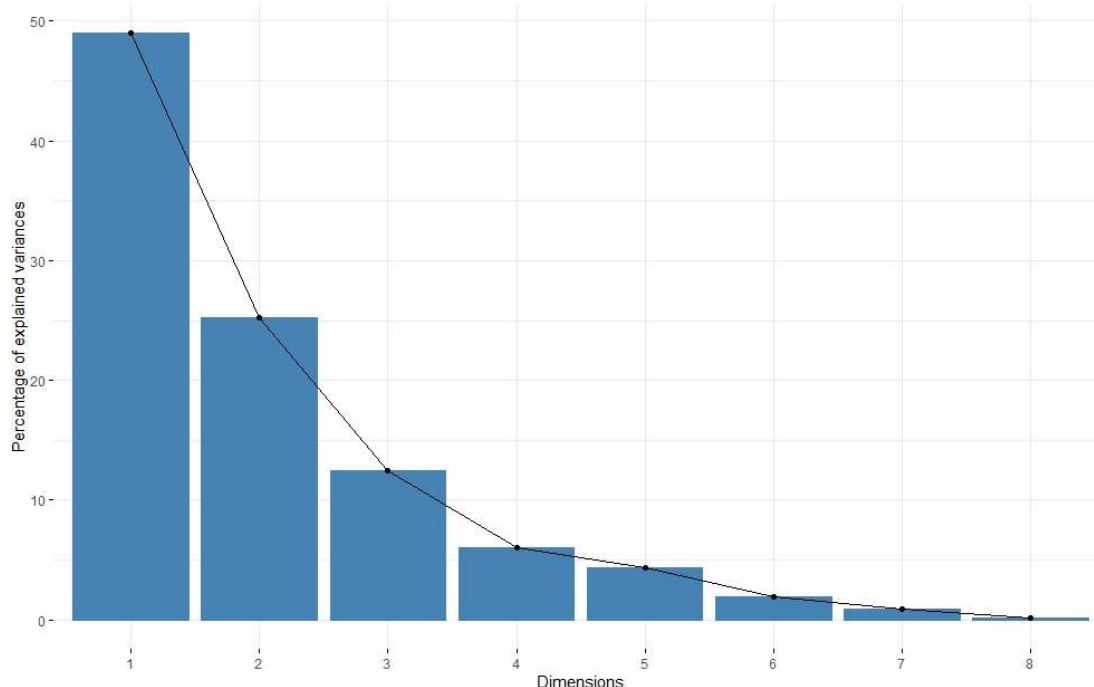
Os resultados obtidos no que diz respeito aos valores das cargas dos autovectores para cada uma das componentes principais são apresentados na tabela 5.

Tabela 5 - Valores das cargas dos autovectores para as componentes principais, análise para o período 2011-2019

Variáveis	Comp.1	Comp.2	Comp.3	Comp.4	Comp.5	Comp.6	Comp.7	Comp.8
NLig	0.354	0.439	0.316	0.121	0.053	0.188	0.113	0.718
VProd	-0.144	0.628	-0.020	-0.079	0.558	0.200	0.226	-0.420
Perdas	-0.252	0.266	-0.769	-0.125	0.059	-0.213	-0.213	0.406
VPGlob	-0.415	-0.158	0.407	-0.158	0.448	0.035	-0.607	0.202
QDesc	-0.384	0.100	0.051	0.903	-0.032	-0.153	0.002	-0.004
TDistr	-0.286	0.436	0.369	-0.298	-0.457	-0.538	0.018	-0.065
VArm	-0.457	0.089	-0.027	-0.093	-0.470	0.742	0.004	0.038
VPDom	-0.424	-0.331	0.063	-0.159	0.225	-0.116	0.722	0.310

Por forma a seleccionar a componentes principais que explicam pelo menos 75% das variâncias e como tal melhor traduzem a dependência entre as variáveis analisadas, foram calculadas e representadas graficamente as percentagens das variâncias explicadas por cada uma das componentes principais. O gráfico 19 apresenta as percentagens das variâncias explicadas, com base no qual se constata que as componentes 1 e 2 aproximadamente 75% das variâncias, tendo por isso sido seleccionadas para a ACP cujos resultados são apresentados de forma vectorial no gráfico 20.

Gráfico 19 - Percentagens das variâncias explicadas pelas componentes principais, análise para o período 2011-2019



Foram calculadas as co-variâncias entre as variáveis em análise e como resultados foram obtidos os valores apresentados na tabela 6.

Tabela 6 - Matriz de co-variância entre as variáveis, análise das variáveis para o período 2011-2019

	NLig	VProd	Perdas	VPGlob	QDesc	TDistr	VArm	VPDom
NLig	1.009	0.363	-0.370	-0.597	-0.384	0.063	-0.562	-0.870
VProd	0.363	1.009	0.503	0.111	0.300	0.619	0.308	-0.126
Perdas	-0.370	0.503	1.009	0.042	0.347	0.263	0.496	0.202
VPGlob	-0.597	0.111	0.042	1.009	0.543	0.429	0.648	0.844
QDesc	-0.384	0.300	0.347	0.543	1.009	0.428	0.657	0.509
TDistr	0.063	0.619	0.263	0.429	0.428	1.009	0.613	0.207
VArm	-0.562	0.308	0.496	0.648	0.657	0.613	1.009	0.661
VPDom	-0.870	-0.126	0.202	0.844	0.509	0.207	0.661	1.009

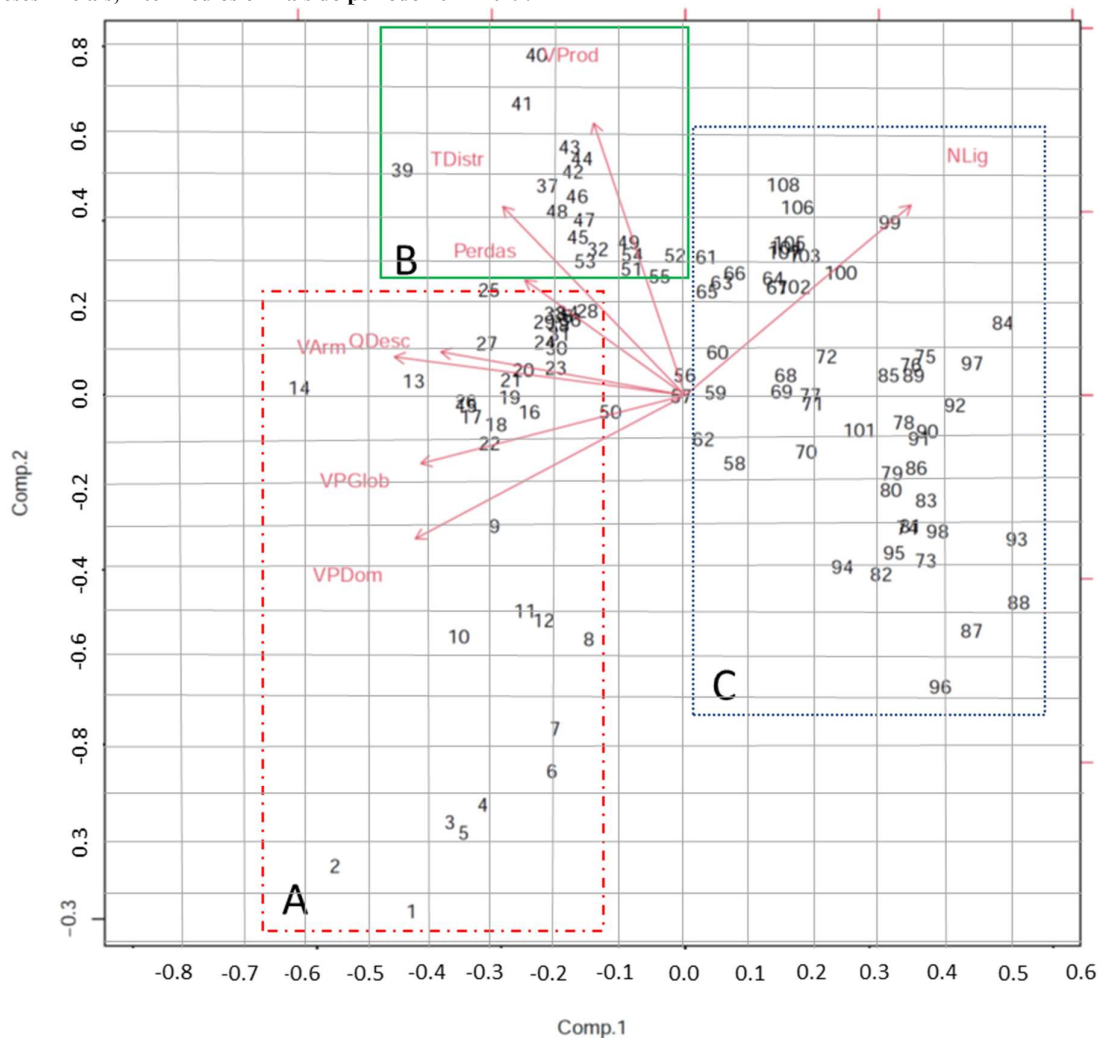
Dos resultados apresentados na tabela 6 constata-se que obtiveram-se para o período 2011-2019 co-variâncias com módulos iguais ou superiores a 0,5 entre o volume per capita global e três variáveis que são:

- O número total de ligações com módulo da co-variância igual a -0.60;
- Os caudais de descarga da BPL com co-variância de 0.54; e,
- O volume de armazenamento da BPL com co-variância de 0.65.

O gráfico 20 apresenta os autovalores e autovectores das componentes principais 1 e 2, com maior variância para as oito variáveis seleccionadas, e destaca através dos rectângulos A, B e C a formação de três grupos de dados, designadamente o grupo de dados dos meses iniciais (A), intermédios (B) e finais (C) do período 2011-2019. Estes grupos foram identificados visualmente em função da tendência de agrupamento dos dados, por forma a facilitar a interpretação do comportamento dos dados da amostra.

Do gráfico 20, observam-se ângulos agudos (que traduzem correlação positiva) entre o volume per capita global e (i) o volume de armazenamento da albufeira da BPL e (ii) o caudal de descarga da BPL, e um ângulo obtuso (que denota correlação negativa) entre o volume per capita global e (iii) o número de total de ligações. Esta observação converge com os módulos de co-variâncias acima de 0.5 existentes entre o volume per capita global e estas três variáveis conforme indica a tabela 6.

Gráfico 20- Representação vectorial das variáveis nos eixos formados pelas componentes principais 1 e 2. Os valores contidos nos rectângulos A, B e C representam os 3 grupos de dados que se destacam, respectivamente os dados dos meses iniciais, intermédios e finais do período 2011-2019.



5.2.2. Análise das componentes principais para o período de 2015 a 2019

Esta análise é feita a parte da primeira pois só existiam disponíveis dados relativos ao nível de água no ponto de captação para o período de 2015 a 2019, sendo importante perceber a dependência entre esta variável e as restantes, bem como entre ela e a dotação per capita.

Assim, foram analisadas oito variáveis que são os dados mensais seguintes:

- O volume per capita global (l/hab/dia);
- O número total de ligações domésticas e fontenários (nr);
- O volume produzido (m^3);
- O caudal de descarga da BPL (m^3/s);
- As perdas totais (%);
- O tempo médio de distribuição (h/dia);
- O nível de água na toma do Umbelizi; e
- O volume de armazenamento da BPL (Mm^3).

Com o apoio do *software* RStudio foi efectuada a análise multivariada das componentes principais, tomando os dados 2015 a 2019 que incluem o nível de água na captação.

Como resultados, foram obtidos os valores das cargas de cada autovector para cada uma das componentes principais que são apresentados na tabela 7.

Tabela 7 - Valores das cargas dos autovectores nas componentes principais, análise para o período 2015-2019

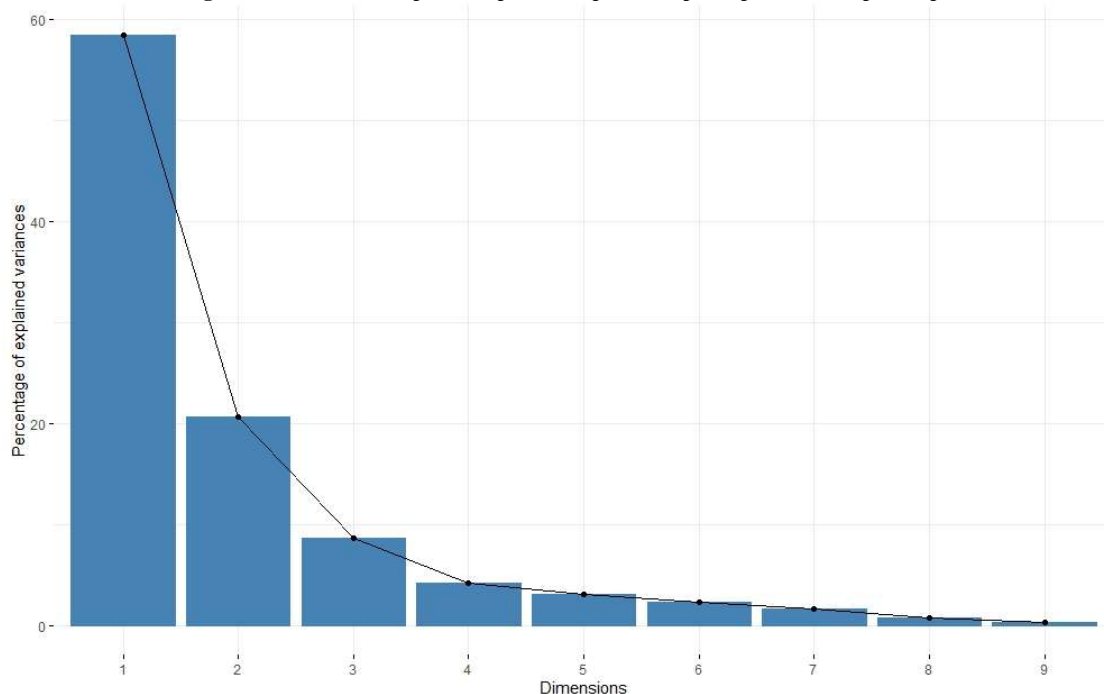
Variáveis	Comp.1	Comp.2	Comp.3	Comp.4	Comp.5	Comp.6	Comp.7	Comp.8	Comp.9
NLig	0.387	0.046	0.411	0.031	0.334	0.218	0.024	0.707	0.137
Vprod	-0.287	0.416	0.516	-0.246	-0.088	-0.095	-0.059	0.035	-0.629
Perdas	-0.072	0.710	0.146	-0.022	-0.108	-0.118	0.049	-0.132	0.652
VPGlob	-0.287	-0.401	0.433	-0.387	-0.179	0.483	-0.129	-0.174	0.327
Ncapt	-0.400	0.016	-0.088	0.146	0.441	-0.099	-0.767	0.093	0.094
Qdesc	-0.392	0.059	-0.051	0.012	0.677	0.223	0.552	-0.165	-0.018
TDistr	-0.369	0.038	0.071	0.749	-0.365	0.336	0.094	0.199	-0.039
Varm	-0.351	0.119	-0.519	-0.451	-0.219	0.122	0.089	0.564	0.025
VPDom	-0.327	-0.375	0.267	0.043	-0.049	-0.713	0.259	0.241	0.207

Na componente principal 2, destacam-se as perdas, o volume produzido e os volumes per capita como os que apresentam os maiores valores, ou seja, têm mais expressão na composição desta componente principal.

Por forma a seleccionar as componentes principais que explicam pelo menos 75% das variâncias e como tal melhor traduzem a dependência entre as variáveis analisadas, foram calculadas e representadas graficamente as percentagens das variâncias explicadas por cada uma das componentes principais. O gráfico 21 apresenta as percentagens das variâncias explicadas, com base no qual se constata que as componentes 1 e 2 aproximadamente 80% das variâncias, tendo

por isso sido seleccionadas para a ACP cujos resultados são apresentados de forma vectorial no gráfico 22.

Gráfico 21- Percentagem das variâncias explicadas pelas componentes principais, análise para o período 2015-2019.



Foi também calculada a co-variância entre as variáveis em análise tendo-se obtido os resultados apresentados na tabela 8.

Tabela 8-Matriz de co-variância entre as variáveis, análise das variáveis para o período 2015-2019

	NLig	VProd	Perdas	VPGlob	NCapt	QDesc	TDistr	VArm	VPDom	
NLig		1.017	-0.406	-0.060	-0.498	-0.815	-0.754	-0.739	-0.877	-0.647
VProd	-0.406		1.017	0.724	0.328	0.573	0.599	0.557	0.467	0.321
Perdas	-0.060	0.724		1.017	-0.373	0.149	0.204	0.196	0.240	-0.325
VPGlob	-0.498	0.328	-0.373		1.017	0.533	0.517	0.500	0.355	0.798
NCapt	-0.815	0.573	0.149	0.533		1.017	0.862	0.766	0.730	0.654
QDesc	-0.754	0.599	0.204	0.517	0.862		1.017	0.728	0.731	0.608
TDistr	-0.739	0.557	0.196	0.500	0.766	0.728		1.017	0.583	0.609
VArm	-0.877	0.467	0.240	0.355	0.730	0.731	0.583		1.017	0.411
VPDom	-0.647	0.321	-0.325	0.798	0.654	0.608	0.609	0.411		1.017

Dos resultados apresentados na tabela 8 constatam-se que obtiveram-se co-variâncias com módulos iguais ou superiores a 0,5 entre o volume per capita global e quatro factores que são:

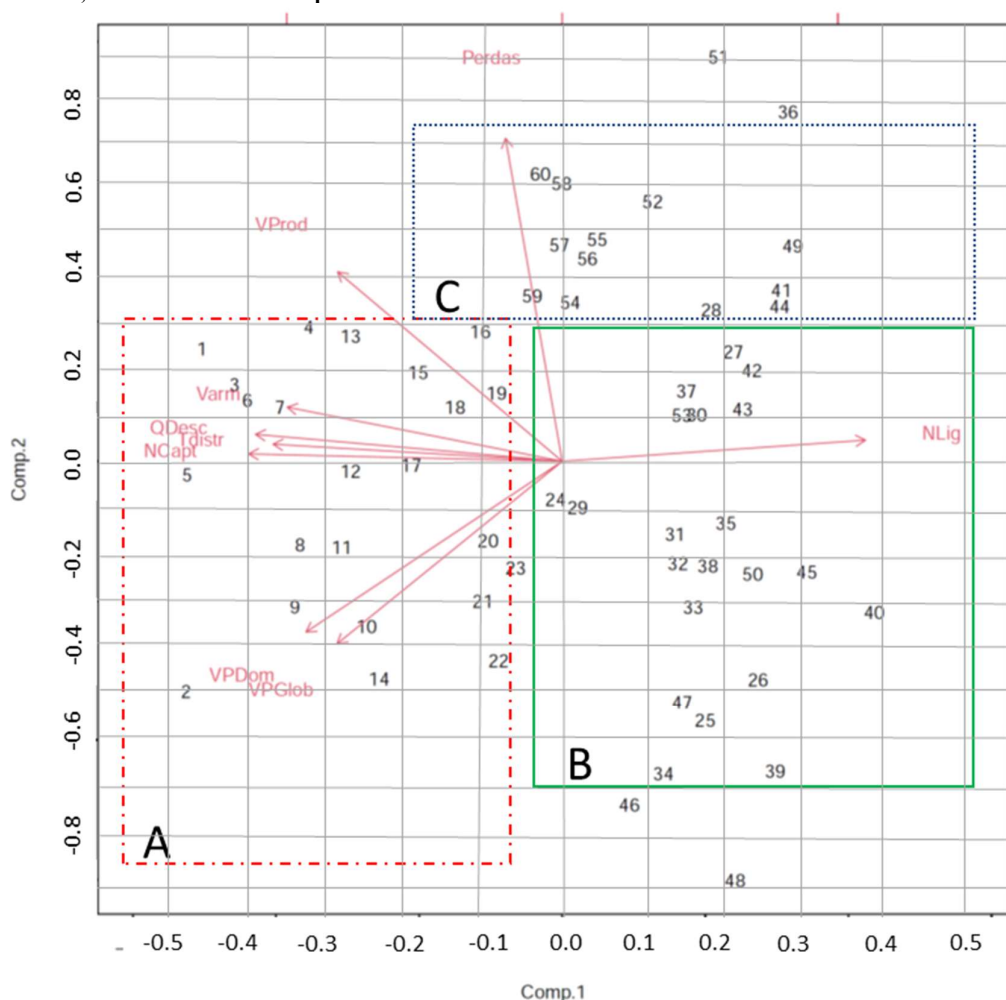
- O total de ligações com módulo da co-variância aproximada por defeito de 0.50;
- O nível de água no ponto de captação com co-variância de 0.53;
- Os caudais de descarga da BPL com co-variância de 0.52; e,
- O tempo de distribuição com co-variância de 0.50.

Este nível de co-variância dá uma indicação de existência de elevada correlação entre o volume per capita e estas quatro variáveis.

O gráfico 22 apresenta os autovalores e autovectores das componentes principais 1 e 2, que são as componentes com maior variância para as oito variáveis seleccionadas, e destaca através dos rectângulos A, B e C a formação de três grupos de dados, designadamente o grupo de dados dos meses iniciais (A), intermédios (B) e finais (C) do período 2015-2019.

É visível no gráfico 22 que os ângulos mais agudos próximos de 45 graus (que indicam correlação positiva) existem entre o volume per capita global e (i) caudal de descarga da BPL; (ii) tempo de distribuição e (iii) nível de água no ponto de captação, e um ângulo obtuso (que indica correlação negativa) observa-se entre o volume per capita global e o (iv) número total de ligação, sendo por isso estes os factores com maior influência na dotação per capita no período em análise. Esta observação converge com os módulos de co-variâncias acima de 0.5 existentes entre o volume per capita global e estas quatro variáveis conforme indica a tabela 8.

Gráfico 22- Representação vectorial das variáveis nos eixos formados pelas componentes principais 1 e 2. Os valores contidos nos rectângulos A, B e C representam os 3 grupos de dados que se destacam, respectivamente os dados dos meses iniciais, intermédios e finais do período 2015-2019.



5.3. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

5.3.1. Factores com influência na dotação per capita

O estudo apurou que tanto os factores endógenos quanto os exógenos influenciaram a dotação per capita no SAA de Maputo, uma vez ter-se constatado, da análise das correlações, que existe correlação forte (com $|\rho| \geq 0.5$) entre a dotação per capita global e três factores que são (i) o número total de ligações domésticas e fontenários que é um factor endógeno, (ii) o volume de armazenamento da albufeira da BPL e, (iii) o nível de água no ponto de captação, que são factores exógenos, e correlação moderada, com $0.5 > |\rho| \geq 0.3$ entre a dotação per capita global de água e (iv) os caudais descarregados pela BPL e (v) o tempo médio de distribuição

O volume produzido, o volume distribuído para consumo doméstico e as perdas foram identificados como factores que tiveram fraca influência na dotação per capita, por terem fraca correlação com esta, traduzida por coeficientes de correlação inferiores a 0,3 conforme apresentado na tabela 3 que apresenta os coeficientes de correlação entre a dotação per capita global e os factores identificados como influentes na dotação per capita. Resultado similar foi obtido com a análise feita pelo método da ACP com base na qual, o volume produzido e as perdas no sistema, apresentam fraca co-variância com relação ao volume per capita global (vide tabelas 6 e 8). A ACP mostra ainda que a par destes dois factores, o volume de armazenamento na BPL também exerceu pouca influência no volume per-capita global, no período 2015-2019, por igualmente apresentar co-variâncias inferiores a 0,5.

A fraca correlação entre a dotação per capita e o volume produzido pode ser justificada pelo facto de, no período em análise, o crescimento do número de ligações ter atenuado o impacto do aumento que o volume distribuído exerce sobre a dotação. Ou seja, muito embora o volume produzido influencie directamente a disponibilidade de água no sistema e por conseguinte a dotação quando se analisa um período de tempo curto, no qual a população e o número de ligações não crescem significativamente, quando se analisam períodos longos, nos quais ocorre um aumento significativo do número de ligações e população servida, os volumes adicionais trazidos pelo aumento da produção podem ter um impacto bastante reduzido na dotação. No caso específico do SAA de Maputo, o crescimento do volume produzido foi bastante modesto, no período em análise, pois passou de $20,625 \cdot 10^3 \text{ m}^3/\text{ano}$ em 2011 para $30,190 \cdot 10^3 \text{ m}^3/\text{ano}$ em 2015 (46.538%), e reduziu para $26,229 \cdot 10^3 \text{ m}^3/\text{ano}$ de 2015 à 2019, o que resultou num crescimento global de (27.17%), enquanto que o número de ligações servidas pelo sistema cresceu significativamente no período, tendo passado de 132,174 em 2011 para 243,145

ligações em 2019 (83.95%), facto que, atenuou o impacto que o crescimento volume produzido teve sobre a dotação per capita.

Bandira (2011) estudou os factores determinantes da dotação per capita de água em Cidades da Índia, e em sua matriz de co-variâncias entre as variáveis analisadas, contam três variáveis que são tomadas neste estudo, sendo estas a dotação per capita, o tempo de distribuição, e as perdas, bem como e a cobertura que está estritamente relacionada com o número de ligações. Em seu estudo este obteve, entre outras coeficiente de correlação entre a DPA e as perdas igual a 0.494, entre a DPA e o tempo médio de distribuição igual a 0.582, e entre esta e a cobertura obteve 0.545. Assim, era expectável que as perdas e o tempo médio de distribuição apresentassem correlação forte com a DPA, no entanto, apresentaram correlação fraca e moderada respectivamente, enquanto que o número de ligações apresentou correlação forte à semelhança deste estudo.

5.3.2. Padrões de variação da dotação per capita

Foram obtidos por regressão os padrões de variação da dotação per capita explicados através das equações lineares, que são trazidos na tabela 4. Os modelos lineares obtidos explicam no máximo cerca de 44% da variância do volume per capita global (variável dependente) à partir dos respectivos regressores (variáveis independentes), uma vez que o maior coeficiente de determinação (R^2) obtido foi de 0.44. Segundo Rencher (2002), o coeficiente de determinação responde a pergunta “Quão bem podemos prever a variável dependente através da independente?”. Assim, os valores de R^2 obtidos não ditam uma baixa correlação entre as variáveis, mas sim um fraco ajustamento aos modelos lineares, e como tal não serviram de factor para o descarte de qualquer factor da análise subsequente, porém, dão uma clara indicação de que nenhuma das rectas se ajusta adequadamente ao respectivo diagrama de dispersão.

A comparação dos diagramas de dispersão obtidos na análise do volume per capita global e do volume per capita doméstico apresentada de forma gráfica na figura 7 mostra que estas duas variáveis apresentam padrões de variação semelhantes.

As diferenças decrescentes entre a dotação per capita global e a dotação per capita doméstica no período analisado, resulta da redução do número de fontenários e explicam-se pelo fenómeno do abandono dos fontenários, e a sua consequente desactivação, o que é notório através dos dados trazidos na tabela 2 onde se verifica a redução dos fontenários de 425 em 2011 para 150 em 2019.

Observa-se um claro decréscimo da dotação per capita global, e um baixo crescimento das ligações, estas últimas que tendem a uma virtual assíntota vertical situada nas 244,500 ligações, conforme o gráfico 1, o que pode ser interpretado como uma retoma ao padrão normal de crescimento das ligações que tiveram um crescimento acelerado por conta de várias iniciativas do sector visando a expansão da cobertura do serviço.

5.3.3. Análise da significância dos diferentes factores influenciadores da dotação

O volume de armazenamento da BPL, o caudal de descarga da BPL e o número de total de ligações são as variáveis que, na análise das componentes principais no período 2011-2019, destacam-se como as que mais se correlacionam com a dotação per capita conforme os resultados da ACP. A mesma análise feita para o período 2015-2019 mostra que, das variáveis supracitadas, os níveis de água no ponto de captação e o tempo médio de distribuição também influenciam a dotação per capita pois apresentam co-variâncias superiores à 0.5 com relação o volume per capita global, não se tendo destacado neste período o nível de armazenamento da albufeira da BPL. De salientar que o nível de água no ponto de captação, que é uma variável chave, só foi considerada neste período uma vez que os dados não estavam disponíveis para os anos 2011 a 2014. O impacto destes factores traduziu-se muitas vezes em restrições ao abastecimento de água conforme descrito no sub capítulo 3.2, que traz narra algumas das situações de restrição vividas no SAA de Maputo.

O factor com maior carga (*loading*) para a componente principal 2 no período 2011-2019 é o volume produzido, com 0.628, o que indica que este dita fortemente a variabilidade dos factores nesta componente no período, sendo que, para o período 2015-2019, as perdas ganham expressão, e apresentam o maior valor de carga (0.710). Constata-se ainda correlação forte e entre as perdas e o volume produzido, com co-variância superior a 0,5, que se traduz nos ângulos agudos que se observam entre os respectivos autovectores patentes nos gráficos 20 e 22, muito embora estas duas variáveis não sejam *pivot* para a pesquisa.

É de se referir nos gráficos 20 e 22 os dados se agrupam em três grupos indicados pelos rectângulos *A*, *B* e *C*, que obedecem uma ordem cronológica, sendo que para o gráfico 20, contendo dados de 2011 a 2019, o grupo *A* contempla dados dos 36 meses iniciais; o grupo *B* contempla dados dos 18 meses intermédios; e o grupo *C* contempla os 52 meses finais. Para o gráfico 22, contendo dados de 2015 a 2019, o grupo *A* contempla dados dos 23 meses iniciais; o grupo *B* contempla dados dos 26 meses intermédios; e o grupo *C* contempla os 12 meses finais. O motivo desta aglutinação das variáveis em três grupos aparentes, remetendo a um

agrupamento cronológico não é suficientemente claro. A cronologia observada está no facto de os dados dos anos iniciais se aglutinarem num grupo (A), os dos anos intermédios noutra (B), e os dados dos anos finais se concentrarem num terceiro grupo (C), podendo este aspecto estar relacionado com o agudizar das escassez de água que se observa à partir de Janeiro de 2017 e que é seguida de mudança de comportamento de algumas das variáveis analisadas desde esse período, como é o caso do tempo médio de distribuição (gráfico 3), dos níveis de armazenamento da BPL (gráfico 4), dos caudais de descarga da BPL (gráfico 5) e dos níveis de água no ponto de captação (gráfico 6) que à partir desta data não mais recuperaram as médias apresentadas anteriormente.

A existência de co-variância forte (próxima de 1) e negativa entre os volume per capita doméstico e global e o número de ligações conforme as tabela 6 e 8 era expectável dado que quanto maior o número de ligações sem aumento significativo da produção, menor será a dotação. Era igualmente expectável a existência de alta co-variância entre os dois volumes per capita, o global e o doméstico.

Da análise do gráfico 20, que apresenta a representação vectorial das variáveis nos eixos formados pelas componentes principais 1 e 2 para o período de 2011 a 2019, com o objectivo de verificar que variáveis estão mais correlacionadas com o volume per capita (quer doméstico, quer global), destacam-se três factores com o módulo das co-variâncias relativas à dotação per capita global entre 0.54 e 0.65, sendo estes: (i) os caudais das descargas da BPL; (ii) o volume de armazenamento da albufeira; e, (iii) o número de ligações domésticas e fontenários.

Da análise do gráfico 22, que apresenta a representação vectorial das variáveis nos eixos formados pelas componentes principais 1 e 2 para o período de 2015 a 2019, destacam-se quatro variáveis com o módulo das co-variâncias relativas a dotação per capita global entre 0.50 e 0.55, sendo estas: (i) o caudal das descargas da BPL; (ii) o nível de água no ponto de captação; (iii) o tempo médio de distribuição; (iv) o número de ligações domésticas e fontenários.

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

6.1. CONCLUSÕES

No presente trabalho foi feita a identificação e análise, com base em procedimentos estatísticos, dos factores que influenciam a dotação per capita de água no sistema de abastecimento de Maputo entre 2011 e 2019, trazendo-se abaixo as conclusões.

Foram identificados como factores influenciadores endógenos à empresa de água os seguintes:

(i) O total de ligações domésticas e fontenários; (ii) O volume produzido; (iii) O volume distribuído para o consumo doméstico (considerado igual ao facturado); e (iv) O tempo médio de distribuição. Foram ainda identificados como factores exógenos: (i) O caudal de descarga da BPL; (ii) O nível de água no ponto de captação; (iii) As perdas ou água não contabilizada; e, (iv) O volume armazenado na Albufeira da BPL.

Foi efectuada a descrição dos padrões de variação da DPA em função dos seus factores influenciadores, através de equações lineares, a qual indicou fraco ajustamento dos diagramas de dispersão às rectas de regressão obtidas, traduzido por coeficientes de determinação (R^2) inferiores a 0.44, o que levou a necessidade de uma análise estatística complementar. Da análise de correlação observou-se que os factores mais correlacionados com a DPA no período são: (i) a variação do número total de ligações domésticas e fontenários, com correlação forte; (ii) o tempo médio de distribuição, com correlação moderada; (iii) os volumes armazenados pela albufeira da BPL, com uma correlação forte; (iv) os níveis de água no ponto de captação no Umbeluzi, com correlação igualmente forte e (v) o caudal de descarga da BPL com correlação moderada, sendo os dois primeiros de índole endógena, e os restantes de índole exógena.

A análise complementar da significância da relação entre as diferentes variáveis (factores) que influenciaram a DPA feita com recurso à técnica da ACP para o período de 2011 a 2019, na qual se ignorou os níveis da captação do Umbeluzi por falta de dados, reforçou a existência de alta correlação, ou seja com co-variância igual ou superiores à 0,5, entre a dotação e as três variáveis seguintes: (i) o número de ligações domésticas e fontenários, de índole endógena,; (ii) o volume armazenado na albufeira da BPL; e, (iii) o caudal de descarga da BPL, estes dois últimos de índole exógena. Para o período 2015-2019, no qual se considera o nível de água no ponto de captação, notou-se dois factores adicionais com influência na dotação per capita, especificamente: (iv) o nível de água no ponto de captação; e (v) o tempo médio de distribuição,

sendo que neste período, o volume de armazenamento da BPL deixou de ter correlação significativa com a dotação.

A pesquisa permitiu identificar que a redução da DPA no SAA de Maputo, para além de ter sido influenciada por factores exógenos, especificamente (i) o volume armazenado na albufeira da BPL e (ii) o caudal de descarga da BPL, também sofreu alguma influência de factores endógenos como, (iii) o nível de água no ponto de captação (iv) o tempo de distribuição e o (v) aumento do número total de ligações (incremento de 83.95% entre 2011 e 2019). Os factores listados anteriormente, identificados na ACP como influenciadores da dotação alinham-se perfeitamente com os identificados na análise de correlação, facto que abona. Importa referir que este último que resulta da política de expansão de serviço para mais pessoas, mas que por outro lado contribuiu para a redução da qualidade de serviço, medida pela dotação per capita, dada a correlação negativa forte entre estas duas variáveis, caracterizada por um coeficiente de correlação de -0.664, e uma co-variância de 0,597 para o período 2011-2019.

A metodologia usada nesta pesquisa pode ser adaptada para outros sistemas de abastecimento de água para identificar os factores influenciadores da dotação per capita. Muito embora os resultados da análise correlacional simples tenham conduzido identificação dos mesmos factores que a ACP tomou como correlacionados com a DPA, a robustez da ACP é superior a da correlação simples, pois as componentes principais 1 e 2 explicam no mínimo 75% das variâncias das variáveis originais e como tal melhor traduzem a dependência entre as variáveis analisadas comparativamente a correlação simples que explica no máximo cerca de 44% da variância.

A falta de dados referentes ao nível de água no ponto de captação para os anos que antecedem 2014, levou a que a análise desta variável fosse feita apenas para o período com disponibilidade de dados desta e das restantes variáveis (período 2015 - 2019), fazendo-se à parte uma análise que excluiu esta variável (período 2011 - 2019), o que constituiu uma das limitações desta pesquisa.

Apesar dos métodos estatísticos quantitativos utilizados atenderem aos objectivos da presente pesquisa, a abordagem quantitativa interpretativa usada na presente pesquisa não busca efectuar simulação e nem criar modelos que permitam antecipar cenários futuros à partir das constatações, havendo espaço para o aperfeiçoamento futuro das análises efectuadas através do desenho de modelos que permitam simular o impacto que as variações dos factores identificados podem ter na DPA.

6.2. RECOMENDAÇÕES

Os resultados desta pesquisa identificaram como factores endógenos com grande influência na dotação de água per capita o aumento do número total de ligações domésticas e fontenários e o tempo a redução do médio de distribuição, para além dos factores exógenos ligados a disponibilidade de água na albufeira da BPL, especificamente volume armazenado e caudal descarregado. Em linha com esta constatação, recomenda-se que a expansão do serviço seja acompanhada por estudos específicos que melhor orientem a resposta do sector de águas ao impacto adverso de cada um dos factores identificados, visando dar respostas efectivas a cada um dos factores através de acções como diversificação das fontes de captação do SAA e o aumento da capacidade produção, invertendo-se assim o cenário de redução da qualidade de serviço aos consumidores denotada pela redução da dotação per capital.

Para futuras pesquisas, atendendo que a presente pesquisa teve como limitação não buscar efectuar simulação e nem criar modelos que permitam antecipar cenários futuros à partir das constatações, cenários como exemplo o impacto que a construção da nova captação e ETA de Corumana, inaugurada em 2020, terá na dotação per capita nos próximos anos; cenários de distribuição intermitente com redução do tempo de distribuição e seu impacto na dotação, entre outros. Assim, para futuras pesquisas recomenda-se que se explore a criação de modelos que permitam simular o impacto que as variações dos factores identificados nesta pesquisa possam ter na dotação per capita, designadamente a (i) o número de ligações domésticas e fontenários; (ii) o volume armazenado na albufeira da BPL; (iii) o caudal de descarga da BPL; (iv) o nível de água no ponto de captação; e (v) o tempo médio de distribuição.

Esta análise tomou como *pivot* a dotação per capita, buscando descrever a influência que outros factores, exógenos e endógenos a entidade gestora exercem sobre a mesma. É de recomendar que futuras pesquisas tomem outros factores relevantes como *pivot*, entre eles, as perdas, o tempo de distribuição, o tempo de distribuição, os volumes produzidos entre outros.

É ainda de se recomendar o aprofundamento da análise das medidas impulsionadoras e inibidora dos factores influenciadores da dotação identificados nesta pesquisa, uma vez que, parte significativa destas medidas foi mobilizada depois de 2019, ou seja, fora do período em análise. Estas medidas merecem atenção pelo facto mostrarem que os factores exógenos não devem ser tomados como estando completamente fora do controlo das empresas, uma vez que eles podem ser inibidos ou impulsionados por medidas introduzidas de forma deliberada.

BIBLIOGRAFIA

- ARA-sul, UGBU. (2014). *Panfleto de Apresentação da Barragem dos Pequenos Liombos . Seminário Sobre Barragens no Espaço da CPLP (p. 1). Maputo: ARA-Sul.*
- Bandari, A. (2021). *Determinants of per capita water supply in Indian cities with low surface water availability.* ELSERVIER - Cleaner Environmental Systems, N/A. Department of Architecture and Planning, Indian Institute of Technology Roorkee, Roorkee, 247667, India
- Bishop, D. (1996). *Impacts of Demand Reduction on Water Utilities.* Denver: AWWA research foundation and American Water Works Association.
- COHEN, Jacob. (1988), *Statistical power analysis for the behavioral sciences.* Hillsdale, NJ, Erlbaum.
- CRA. (2016). *Relatório da visita a ETA e Captacao do Umbeluzi no ambito da Emergencia devida a escassez - 08/12/2016.* Maputo: CRA.
- CRA. (2019 A). *Plano de Acção Face às Restrições no Abastecimento de Água a Maputo, Matola e Boane.* Maputo: CRA.
- CRA. (2019 B). *Proposta de Acções Orientadoras da Gestão do Abastecimento de Água Potável em Situação Declarada de Escassez de Recursos Hídricos.* Maputo: AURA,IP.
- CRA. (2019 C). *Relatório Anual do Conselho de Regulação de Águas Sobre o Desempenho das Entidades Gestoras 2017/2018.* Maputo: CRA.
- Figueiredo,D.(2009). *Desvendado os Mistérios do Coeficiente de Correlação de Pearson (r).* Researchgate, 115-146
- Gallego-Ayala, J., Dimene, C., Munhequete, A., & Amos, R. (2014). *Assessing the performance of urban water utilities in Mozambique using a water utility performance index.* Water SA, Vol 40 No 4 ou <https://www.ajol.info/index.php/wsa/issue/view/11449>.
- Guimarães,sousa & Silva, C. E. (2007). *Abastecimento de água - Cap. 4 do Manual de Saneamento Básico.* (pp. 32 - 77). Rio de Janeiro: Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.
- Klien, M. (2017). *Statistical Analysis Global Study on the Aggregation of Water Supply and Sanitation Utilities.* Washington: World Bank Group.
- Maggioni, E. (2020). *Water demand management in times of drought: What matters for water conservation.* AGU Advances, 1-WR016301.
- Haque, M., P. E. (2015). *Assessing the significance of climate and community factors on urban water demand.* International Journal of Sustainable Built Environment, 222-230.
- Marcelino, J.(2004). *Modelos de Comportamento da Barragem dos Pequenos Libombos Em Moçambique.* Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, Portugal.
- Matos, J. (2007). *Proposição de Método Para Definição de Cotas Per Capita Mínimas de Água Para Consumo Huma.* Brasília: Dissertação de Mestrado – Universidade de Brasília.
- Mathes, G. E. (2001). *External and internal forces that drive change in water industry* (in <https://www.waterworld.com/municipal/water-utility-management/asset-management/article/16191955/external-internal-forces-drive-change-in-water-industry>). *WaterWorld*, 1. Obtido de *External internal forces drive change in water industry*: <https://www.waterworld.com/municipal/water-utility-management/asset-management/article/16191955/external-internal-forces-drive-change-in-water-industry>
- Mutimucuo, I. (2019). *Métodos de Investigação – Apontamentos.* Maputo.
- Naghetini, M., & PINTO, É. J. (2007). *Hidrologia estatística.* São Paulo: CPRM Serviço Geológico do Brasil.
- Notícias. (2019). *eSwatini liberta água para suprir crise no grande Maputo.* Notícias, 1.
- OCDE . (2008). *Handbook on Constructing Composite Indicators - Metodologi and user Guide.*

- Rencher, A. C. (2002) *Methods of Multivariate Analysis*. 2ª Ed. Brigham Young University, A John Wiley & Sons, INC. Danvers.
- Resolução, n. (30 de Dezembro de 2016). Política Nacional de Água. *Política Nacional de Água*. Maputo, Moçambique, Maputo: Conselho de Ministros.
- Ritte, M. d. (2019). *Introdução ao software estatístico R*. Rio Grande do Sul: Centro de Estudos Costeiros, Limnológicos e Marinhos (Ceclimar).
- Tsutiya, M. T. (2006). *Abastecimento de Água*. 2ª Ed. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
- Vicini, L. (2005). *Análise multivariada da teoria à prática*. Santa Maria: UFSM, CCNE.
- WHO. (2017). *Safely managed drinking water - thematic report on drinking water 2017*. Geneva: World Health Organization.
- Wilks, D. S (1991). *Statistical Methods in The Atmospheric Sciences*, 3rd Edition, Department of Earth and Atmospheric Sciences, Cornell University, Amsterdam.
- Winter, Ó., & Lôbo, T. (2019). *Porquê usar transformação logarítmica em dados?* R Pubs - Plataforma de Publicações do R Studio, 01.

ANEXOS

Anexo 1- Tabelas de dados

Tabela 1-A1 -Dados mensais analisados através da ACP – período 2011 a 2019

	Lig (Nr)	VProd (m³)	Perdas (*100%)	VPGlobal (l/hab/dia)	NCapt (m)	QDesc (m³/s)	TDistr (h)	VArm (M m³)	VPDom (l/hab/dia)
2011	93942.00	4511900.00	0.51	69.14	0.00	28.99	6.00	319.49	98.97
	94633.00	4770650.00	0.48	80.82	0.00	16.96	9.00	302.15	112.28
	96609.00	4979820.00	0.52	75.05	0.00	3.00	9.00	297.63	103.90
	97872.00	4678490.00	0.53	69.65	0.00	3.00	10.00	297.63	96.30
	102423.00	4921720.00	0.49	74.35	0.00	3.01	9.00	300.07	106.42
	110023.00	4926990.00	0.52	65.55	0.00	3.00	8.00	296.92	88.41
	117858.00	4987310.00	0.51	65.75	0.00	2.99	9.00	291.44	87.12
	125007.00	5127330.00	0.54	56.44	0.00	2.99	10.00	286.26	85.25
	127828.00	5846690.00	0.57	65.85	0.00	3.97	12.00	279.94	85.45
	129738.00	5699650.00	0.49	75.79	0.00	4.41	11.00	270.89	97.87
	131272.00	5586070.00	0.54	60.86	0.00	4.35	10.00	263.01	96.22
	132174.00	5122652.16	0.50	62.13	0.00	4.34	12.00	257.68	87.40
2012	151929.00	6406013.00	0.55	69.79	0.00	16.65	14.00	288.91	81.06
	153348.00	6272336.00	0.51	76.26	0.00	58.28	16.00	316.20	88.39
	154790.00	6213303.00	0.52	71.14	0.00	4.46	16.00	315.28	82.32
	156667.00	5798485.00	0.54	64.09	0.00	4.45	15.00	310.18	74.17
	158116.00	6151120.00	0.51	71.88	0.00	4.43	16.00	303.58	83.23
	160744.00	5959122.00	0.50	69.90	0.00	4.41	16.00	292.95	80.67
	163753.00	6059917.00	0.51	68.09	0.00	4.39	16.00	282.51	78.53
	167229.00	6156828.00	0.53	66.48	0.00	4.35	16.00	269.56	76.35
	169811.00	6190717.00	0.51	68.59	0.00	4.37	16.00	277.36	78.68
	172997.00	6023891.00	0.44	75.06	0.00	3.92	17.00	291.47	85.85
	177703.00	5748462.00	0.50	62.62	0.00	4.48	17.00	326.92	71.19
	185842.00	6129561.00	0.49	65.62	0.00	3.99	17.00	324.01	73.67
2013	191762.00	6406000.00	0.50	66.83	0.00	9.73	17.00	326.52	73.36
	192265.00	5522000.00	0.42	68.21	0.00	24.14	17.00	350.11	75.00
	192647.00	6150000.00	0.46	70.48	0.00	7.17	18.00	342.58	77.34
	193958.00	5941000.00	0.50	60.32	0.00	4.52	17.00	343.20	66.33
	196340.00	6189000.00	0.48	65.84	0.00	4.52	17.00	347.47	72.45
	198647.00	5960000.00	0.46	65.76	0.00	4.52	17.00	344.73	72.20
	200837.00	6052000.00	0.47	65.41	0.00	4.50	17.00	335.55	71.84
	203798.00	6235000.00	0.53	58.66	0.00	4.48	17.00	326.30	64.34
	205739.00	6215000.00	0.46	66.49	0.00	4.45	18.00	313.26	73.02
	208179.00	6310000.00	0.46	66.03	0.00	4.43	17.00	301.47	72.46

	210138.00	6217000.00	0.45	66.74	0.00	4.43	18.00	302.57	73.25
	212564.00	6326000.00	0.43	66.77	0.00	4.45	17.00	309.92	73.04
2014	214132.00	6867000.00	0.53	61.15	0.00	7.55	17.00	313.94	67.02
	214462.00	6380000.00	0.43	68.64	0.00	4.45	17.00	310.46	75.05
	217542.00	7358000.00	0.53	65.89	0.00	66.66	14.00	369.96	72.13
	219347.00	7519000.00	0.61	54.49	0.00	15.44	16.00	372.99	59.64
	220963.00	7560000.00	0.56	60.71	0.00	8.43	17.00	358.25	66.35
	223029.00	7185000.00	0.53	61.33	0.00	4.52	16.00	346.81	67.08
	224153.00	7393000.00	0.55	61.21	0.00	4.50	16.00	337.21	66.91
	225246.00	7357000.00	0.52	60.98	0.00	4.48	16.00	327.71	66.67
	226297.00	6965000.00	0.49	64.58	0.00	4.46	15.00	315.61	70.54
	227374.00	7275000.00	0.52	63.69	0.00	4.43	15.00	304.10	69.56
	228153.00	7105000.00	0.50	64.05	0.00	4.42	15.00	298.12	69.95
	229026.00	7310000.00	0.48	66.85	0.00	4.42	16.00	296.69	73.47
2015	229710.00	6680000.00	0.50	59.72	1.36	4.45	14.00	311.98	65.41
	230583.00	6077000.00	0.37	69.14	1.32	4.44	14.00	306.43	75.76
	231386.00	6702000.00	0.49	61.20	1.32	4.42	13.00	297.29	67.05
	231956.00	6312000.00	0.49	56.11	1.23	4.40	14.00	287.23	61.41
	232705.00	6940000.00	0.46	66.61	1.30	4.38	15.00	279.04	73.00
	233492.00	6785000.00	0.48	61.66	1.30	4.35	14.00	267.66	67.58
	234241.00	6477000.00	0.46	59.85	1.30	4.32	14.00	256.89	65.47
	234920.00	5994000.00	0.41	61.52	1.33	4.29	13.00	244.39	67.33
	235450.00	6037000.00	0.38	63.57	1.33	4.25	13.00	230.51	69.66
	236136.00	5656000.00	0.37	61.24	1.33	4.22	11.00	216.44	66.96
	236698.00	5999000.00	0.40	60.92	1.35	4.17	12.00	200.94	66.70
	237364.00	6172000.00	0.44	59.53	1.36	4.13	12.00	188.11	65.28
2016	237965.00	6680000.00	0.50	54.91	1.32	4.04	13.00	171.46	67.03
	238578.00	6077000.00	0.37	65.37	1.22	3.99	12.00	156.50	74.38
	239328.00	6702000.00	0.49	57.53	1.22	3.86	12.00	145.84	66.26
	239679.00	6312000.00	0.49	52.99	1.21	3.06	13.00	135.07	61.98
	240254.00	6940000.00	0.46	61.77	1.21	2.93	13.00	125.08	71.64
	240564.00	6785000.00	0.48	62.53	1.20	2.90	13.00	116.77	63.04
	240917.00	6477000.00	0.46	58.44	1.20	2.93	13.00	107.46	60.30
	241362.00	5994000.00	0.41	60.96	1.23	3.21	13.00	97.76	62.88
	241705.00	6037000.00	0.38	65.85	1.23	3.37	13.00	86.82	61.90
	241747.00	5656000.00	0.37	57.62	1.21	3.52	13.00	76.59	71.59
	242358.00	5999000.00	0.40	60.49	1.24	3.55	12.00	67.05	64.86
	242371.00	6172000.00	0.44	59.01	1.19	2.82	12.70	58.22	63.40

2017	242304.00	5493450.00	0.35	59.60	1.13	1.90	9.00	53.38	65.10
	242357.00	5746870.00	0.37	60.54	1.00	1.38	9.00	63.78	66.13
	242417.00	5872245.00	0.48	50.83	1.16	0.92	11.00	97.13	55.56
	242650.00	5416808.00	0.48	47.93	1.11	2.13	11.00	107.30	52.42
	242691.00	6063656.00	0.43	59.04	1.16	2.25	11.00	105.09	64.52
	242865.00	5434349.00	0.45	50.99	1.13	2.23	10.00	100.72	55.76
	242888.00	5363133.00	0.40	54.45	1.14	2.22	10.00	97.07	59.06
	243256.00	5280267.00	0.39	54.91	1.12	2.50	10.00	92.35	59.51
	243369.00	5035182.00	0.37	54.67	1.13	2.50	10.00	85.73	59.14
	243190.00	5254944.00	0.33	61.59	1.11	2.16	10.00	78.88	66.12
	243325.00	5225122.00	0.41	53.45	1.13	2.28	9.00	82.71	57.07
	243447.00	5459480.00	0.56	33.13	1.13	2.17	10.00	79.25	57.53
2018	243520.00	5710000.00	0.47	52.94	1.12	2.16	11.00	76.11	56.60
	243688.00	5145000.00	0.39	53.85	1.11	1.82	12.00	80.34	57.59
	243557.00	4575000.00	0.30	54.64	1.10	1.47	10.00	99.25	58.42
	243504.00	4187000.00	0.34	47.47	1.00	1.63	10.00	112.90	50.68
	243479.00	5671000.00	0.50	49.11	1.00	2.12	9.00	113.32	52.31
	243574.00	5343000.00	0.46	49.59	1.10	2.12	9.00	112.86	52.81
	244000.00	5445000.00	0.44	51.05	1.10	2.11	9.00	108.92	54.37
	244200.00	5361800.00	0.47	47.02	1.11	2.10	9.00	105.59	50.10
	244148.00	4932500.00	0.32	47.68	1.11	2.08	9.00	100.82	50.74
	244403.00	5489500.00	0.32	65.00	1.11	2.21	10.00	93.87	69.16
	244521.00	5157300.00	0.34	58.68	1.13	2.20	10.00	89.71	62.26
	244566.00	4884000.00	0.28	60.95	1.12	2.18	8.00	83.47	64.32
2019	244404.00	5339000.00	0.50	45.49	1.11	2.17	10.00	81.28	47.85
	244274.00	5068000.00	0.39	54.42	1.11	2.14	9.00	81.46	56.90
	244587.00	7023100.00	0.61	48.32	1.14	2.20	8.00	106.13	50.55
	244327.00	6700000.00	0.55	52.45	1.14	2.40	9.00	125.46	54.86
	244179.00	5900000.00	0.46	55.78	1.13	2.29	8.00	131.25	58.32
	244257.00	6439000.00	0.51	55.70	1.17	2.87	11.00	129.00	58.06
	244497.00	6538000.00	0.53	53.97	1.14	2.76	11.00	129.16	56.03
	244487.00	6778000.00	0.53	55.69	1.10	2.96	11.00	125.36	57.75
	244260.00	6784300.00	0.53	55.43	1.18	3.03	11.00	118.32	57.30
	243755.00	7000600.00	0.56	54.05	1.19	2.99	11.00	109.79	55.83
	243262.00	6688900.00	0.52	56.86	1.20	2.96	12.00	103.43	58.73
	243145.00	7026000.00	0.57	54.10	1.18	3.04	12.00	111.96	55.91

Tabela 2.A1- Anexos -Dados logaritmizados, escalados e centralizados do período de 2011 a 2019

	NLig	VProd	Perdas	VPGlob	QDesc	TDistr	VArm	VPDom
2011	-3.11	-2.25	0.62	1.03	3.09	-2.93	0.96	2.14
	-3.08	-1.80	0.20	2.22	2.28	-1.29	0.87	2.86
	-3.00	-1.46	0.75	1.66	-0.36	-1.29	0.84	2.42
	-2.95	-1.96	0.81	1.09	-0.36	-0.86	0.84	1.99
	-2.77	-1.55	0.36	1.58	-0.36	-1.29	0.86	2.56
	-2.48	-1.54	0.77	0.63	-0.36	-1.77	0.84	1.50
	-2.21	-1.45	0.58	0.65	-0.36	-1.29	0.81	1.42
	-1.98	-1.23	0.99	-0.51	-0.37	-0.86	0.77	1.29
	-1.89	-0.18	1.31	0.66	0.07	-0.12	0.74	1.31
	-1.83	-0.38	0.31	1.73	0.23	-0.47	0.68	2.08
	-1.78	-0.54	0.99	0.06	0.21	-0.86	0.63	1.98
	-1.76	-1.23	0.49	0.22	0.20	-0.12	0.59	1.44
2012	-1.21	0.55	1.09	1.10	2.25	0.51	0.79	1.01
	-1.17	0.38	0.56	1.78	4.16	1.05	0.95	1.50
	-1.13	0.31	0.77	1.25	0.24	1.05	0.94	1.09
	-1.08	-0.24	1.03	0.46	0.24	0.79	0.91	0.50
	-1.05	0.23	0.63	1.33	0.23	1.05	0.88	1.16
	-0.98	-0.02	0.54	1.12	0.23	1.05	0.81	0.98
	-0.91	0.11	0.68	0.92	0.22	1.05	0.75	0.83
	-0.83	0.24	0.84	0.74	0.21	1.05	0.67	0.67
	-0.76	0.28	0.66	0.97	0.21	1.05	0.72	0.84
	-0.69	0.06	-0.31	1.66	0.05	1.30	0.81	1.33
	-0.58	-0.31	0.51	0.28	0.25	1.30	1.00	0.27
	-0.41	0.20	0.34	0.64	0.07	1.30	0.99	0.46
2013	-0.28	0.55	0.52	0.77	1.43	1.30	1.00	0.44
	-0.27	-0.63	-0.57	0.93	2.82	1.30	1.12	0.56
	-0.27	0.23	-0.06	1.18	0.97	1.53	1.09	0.74
	-0.24	-0.05	0.43	-0.00	0.26	1.30	1.09	-0.14
	-0.19	0.28	0.24	0.66	0.26	1.30	1.11	0.37
	-0.14	-0.02	0.02	0.65	0.26	1.30	1.10	0.35
	-0.10	0.10	0.07	0.61	0.26	1.30	1.05	0.32
	-0.04	0.34	0.84	-0.22	0.25	1.30	1.00	-0.31
	-0.01	0.31	-0.08	0.74	0.24	1.53	0.93	0.41
	0.04	0.43	-0.11	0.68	0.23	1.30	0.86	0.37
	0.08	0.31	-0.25	0.76	0.23	1.53	0.87	0.43
	0.12	0.45	-0.43	0.77	0.24	1.30	0.91	0.41
2014	0.15	1.11	0.92	0.10	1.05	1.30	0.93	-0.08
	0.16	0.52	-0.50	0.98	0.24	1.30	0.91	0.57
	0.22	1.66	0.81	0.67	4.36	0.51	1.22	0.34
	0.25	1.83	1.76	-0.77	2.13	1.05	1.23	-0.74
	0.28	1.88	1.28	0.05	1.21	1.30	1.16	-0.14
	0.31	1.47	0.90	0.12	0.27	1.05	1.11	-0.07
	0.33	1.70	1.10	0.11	0.26	1.05	1.06	-0.09
	0.35	1.66	0.78	0.08	0.25	1.05	1.01	-0.11
	0.37	1.22	0.40	0.51	0.24	0.79	0.94	0.21

APLICAÇÃO DA ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS NA AVALIAÇÃO DOS FACTORES QUE INFLUENCIARAM A DOTAÇÃO DE ÁGUA PARA O CONSUMO NO SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE MAPUTO ENTRE 2011 E 2019

	0.39	1.57	0.71	0.41	0.24	0.79	0.88	0.13
	0.40	1.38	0.46	0.45	0.23	0.79	0.84	0.17
	0.42	1.61	0.28	0.78	0.23	1.05	0.84	0.45
2015	0.43	0.89	0.50	-0.08	0.24	0.51	0.92	-0.22
	0.45	0.13	-1.41	1.03	0.24	0.51	0.89	0.62
	0.46	0.91	0.35	0.11	0.23	0.21	0.84	-0.08
	0.47	0.44	0.42	-0.55	0.22	0.51	0.78	-0.58
	0.48	1.19	-0.02	0.75	0.22	0.79	0.73	0.41
	0.50	1.01	0.18	0.16	0.21	0.51	0.66	-0.03
	0.51	0.64	0.02	-0.06	0.20	0.51	0.59	-0.21
	0.52	0.02	-0.83	0.15	0.19	0.21	0.50	-0.05
	0.53	0.08	-1.23	0.40	0.17	0.21	0.40	0.14
	0.54	-0.44	-1.44	0.11	0.16	-0.47	0.29	-0.08
	0.55	0.03	-0.89	0.07	0.14	-0.12	0.16	-0.11
	0.56	0.26	-0.38	-0.10	0.13	-0.12	0.05	-0.23
2016	0.57	0.89	0.50	-0.72	0.09	0.21	-0.11	-0.08
	0.58	0.13	-1.41	0.61	0.08	-0.12	-0.27	0.52
	0.59	0.91	0.35	-0.36	0.02	-0.12	-0.39	-0.14
	0.60	0.44	0.42	-0.99	-0.33	0.21	-0.53	-0.52
	0.61	1.19	-0.02	0.18	-0.40	0.21	-0.66	0.30
	0.61	1.01	0.18	0.27	-0.41	0.21	-0.78	-0.43
	0.62	0.64	0.02	-0.24	-0.40	0.21	-0.92	-0.68
	0.63	0.02	-0.83	0.08	-0.26	0.21	-1.09	-0.44
	0.63	0.08	-1.23	0.66	-0.18	0.21	-1.29	-0.53
	0.63	-0.44	-1.44	-0.35	-0.12	0.21	-1.51	0.30
	0.64	0.03	-0.89	0.02	-0.10	-0.12	-1.74	-0.26
	0.64	0.26	-0.38	-0.17	-0.45	0.11	-1.99	-0.39
2017	0.64	-0.67	-1.86	-0.09	-1.06	-1.29	-2.14	-0.24
	0.64	-0.31	-1.40	0.02	-1.55	-1.29	-1.83	-0.15
	0.64	-0.14	0.26	-1.30	-2.16	-0.47	-1.10	-1.15
	0.65	-0.79	0.30	-1.75	-0.88	-0.47	-0.93	-1.48
	0.65	0.11	-0.42	-0.17	-0.80	-0.47	-0.96	-0.29
	0.65	-0.76	-0.24	-1.28	-0.81	-0.86	-1.04	-1.13
	0.65	-0.87	-0.89	-0.78	-0.82	-0.86	-1.10	-0.80
	0.66	-0.99	-1.08	-0.72	-0.64	-0.86	-1.19	-0.75
	0.66	-1.37	-1.36	-0.75	-0.64	-0.86	-1.32	-0.79
	0.66	-1.03	-2.23	0.15	-0.86	-0.86	-1.46	-0.16
	0.66	-1.08	-0.81	-0.92	-0.78	-1.29	-1.38	-0.99
	0.66	-0.72	1.26	-4.55	-0.85	-0.86	-1.45	-0.95
2018	0.66	-0.37	0.13	-0.99	-0.86	-0.47	-1.52	-1.04
	0.66	-1.20	-1.17	-0.87	-1.12	-0.12	-1.43	-0.94
	0.66	-2.14	-2.75	-0.75	-1.45	-0.86	-1.06	-0.86
	0.66	-2.85	-1.96	-1.82	-1.29	-0.86	-0.84	-1.67
	0.66	-0.42	0.47	-1.56	-0.89	-1.29	-0.83	-1.49
	0.66	-0.90	-0.07	-1.49	-0.89	-1.29	-0.84	-1.44
	0.67	-0.75	-0.31	-1.27	-0.90	-1.29	-0.90	-1.27
	0.67	-0.87	0.11	-1.89	-0.91	-1.29	-0.95	-1.74
	0.67	-1.54	-2.39	-1.79	-0.92	-1.29	-1.03	-1.66
	0.68	-0.68	-2.40	0.56	-0.82	-0.86	-1.16	0.10

APLICAÇÃO DA ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS NA AVALIAÇÃO DOS FACTORES QUE INFLUENCIARAM A DOTAÇÃO DE ÁGUA PARA O CONSUMO NO SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE MAPUTO ENTRE 2011 E 2019

	0.68	-1.18	-1.95	-0.21	-0.83	-0.86	-1.24	-0.50
	0.68	-1.61	-3.26	0.08	-0.85	-1.77	-1.36	-0.31
2019	0.68	-0.90	0.47	-2.14	-0.86	-0.86	-1.41	-2.00
	0.67	-1.32	-1.15	-0.78	-0.87	-1.29	-1.40	-1.01
	0.68	1.29	1.75	-1.69	-0.83	-1.77	-0.95	-1.68
	0.68	0.91	1.06	-1.06	-0.70	-1.29	-0.66	-1.22
	0.67	-0.10	-0.04	-0.60	-0.77	-1.77	-0.58	-0.87
	0.67	0.59	0.59	-0.61	-0.43	-0.47	-0.61	-0.90
	0.68	0.72	0.90	-0.85	-0.49	-0.47	-0.61	-1.10
	0.68	1.00	0.81	-0.61	-0.38	-0.47	-0.66	-0.93
	0.67	1.01	0.90	-0.65	-0.35	-0.47	-0.76	-0.97
	0.67	1.26	1.21	-0.84	-0.36	-0.47	-0.89	-1.12
	0.66	0.90	0.69	-0.45	-0.38	-0.12	-0.99	-0.83
	0.66	1.29	1.29	-0.83	-0.34	-0.12	-0.85	-1.11

Tabela 3.A1-Anexos -Dados logaritmizados, escalados e centralizados do período de 2015 a 2019.

	NLig	VProd	Perdas	VPGlob	NCapt	QDesc	TDistr	VArm	VPDom
2015	-2.80	1.06	0.83	0.56	1.92	1.45	1.47	2.18	0.69
	-2.58	0.25	-0.90	1.81	1.52	1.44	1.47	2.14	2.07
	-2.38	1.08	0.70	0.77	1.52	1.43	1.01	2.07	0.92
	-2.24	0.57	0.76	0.02	0.58	1.41	1.47	1.99	0.10
	-2.05	1.38	0.36	1.49	1.32	1.40	1.89	1.92	1.72
	-1.85	1.19	0.54	0.83	1.32	1.38	1.47	1.83	1.00
	-1.66	0.79	0.40	0.57	1.32	1.36	1.47	1.73	0.70
	-1.49	0.13	-0.38	0.81	1.62	1.34	1.01	1.62	0.96
	-1.36	0.19	-0.73	1.09	1.62	1.32	1.01	1.49	1.28
	-1.19	-0.36	-0.92	0.77	1.62	1.29	- 0.02	1.34	0.91
	-1.05	0.14	-0.43	0.73	1.82	1.26	0.52	1.17	0.88
	-0.89	0.38	0.03	0.53	1.92	1.23	0.52	1.02	0.67
2016	-0.74	1.06	0.83	-0.16	1.52	1.17	1.01	0.81	0.92
	-0.59	0.25	-0.90	1.33	0.47	1.13	0.52	0.60	1.90
	-0.41	1.08	0.70	0.23	0.47	1.03	0.52	0.44	0.81
	-0.32	0.57	0.76	-0.47	0.36	0.34	1.01	0.27	0.19
	-0.18	1.38	0.36	0.84	0.36	0.22	1.01	0.09	1.55
	-0.11	1.19	0.54	0.95	0.25	0.19	1.01	- 0.06	0.35
	-0.02	0.79	0.40	0.37	0.25	0.21	1.01	- 0.25	- 0.07
	0.08	0.13	-0.38	0.73	0.58	0.48	1.01	- 0.47	0.32
	0.17	0.19	-0.73	1.39	0.58	0.62	1.01	- 0.74	0.18
	0.18	-0.36	-0.92	0.25	0.36	0.76	1.01	- 1.03	1.54
	0.33	0.14	-0.43	0.67	0.69	0.78	0.52	- 1.33	0.61
	0.33	0.38	0.03	0.45	0.14	0.10	0.87	- 1.65	0.40
2017	0.31	-0.61	-1.31	0.54	-0.55	-1.06	- 1.25	- 1.85	0.65
	0.32	-0.23	-0.89	0.67	-2.18	-2.01	- 1.25	- 1.44	0.79
	0.34	-0.04	0.61	-0.83	-0.20	-3.20	- 0.02	- 0.48	- 0.84
	0.40	-0.73	0.65	-1.33	-0.79	-0.72	- 0.02	- 0.26	- 1.39
	0.41	0.23	0.00	0.46	-0.20	-0.56	- 0.02	- 0.30	0.56
	0.45	-0.70	0.16	-0.80	-0.55	-0.58	- 0.61	- 0.40	- 0.81
	0.45	-0.81	-0.43	-0.24	-0.43	-0.60	- 0.61	- 0.49	- 0.27
	0.54	-0.95	-0.60	-0.16	-0.67	-0.25	- 0.61	- 0.60	- 0.19
	0.57	-1.35	-0.86	-0.20	-0.55	-0.25	- 0.61	- 0.77	- 0.25
	0.53	-0.99	-1.65	0.82	-0.79	-0.69	- 0.61	- 0.96	0.79
	0.56	-1.04	-0.36	-0.39	-0.55	-0.52	- 1.25	- 0.85	- 0.59
	0.59	-0.66	1.52	-4.49	-0.55	-0.67	- 0.61	- 0.95	- 0.51
2018	0.60	-0.28	0.49	-0.48	-0.67	-0.68	- 0.02	- 1.04	- 0.67
	0.64	-1.17	-0.68	-0.33	-0.79	-1.19	0.52	- 0.92	- 0.50
	0.61	-2.17	-2.12	-0.21	-0.91	-1.82	- 0.61	- 0.43	- 0.37
	0.60	-2.92	-1.40	-1.41	-2.18	-1.51	- 0.61	- 0.14	- 1.70
	0.59	-0.34	0.80	-1.12	-2.18	-0.74	- 1.25	- 0.13	- 1.40
	0.62	-0.85	0.31	-1.04	-0.91	-0.74	- 1.25	- 0.14	- 1.32
	0.72	-0.69	0.10	-0.79	-0.91	-0.76	- 1.25	- 0.22	- 1.04
	0.77	-0.82	0.47	-1.49	-0.79	-0.77	- 1.25	- 0.29	- 1.81

APLICAÇÃO DA ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS NA AVALIAÇÃO DOS FACTORES QUE INFLUENCIARAM A DOTAÇÃO DE ÁGUA PARA O CONSUMO NO SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE MAPUTO ENTRE 2011 E 2019

	0.75	-1.53	-1.79	-1.37	-0.79	-0.79	- 1.25	- 0.40	- 1.69
	0.82	-0.62	-1.80	1.28	-0.79	-0.61	- 0.61	- 0.56	1.21
	0.84	-1.15	-1.39	0.40	-0.55	-0.63	- 0.61	- 0.67	0.23
	0.85	-1.61	-2.58	0.73	-0.67	-0.66	- 1.98	- 0.83	0.53
2019	0.82	-0.85	0.80	-1.78	-0.79	-0.67	- 0.61	- 0.89	- 2.24
	0.78	-1.30	-0.66	-0.24	-0.79	-0.71	- 1.25	- 0.89	- 0.62
	0.86	1.48	1.96	-1.26	-0.43	-0.62	- 1.98	- 0.28	- 1.73
	0.80	1.08	1.34	-0.56	-0.43	-0.37	- 1.25	0.10	- 0.96
	0.76	-0.00	0.34	-0.03	-0.55	-0.51	- 1.98	0.20	- 0.38
	0.78	0.74	0.92	-0.04	-0.09	0.15	- 0.02	0.16	- 0.43
	0.84	0.87	1.19	-0.31	-0.43	0.03	- 0.02	0.17	- 0.76
	0.84	1.18	1.11	-0.04	-0.91	0.25	- 0.02	0.10	- 0.48
	0.78	1.19	1.19	-0.08	0.03	0.31	- 0.02	- 0.03	- 0.55
	0.66	1.45	1.48	-0.30	0.14	0.28	- 0.02	- 0.20	- 0.79
	0.54	1.07	1.01	0.14	0.25	0.25	0.52	- 0.34	- 0.32
	0.51	1.49	1.55	-0.29	0.03	0.32	0.52	- 0.16	- 0.78

Anexo 2 - Procedimento de processamento de dados para o ACP usando Rstudio (período 2011-2019)

1º - Criação do directório onde foi colocada a folha excel dos dados a analisar:

Foi criado o directório "C:/Users/User/Desktop/dados11a19fin1.xlsx"

2º - Comando para a leitura do directório da tabela excel com os dados harmonizados:
`dadostese11 <- read_excel("C:/Users/User/Desktop/dados11a19fin1.xlsx")`

3º - Comando para a execução da análise das componentes principais usando os dados do directório excel com os dados harmonizados:
`pca <- princomp(dadostese11)`

4º - Comando para apresentação do gráfico ilustrando a variância (quadrado do desvio padrão - $\delta^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [(x_i - \bar{x})^2]$) das componentes principais:
`screplot(pca)`

5º - Comando para apresentação dos valores numéricos da relação entre cada adiável e as componentes principais:
`pca$loadings`

6º - Comando para apresentação da co-variância entre os dados para cada componente principal.
`cov(dadostese11)`

7º - Comando para apresentação gráfica das duas componentes principais com maior variância como eixos e das variáveis como vectores nos eixos:
`biplot(pca)`

Obteve-se assim os seguintes resultados relativos aos oito itens solicitados, (listados acima) para as seis componentes principais:

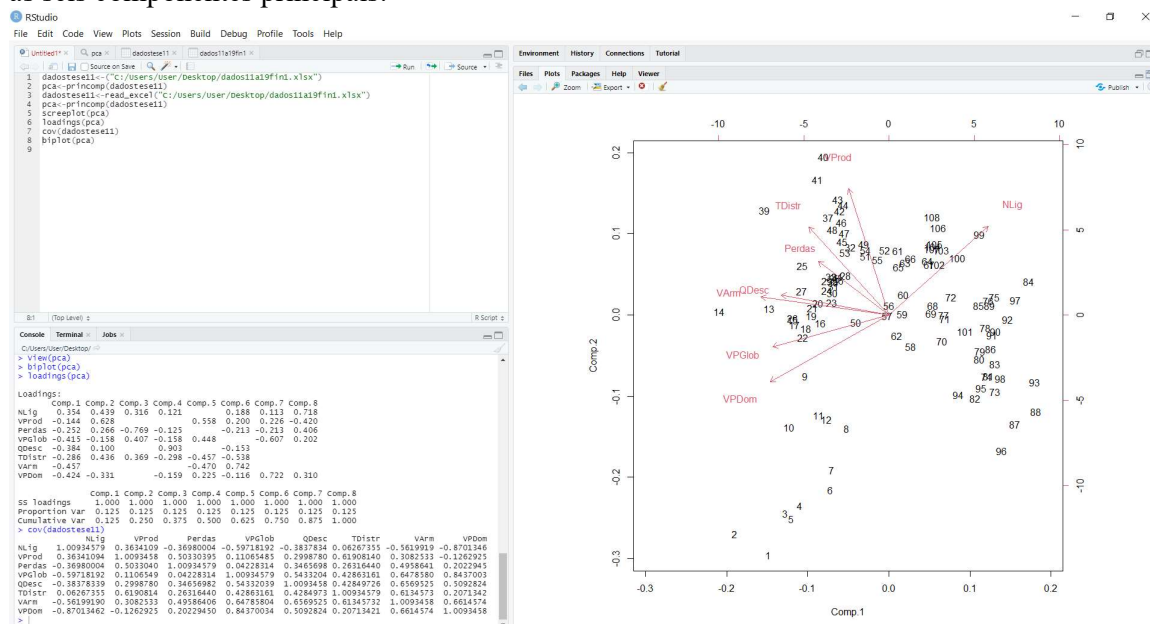


Figura 1.A2- anexos -Resultado obtidos da ACP análise 2011 a 2019
 Procedimento de processamento de dados para o ACP usando Rstudio (período 2015-2019)

Anexo 3 - Procedimento de processamento de dados para o ACP usando Rstudio (período 2015-2019)

1º - Criação do directório onde foi colocada a folha excel dos dados a analisar:

Foi criado o directório "C:/Users/User/Desktop/dados15a19finl.xlsx"

2º - Comando para a leitura do directório da tabela excel com os dados harmonizados:
`dadostese15 <- read_excel("C:/Users/User/Desktop/dados15a19finl.xlsx")`

3º - Comando para a execução da análise das componentes principais usando os dados do directório excel com os dados harmonizados:
`pca <- princomp(dadostese15)`

4º - Comando para apresentação do gráfico ilustrando a variância (quadrado do desvio padrão - $\delta^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [(x_i - \bar{x})^2]$) das componentes principais:
`screplot(pca)`

5º - Comando para apresentação dos valores numéricos da relação entre cada adiável e as componentes principais:
`pca$loadings`

6º - Comando para apresentação da co-variância entre os dados para cada componente principal:
`cov(dadostese15)`

7º - Comando para apresentação gráfica das duas componentes principais com maior variância como eixos e das variáveis como vectores nos eixos:
`biplot(pca)`

Obteve-se assim os seguintes resultados relativos aos nove itens solicitados, (listados acima) para as nove componentes principais:

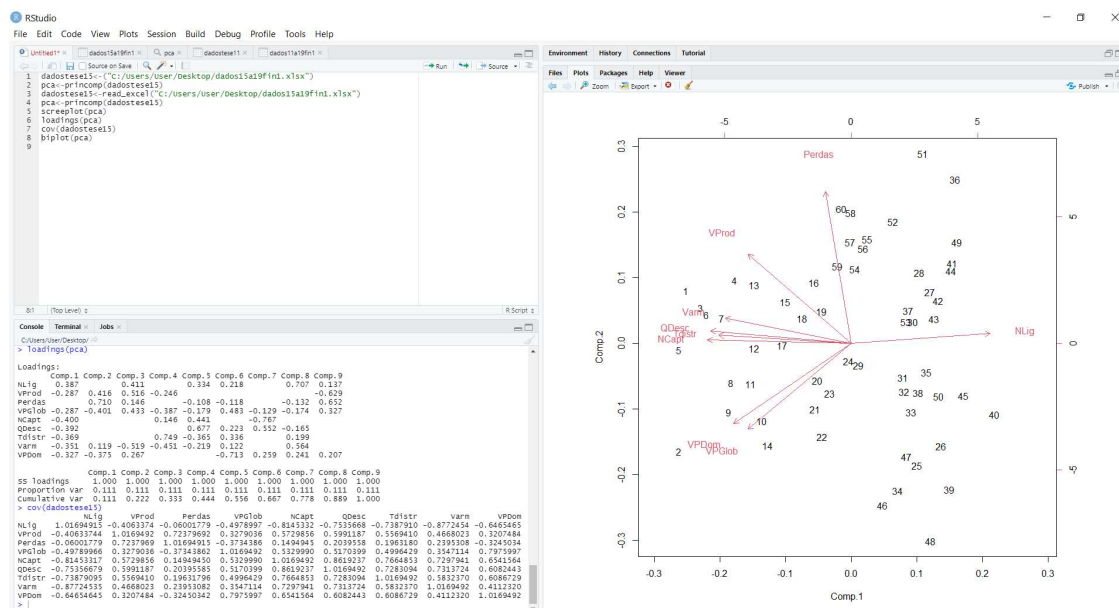


Figura 2.A2- anexos- Resultado obtidos da ACP análise 2015 -2019

Anexo 4 – Tabelas de dados históricos sobre o armazenamento da BPL

Tabela 1.A4- Quadro Resumo das cotas, variações do NAA e volumes armazenados na albufeira da BPL, extraído do Modelos de Comportamento da Barragem dos Pequenos Libombos Em Moçambique, por Marcelo, J.(2004).

Ano	Cota máxima (m)	Cota mínima (m)	Variação máxima (m)	Variação + (m/dia)	Variação - (m/dia)	Início ano (m)	Fim ano (m)	Variação no ano (m)	Volume início (Mm3)	Volume fim (Mm3)	Var. volume (Mm3)	Nº leituras anuais	Intervalo médio (dias)
1986	22.6	18.11	4.49	0.04	-0.03		22.6	22.6	-	4.1	-	11	25
1987	38.95	22.99	15.96	1.87	-0.03	22.6	36.63	14.03	4.1	106.8	102.7	65	5.6
1988	44.62	38.95	5.67	0.33	-0.15	36.63	44.62	7.99	106.8	302.6	195.8	91	4.0
1989	47.25	44.15	3.1	0.95	-0.2	44.62	44.4	-0.22	302.6	295.2	-7.4	48	7.6
1990	44.98	44.22	0.76	0.05	-0.12	44.4	44.22	-0.18	295.2	289.2	-6.0	103	3.5
1991	45.8	43.99	1.81	0.39	-0.02	44.24	44.08	-0.16	289.9	284.6	-5.3	304	1.2
1992	44.07	41.36	2.71	0.14	-0.07	44.09	42.15	-1.94	285.0	226.4	-58.6	305	1.2
1993	43.75	42.27	1.48	0.37	-0.02	42.2	42.69	0.49	227.9	241.8	13.9	304	1.2
1994	43.1	41.85	1.25	0.12	-0.02	42.71	41.95	-0.76	242.3	220.9	-21.4	304	1.2
1995	42.31	39.78	2.53	0.65	-0.03	41.95	41.77	-0.18	220.9	216.0	-5.0	304	1.2
1996	47.06	41.92	5.14	0.44	-0.05	41.82	45.08	3.26	217.4	318.6	101.2	305	1.2
1997	46.39	45.12	1.27	0.14	-0.16	45.07	46.02	0.95	318.2	353.0	34.8	304	1.2
1998	47.85	44.86	2.99	2.16	-1.93	46.03	44.91	-1.12	353.5	312.6	-40.9	304	1.2
1999	46.65	44.65	2	0.57	-0.22	44.86	45.59	0.73	310.9	337.0	26.2	274	1.3
2000	48.28	44.44	3.84	2.57	-1.95	45.66	45.46	-0.19	339.4	332.3	-7.1	305	1.2
2001	47.03	44.34	2.69	0.81	-0.28	45.47	45.05	-0.42	332.7	317.5	-15.2	304	1.2
2002	44.92	44.03	0.89	0.07	-0.08	45.04	44.29	-0.75	317.0	291.4	-25.6	304	1.2
2003	44.27	41.56	2.71	0.31	-0.34	44.29	41.67	-2.62	291.5	213.4	-78.1	304	1.2
2004	44.37	41.59	2.78	0.42	-0.02	41.66	43.45	1.79	213.1	264.5	51.4	305	1.2
2005	44.04	42.31	1.73	0.19	-0.02	43.43	42.4	-1.03	264.0	233.3	-30.6	304	1.2
2006	45.82	42.22	3.6	0.67	-0.02	42.39	45.16	2.77	233.1	321.4	88.3	304	1.2
2007	44.89	42.95	1.94	0.11	-0.03	45.16	43.33	-1.83	321.4	260.9	-60.5	304	1.2
2008	43.75	42.01	1.74	0.1	-0.02	43.33	42.37	-0.96	260.9	232.7	-28.2	305	1.2
2009	43.87	41.43	2.44	0.46	-0.02	42.42	43.84	1.42	233.9	276.8	42.8	304	1.2
2010	46.75	43.76	2.99	0.22	-0.05	43.83	45.32	1.49	276.5	327.1	50.6	304	1.2
Máximo	48.28	45.12	15.96	2.57	-0.02	46.03	46.02	22.6	353.5	353.0	195.8		
Mínimo	22.6	18.11	0.76	0.04	-1.95	22.6	22.6	-2.62	4.1	4.1	-78.1		

* - 1º registo em 28 de Março de 1986

Tabela 2.A4 - Média de armazenamento 1990-2000

Ano	Média de armazenamento da BPL 1990-2010 (M m³)
1990	295.2
1991	289.9
1992	285.0
1993	227.9
1994	242.3
1995	220.9
1996	217.4
1997	318.2
1998	353.5
1999	310.9
2000	339.4
2001	332.7
2002	317.0
2003	291.5
2004	213.1
2005	264.0
2006	233.1
2007	321.4
2008	260.9
2009	233.9
2010	276.6
Média	278.3