

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO *EM ENGENHARIA CIVIL***

**ESTUDO DE VIABILIDADE DA APLICAÇÃO DO CONCRETO PRÉ-  
MOLDADO EM RESERVATÓRIOS DO SISTEMA DE  
ABASTECIMENTO DE ÁGUA**

**FABRÍCIO ANDRÉ NOGUEIRA DOS REIS**

São Carlos  
2020

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO *EM ENGENHARIA CIVIL***

**ESTUDO DE VIABILIDADE DA APLICAÇÃO DO CONCRETO PRÉ-  
MOLDADO EM RESERVATÓRIOS DO SISTEMA DE  
ABASTECIMENTO DE ÁGUA**

**FABRÍCIO ANDRÉ NOGUEIRA DOS REIS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de São Carlos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

**Área de Concentração:** Construção Civil

**Orientador:** Prof. Dr. Marcelo de Araújo Ferreira

São Carlos  
2020



## UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil

---

### Folha de Aprovação

---

Assinaturas dos membros da comissão examinadora que avaliou e aprovou a Defesa de Dissertação de Mestrado do candidato Fabrício André Nogueira dos Reis, realizada em 30/04/2020:

---

Prof. Dr. Marcelo de Araujo Ferreira  
UFSCar

---

P/ Prof. Dr. Mounir Khalil El Debs  
EESC/USP

---

P/ Prof. Dr. Jose da Costa Marques Neto  
UFSCar

Certifico que a defesa realizou-se com a participação à distância do(s) membro(s) e, depois das arguições e deliberações realizadas, o(s) participante(s) à distância está(ao) de acordo com o conteúdo do parecer da banca examinadora redigido neste relatório de defesa.

---

Prof. Dr. Marcelo de Araujo Ferreira

Dedico este trabalho a minha  
família, meu amparo e fortaleza para enfrentar  
qualquer desafio.

## **AGRADECIMENTOS**

Em primeiro lugar, agradeço a Deus por me abençoar e por me guiar em toda minha trajetória.

Quero agradecer aos meus pais, José Carlos e Leda, e aos meus irmãos, Lucas e Daniely, pelo incentivo em alcançar meus objetivos e por me apoiarem sempre que precisei.

Agradeço de forma especial a minha companheira Letícia, pelo suporte e companheirismo ao longo dos anos.

Gostaria de agradecer ao amigo, professor e orientador, Marcelo de Araújo Ferreira, pela confiança e pelos ensinamentos compartilhados no desenvolvimento desta pesquisa.

Por fim, agradeço também aos amigos do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil/ PPGECIV – UFSCar, que compartilharam momentos e conhecimentos nesta etapa tão importante para mim.

“Algo só é impossível até que alguém duvide e acabe provando o contrário.”  
(Albert Einstein)

## RESUMO

REIS, Fabrício A. N. **Estudo de Viabilidade da Aplicação do Concreto Pré-moldado em Reservatórios do Sistema de Abastecimento de Água**. 2020. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2020.

Este trabalho teve como finalidade o estudo de viabilidade econômico-financeira da aplicação do concreto pré-moldado para a construção de reservatórios circulares apoiados em obras de infraestrutura urbana, considerando as condições atuais e as premissas adotadas nas análises. Além disso, apresentou-se uma metodologia de análise de viabilidade econômico-financeira para auxiliar a tomada de decisão de gestores de projetos na escolha do sistema construtivo durante etapa de estudos preliminares do projeto. Através da utilização do método do CAE (Custo Anual Equivalente) e de análises de sensibilidade dos indicadores com a variação dos dados de entrada, compararam-se os indicadores econômicos entre a construção do reservatório em concreto pré-moldado protendido e a construção em concreto moldado no local com protensão posterior em cordoalhas engraxadas e, concluiu-se que, nas condições atuais de mercado, em muitas situações os resultados econômicos e financeiros foram satisfatórios para o concreto pré-moldado quando foi considerado o benefício de antecipação do início de operação do sistema de abastecimento de água, resultando em incrementos de lucros operacionais no fluxo de caixa do projeto em relação ao reservatório em concreto moldado no local. No entanto, deve haver um rigoroso planejamento e controle dos prazos e interferências para compatibilização de todas as obras que proporcionarão funcionalidade ao sistema de abastecimento, pois quando não se considerou um aproveitamento do potencial de agilidade da inauguração do sistema com o uso do concreto pré-moldado, não houve situação de viabilidade econômico-financeira do uso deste sistema construtivo em comparação ao uso do concreto moldado no local, nas condições atuais do mercado brasileiro. Nesta pesquisa também se avaliou o impacto da vida útil de projeto, dos custos de manutenção, dos custos de transporte, do lucro operacional por residência da empresa concessionária e da antecipação do prazo de início de operação do sistema de abastecimento com o uso do concreto pré-moldado nos indicadores econômicos e financeiros da análise de viabilidade.

**Palavras-chave:** Concreto pré-moldado, reservatórios circulares, infraestrutura urbana, análise de viabilidade, viabilidade econômico-financeira de projetos

## ABSTRACT

REIS, Fabrício A. N. **Estudo de Viabilidade da Aplicação do Concreto Pré-moldado em Reservatórios do Sistema de Abastecimento de Água**. 2020. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2020.

*This work aimed to study the economic and financial viability of the application of precast concrete for the construction of circular surface reservoir in urban infrastructure works, considering the current conditions and the premises adopted in the analyzes. In addition, an economic-financial feasibility analysis methodology was presented to assist the decision-making of project managers in choosing the construction system during the preliminary study stage of the project. Using the Equivalent Annual Cost method and sensitivity analysis of indicators with the variation of the input data, the economic indicators were compared between the construction of the prestressed precast concrete reservoir and the construction in cast in place concrete with post prestressing in greased strings and, it was concluded that, under the current market conditions, in many situations the economic and financial results were satisfactory for the precast concrete when it was considered the benefit of anticipating the start of operation of the system water supply, resulting in increases in operating profits in the project's cash flow in relation to the cast in place concrete reservoir. However, there must be a strict planning and control of deadlines and interferences for compatibility of all works that will provide functionality to the water supply system, because when it was not considered to take advantage of the potential of the system's inauguration with the use of precast concrete, there was no situation of economic and financial viability of the use of this construction system in comparison to the use of cast in place concrete, in the current conditions of the Brazilian market. In this research, the impact of the project's useful life, maintenance costs, transport costs, operating profit per residence of the concessionaire company and the anticipation of the start-up time of the water supply system with the use of precast concrete were also evaluated on the economic and financial indicators of the feasibility analysis.*

**Key-words:** *Precast concrete, circular reservoirs, urban infrastructure, feasibility analysis, economic and financial feasibility of projects.*

## LISTA DE FIGURAS

---

Figura 1. Destino das vendas de concreto pré-fabricado no Brasil, 2016.....	20
Figura 2. Processo de reciclagem do concreto pré-moldado.....	27
Figura 3. Diagrama de Fluxo de Caixa genérico.....	42
Figura 4. Etapas do processo de desenvolvimento de projetos de saneamento.....	50
Figura 5. Elementos pré-moldados da parede do reservatório circular com protensão circunferencial interna.....	60
Figura 6. Detalhe da emenda típica.....	60
Figura 7. Detalhe da ancoragem dos cabos.....	60
Figura 8. Elemento pré-moldado com nervuras empregado em reservatório retangular.....	62
Figura 9. Detalhamento típico das ligações.....	65
Figura 10. Montagem do painel de concreto pré-fabricado.....	67
Figura 11. Ligações de parede <i>in loco</i> durante construção.....	67
Figura 12. Reservatório de abastecimento de água em concreto pré-fabricado.....	69
Figura 13. Modelagem da pré-tração vertical dos cabos de painéis de parede.....	70
Figura 14. Execução da laje de fundo em concreto moldado no local.....	71
Figura 15. Placas para nivelamento de painéis.....	71
Figura 16. Parafusos de nivelamento na base dos painéis.....	72
Figura 17. Movimentação e montagem dos painéis planos de parede.....	72
Figura 18. Detalhe ligação do painel com laje de fundo e detalhe da proteção dos cabos de protensão horizontal.....	73
Figura 19. Injeção de nata de cimento nas juntas verticais entre os painéis.....	74
Figura 20. Planta do painel especial de ancoragem dos cabos.....	74
Figura 21. Elementos de sustentação da cobertura do reservatório.....	75
Figura 22. Montagem dos painéis da cobertura.....	75
Figura 24. Planta do reservatório com elemento pré-moldado em seção T.....	77
Figura 25. Reservatório de 3.800 m <sup>3</sup> em elementos pré-moldados de seção T.....	78
Figura 26. Reservatório de 38.000 m <sup>3</sup> em elementos pré-moldados de seção T.....	79
Figura 27. Vista interna do reservatório – Pilares pré-moldados, viga pré-moldada central em forma de anel escorada e painéis pré-moldados de seção T para cobertura.....	82
Figura 28. Vista interna do reservatório - Transporte dos painéis de cobertura em carreta Dolly e guindaste de montagem da cobertura.....	82
Figura 29. Vista interna do reservatório - colocação das mantas para impermeabilização interna.....	83
Figura 30. Guincho utilizado para finalizar a montagem da cobertura.....	84
Figura 31. Instalação de borracha EPDM nas juntas entre os painéis de cobertura.....	84
Figura 32. Estação de Tratamento de Esgoto.....	87
Figura 33. Montagem de reservatório circular em CPM.....	87
Figura 34. Reservatório de água potável e cobertura de CPM aparente.....	88
Figura 35. Planta do reservatório mostrando os principais elementos estruturais.....	89
Figura 36. Detalhe da ligação articulada entre o painel de parede e a base.....	90
Figura 37. Detalhe da ligação da cobertura com a parede.....	91
Figura 38. Elevação dos painéis de parede durante o inverno.....	91
Figura 39. Fluxograma das etapas da pesquisa.....	92
Figura 40. Sistema de fôrma e escoramento de fundo de laje para o CML.....	107
Figura 41. Cronograma do reservatório de 2.000 m <sup>3</sup> (Gráfico de Gantt).....	110
Figura 42. Cronograma do reservatório de 5.000 m <sup>3</sup> (Gráfico de Gantt).....	112
Figura 43. Cronograma do reservatório de 10.000 m <sup>3</sup> (Gráfico de Gantt).....	114

Figura 44. Gráficos do CAE para volume de 2.000 m <sup>3</sup> .....	120
Figura 45. Gráficos do CAE para volume de 5.000 m <sup>3</sup> .....	121
Figura 46. Gráficos do CAE para volume de 10.000 m <sup>3</sup> .....	121
Figura 47. Relação entre o volume do reservatório e prazo de execução da estrutura para os sistemas construtivos.....	125
Figura 48. Gráficos do CAE considerando lucro antecipado (2.000 m <sup>3</sup> ).....	126
Figura 49. Gráficos do CAE considerando lucro antecipado (5.000 m <sup>3</sup> ).....	127
Figura 50. Gráficos do CAE considerando lucro antecipado (10.000 m <sup>3</sup> ).....	127

## LISTA DE TABELAS

---

Tabela 1. Níveis de atendimento com água e esgoto dos municípios brasileiros (2018) .....	24
Tabela 2. RUP dos serviços em concreto moldado no local .....	108
Tabela 3. Quantitativos e duração dos serviços para reservatório 2.000 m <sup>3</sup> .....	109
Tabela 4. Rede de precedência e prazo de execução do reservatório 2.000 m <sup>3</sup> .....	110
Tabela 5. Quantitativos e duração dos serviços para reservatório 5.000 m <sup>3</sup> .....	111
Tabela 6. Rede de precedência e prazo de execução do reservatório 5.000 m <sup>3</sup> .....	112
Tabela 7. Quantitativos e duração dos serviços para reservatório 10.000 m <sup>3</sup> .....	113
Tabela 8. Rede de precedência e prazo de execução do reservatório 10.000 m <sup>3</sup> .....	113
Tabela 9. Prazos e custos dos reservatórios em concreto moldado no local.....	117
Tabela 10. Prazos e custos dos reservatórios em concreto pré-moldado .....	117
Tabela 11. Cenário 1 - Custo Anual Equivalente .....	120
Tabela 12. Diferença no prazo de execução dos reservatórios.....	123
Tabela 13. Lucro operacional antecipado para cada volume .....	124
Tabela 14. Cenário 2 - Custo Anual Equivalente .....	126
Tabela 15. Análise de sensibilidade - Reservatório 2.000 m <sup>3</sup> em CML no Cenário 1 .....	129
Tabela 16. Análise de sensibilidade – Reservatório 2.000 m <sup>3</sup> em CPM com transporte no Cenário 1.....	130
Tabela 17. Análise de sensibilidade – Reservatório 2.000 m <sup>3</sup> em CPM sem transporte no Cenário 1.....	130
Tabela 18. Análise de sensibilidade – Reservatório 5.000 m <sup>3</sup> em CML no Cenário 1 .....	131
Tabela 19. Análise de sensibilidade – Reservatório 5.000 m <sup>3</sup> em CPM com transporte no Cenário 1.....	131
Tabela 20. Análise de sensibilidade – Reservatório 5.000 m <sup>3</sup> em CPM sem transporte no Cenário 1.....	132
Tabela 21. Análise de sensibilidade – Reservatório 10.000 m <sup>3</sup> em CML no Cenário 1 .....	132
Tabela 22. Análise de sensibilidade – Reservatório 10.000 m <sup>3</sup> em CPM com transporte no Cenário 1.....	133
Tabela 23. Análise de sensibilidade – Reservatório 10.000 m <sup>3</sup> em CPM sem transporte no Cenário 1.....	133
Tabela 24. Análise de sensibilidade – Reservatório 2.000 m <sup>3</sup> em CPM com transporte no Cenário 2.....	136
Tabela 25. Análise de sensibilidade – Reservatório 2.000 m <sup>3</sup> em CPM sem transporte no Cenário 2.....	136
Tabela 26. Análise de sensibilidade – Reservatório 5.000 m <sup>3</sup> em CPM com transporte no Cenário 2.....	137
Tabela 27. Análise de sensibilidade – Reservatório 5.000 m <sup>3</sup> em CPM sem transporte no Cenário 2.....	137
Tabela 28. Análise de sensibilidade – Reservatório 10.000 m <sup>3</sup> em CPM com transporte no Cenário 2.....	137
Tabela 29. Análise de sensibilidade – Reservatório 10.000 m <sup>3</sup> em CPM sem transporte no Cenário 2.....	138
Tabela 30. Probabilidade de viabilidade do CPM no cenário 2 .....	139
Tabela 31. Análise de sensibilidade do CAE do concreto pré-moldado em relação ao custo de transporte .....	141

*LISTA DE QUADROS*

---

Quadro 1. Critérios para escolha do sistema construtivo .....	46
Quadro 2. Estrutura Analítica de Projeto (EAP) para execução em concreto moldado no local .....	108
Quadro 3. Proposta comercial para reservatório de 2.000 m <sup>3</sup> .....	115
Quadro 4. Proposta comercial para reservatório de 5.000 m <sup>3</sup> .....	115
Quadro 5. Proposta comercial para reservatório de 10.000 m <sup>3</sup> .....	115
Quadro 6. Vida útil dos sistemas construtivos .....	116
Quadro 7. Despesas com manutenção dos reservatórios .....	116
Quadro 8. Relação de imprevistos na execução dos sistemas construtivos .....	118

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>12</b>
<b>1.1 OBJETIVOS</b> .....	<b>13</b>
1.1.1 GERAL .....	13
1.1.2 ESPECÍFICOS .....	13
<b>1.2 JUSTIFICATIVA</b> .....	<b>14</b>
<b>1.3 PROBLEMA DE PESQUISA</b> .....	<b>15</b>
<b>1.4 DELIMITAÇÕES DA PESQUISA</b> .....	<b>15</b>
<b>1.5 ESTRUTURAÇÃO DO TRABALHO</b> .....	<b>16</b>
<b>2. REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>17</b>
<b>2.1 BREVE HISTÓRICO</b> .....	<b>17</b>
2.1.1 O PRÉ-FABRICADO NO CONTEXTO BRASILEIRO .....	17
2.1.2 PANORAMA DA INFRAESTRUTURA SANITÁRIA BRASILEIRA .....	22
<b>2.2 CONCRETO PRÉ-MOLDADO E SUSTENTABILIDADE</b> .....	<b>25</b>
<b>2.3 VANTAGENS E DESVANTAGENS DA PRÉ-FABRICAÇÃO</b> .....	<b>28</b>
<b>2.4 GESTÃO DE PROJETOS DE SISTEMAS PRÉ-FABRICADOS</b> .....	<b>31</b>
2.4.1 GESTÃO DE PROJETOS NA VISÃO DA EMPRESA FABRICANTE .....	31
2.4.2 GESTÃO DE PROJETOS NA VISÃO DO CLIENTE .....	35
<b>2.5 ESTUDO DE VIABILIDADE</b> .....	<b>41</b>
2.5.1 SÍNTESE DE MÉTODOS DE ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICO-FINANCEIRA .....	42
2.5.2 CONSIDERAÇÃO DE OUTROS ASPECTOS DE VIABILIDADE .....	44
2.5.3 A VIABILIDADE DE CONTRATOS DE PRESTAÇÃO DE SERVIÇO PÚBLICO DE SANEAMENTO BÁSICO .....	47
2.5.4 A VIABILIDADE DE PROJETOS DE SANEAMENTO .....	47
<b>2.6 REQUISITOS TÉCNICOS DE ESTRUTURAS DE CONCRETO APLICADAS À ENGENHARIA AMBIENTAL</b> .....	<b>51</b>
<b>2.7 TÉCNICAS CONSTRUTIVAS PARA EXECUÇÃO DE RESERVATÓRIOS EM CONCRETO PRÉ-MOLDADO</b> .....	<b>57</b>
<b>2.8 APLICAÇÕES INTERNACIONAIS DE RESERVATÓRIOS EM CONCRETO PRÉ-MOLDADO</b> .....	<b>62</b>
2.8.1 REINO UNIDO .....	63
2.8.2 PORTUGAL E ESPANHA .....	68
2.8.3 ESTADOS UNIDOS .....	76
2.8.4 CANADÁ .....	88
<b>3. METODOLOGIA</b> .....	<b>92</b>

3.1	FLUXOGRAMA E ESTRUTURA DA PESQUISA.....	92
3.2	MÉTODO DE ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICO-FINANCEIRA	93
4.	<i>ESTUDO DE CASO</i> .....	98
4.1	DEFINIÇÃO DOS MODELOS E CENÁRIOS.....	98
4.2	PREMISSAS ADOTADAS .....	100
4.3	ESTUDO DOS SISTEMAS CONSTRUTIVOS PARA O RESERVATÓRIO CIRCULAR APOIADO DE CONCRETO .....	105
4.3.1	SISTEMA CONSTRUTIVO DE CONCRETO MOLDADO NO LOCAL .....	105
4.3.2	SISTEMA CONSTRUTIVO EM CONCRETO PRÉ-MOLDADO .....	115
4.4	RESUMO DOS DADOS DOS SISTEMAS CONSTRUTIVOS .....	116
5.	<i>RESULTADOS E ANÁLISES</i> .....	119
5.1	CUSTO ANUAL EQUIVALENTE DO CENÁRIO 1.....	119
5.2	CUSTO ANUAL EQUIVALENTE DO CENÁRIO 2.....	122
5.3	ANÁLISE DE SENSIBILIDADE DO CENÁRIO 1.....	129
5.4	ANÁLISE DE SENSIBILIDADE DO CENÁRIO 2.....	135
6.	<i>CONSIDERAÇÕES FINAIS</i> .....	143
	<i>REFERÊNCIAS</i> .....	145
	<i>ANEXO</i> .....	149
	<i>APÊNDICE</i> .....	153

# 1. INTRODUÇÃO

Dados divulgados pela Pesquisa Nacional por Amostragem de Domicílios (PNAD- IBGE) demonstraram que, em 2015, a maior parte da população brasileira (84,72%) já vivia em áreas urbanas. Fato é que, nas últimas décadas, essa crescente migração da população rural para os centros urbanos ocorreu, no Brasil, sem a respectiva melhoria na infraestrutura das cidades.

Dessa forma, o presente trabalho foi motivado pela busca de soluções existentes em estruturas de concreto pré-moldado para obras de infraestrutura sanitária e pela contribuição na análise de viabilidade econômico-financeira da utilização desse sistema construtivo no setor de infraestrutura sanitária nas cidades brasileiras.

Entre os vários setores da construção civil, o setor de infraestrutura sanitária possui demanda suficiente de obras para implantação de novos sistemas construtivos, como o concreto pré-moldado. Em países desenvolvidos da Europa e nos Estados Unidos, a aplicação do concreto pré-moldado em obras de saneamento básico já é uma realidade e empresas de projetos podem analisar a viabilidade de empregar essa alternativa na construção das unidades dos sistemas de saneamento, como reservatórios de abastecimento de água, tanques de decantadores, aeradores e tanques de reatores biológicos para tratamento de esgoto.

Nesse sistema construtivo, a produção dos painéis de concreto pré-moldados, nos pátios de concretagem ou na fábrica, permite um maior controle de prazos, custos e qualidade da produção. A fase de montagem se caracteriza pela rapidez da execução, utilização de equipamentos e quantidade reduzida da mão de obra.

Conforme determinado pela Lei nº 11.445/2007, o Plano Nacional de Saneamento Básico (PLANSAB, 2013) foi elaborado e estabeleceu que, até 2033, a meta de universalização do saneamento deve ser atingida no Brasil. Nesse contexto, o estudo da implantação de novos sistemas construtivos, diferentes dos tradicionais utilizados para obras de infraestrutura sanitária, com possibilidade de melhoria na gestão de projetos, otimização dos recursos, redução dos desperdícios e do impacto ambiental, maior vida útil e redução das manutenções, além do menor prazo de execução, torna-se um objeto muito relevante para análise, já que o aumento do índice de atendimento do saneamento básico, em âmbito nacional, somente será alcançado com a conclusão e interligação de obras de engenharia.

Cercado de outras obras de relevante importância para o funcionamento dos sistemas de saneamento básico destacam-se as construções de reservatórios de

distribuição, que são unidades do sistema de abastecimento de água necessárias para o adequado fornecimento de água potável à população.

Apesar das vantagens do sistema construtivo em concreto pré-moldado para obras de reservatórios apoiados ou enterrados de grandes volumes, como manutenção reduzida, estética atraente, alta qualidade e rapidez da construção, não há registro de aplicação do mesmo no país para o setor do saneamento básico. Portanto pretende-se neste trabalho fazer um levantamento das principais técnicas construtivas em concreto pré-moldado utilizadas no exterior para este setor da construção civil, além de buscar analisar a viabilidade de aplicação do sistema pré-moldado para reservatórios apoiados de grandes volumes.

## **1.1 OBJETIVOS**

### **1.1.1 GERAL**

Este trabalho teve como objetivo geral elaborar e analisar um estudo de viabilidade econômico-financeira da aplicação de reservatórios apoiados circulares em concreto pré-moldado no sistema de abastecimento de água de municípios brasileiros, em comparação com análises de utilização da estrutura de concreto moldado no local.

### **1.1.2 ESPECÍFICOS**

Os objetivos específicos deste trabalho foram:

- Sistematizar uma metodologia de análise de viabilidade econômico-financeira da aplicação de novas técnicas construtivas para auxiliar o estudo de oportunidades existentes no mercado.
- Escolher um método de análise econômico-financeira que seja mais adequado para o estudo de viabilidade da pesquisa.
- Levantar os quantitativos de projeto para estimar os prazos e custos dos sistemas construtivos ou fazer uma cotação de fornecedores no mercado.
- Estabelecer as variáveis, as premissas e os cenários para o estudo de viabilidade econômico-financeira da aplicação do concreto pré-moldado em reservatórios.
- Realizar uma análise de sensibilidade do estudo de viabilidade em relação às premissas adotadas na pesquisa, visando auxiliar a tomada de decisão de um gestor de projetos, utilizando uma avaliação dos riscos e cenários.

## 1.2 JUSTIFICATIVA

A utilização de sistema construtivo pré-fabricado cria um ambiente favorável à gestão de projetos, pois possibilita um maior controle de qualidade, de prazo de execução e custo final do empreendimento, com sustentabilidade. Sendo assim, na fase preliminar de um projeto, o ideal é que se realize um estudo de viabilidade das alternativas construtivas, sob os aspectos técnicos, ambiental e socioeconômico.

Segundo El Debs (2017), as características das construções de infraestrutura favorecem a aplicação do concreto pré-moldado por se tratarem de obras que se constituem praticamente da estrutura, com condições favoráveis à padronização e por possuírem, geralmente, aplicação em grande escala.

Além disso, de acordo com Helene (2013), o pré-moldado de concreto combina em diversos aspectos com a sustentabilidade, já que possibilita construção de estruturas mais resistentes, mais duráveis, com redução de esforço físico dos operários e menos ruído, somado a uma redução do consumo de água, energia e de recursos materiais não renováveis durante o processo construtivo e geração de menos resíduos e entulhos.

O concreto pré-moldado possui um grande potencial para aplicação em obras urbanas, como as pontes, as passarelas, as galerias, os canais, os muros de arrimo e os reservatórios. No entanto, no Brasil é notória uma maior aplicação desse sistema construtivo em obras de shopping centers, indústrias, galpões, edifícios comerciais e obras de arte especial (FGV/IBRE, 2016).

Há ainda, entre as obras de infraestrutura urbana, exemplos de projetos e construções brasileiras que se utilizam do sistema construtivo em concreto pré-moldado para obras de pontes de pequenos vãos em trechos urbanos, galerias de seção retangular ou circular (tubos de concreto), porém não se tem registro de obras de reservatórios ou tanques de grandes volumes em concreto pré-moldado, ao contrário de países da região da América do Norte e Europa.

A pesquisa se justifica pelo atual cenário de déficit da infraestrutura sanitária do Brasil (SNIS, 2018) e pela meta estabelecida no Plano Nacional de Saneamento Básico (PLANSAB, 2013) de atingir a universalização dos serviços básicos de saneamento até 2033, em âmbito nacional.

Nesse contexto, há uma grande necessidade de construção de obras de infraestrutura sanitária para o tratamento de água bruta, reservação e abastecimento de água tratada, além da coleta e tratamento de esgoto, estimulando empresas de saneamento básico a buscarem soluções construtivas que demonstrem agilidade no processo de

construção, mas ao mesmo tempo, que apresentem viabilidade econômica para se adequarem aos recursos financeiros disponíveis nos contratos de concessões destes serviços públicos.

Diante do exposto, encontra-se uma oportunidade de pesquisa sobre as alternativas construtivas em concreto pré-moldado utilizadas no exterior para obras de reservatórios de abastecimento/tratamento de água ou tratamento de esgoto sanitário e sobre avaliação da viabilidade de aplicação dessa alternativa em projetos nacionais, demonstrando as principais características do sistema construtivo, alguns detalhes de projetos e os desafios para gestão desses empreendimentos.

### **1.3 PROBLEMA DE PESQUISA**

O problema de pesquisa deste trabalho se baseia no seguinte questionamento: Há viabilidade econômico-financeira de aplicação do concreto pré-moldado em obras de reservatórios de abastecimento de água potável no Brasil?

A origem desta indagação está relacionada ao fato da baixa aplicação do concreto pré-moldado em obras de infraestrutura urbana no Brasil, mais especificamente em obras localizadas (estação elevatória de água ou esgoto, reservatórios e estações de tratamento) inseridas no setor de saneamento básico, que demanda uma grande necessidade por investimentos em obras de melhoria e expansão dos sistemas de abastecimento de água e esgotamento sanitário. Dessa forma, o estudo da aplicação de novas tecnologias e técnicas construtivas que possibilitem a redução de desperdícios, maior controle de qualidade, de custos e prazos, se torna um fator essencial para a evolução da qualidade de vida da sociedade, já que proporcionam a ampliação da capacidade da infraestrutura básica.

A motivação deste trabalho ocorre pela busca em analisar a viabilidade da aplicação no Brasil da tecnologia do concreto pré-moldado nas obras de reservatórios apoiados, semienterrados e enterrados utilizados para abastecimento de água potável, assim como é utilizado em outros países.

### **1.4 DELIMITAÇÕES DA PESQUISA**

Este trabalho se limita a descrever características gerais dos tipos de obras analisadas, não se aprofundando na análise estrutural dos elementos de concreto pré-moldado. Além disso, não foi incluído nesta pesquisa o estudo de técnicas construtivas de obras de reservatórios elevados em concreto pré-moldado, limitando-se somente na

aplicação do concreto pré-moldado para reservatórios apoiados, enterrados e semienterrados.

## 1.5 ESTRUTURAÇÃO DO TRABALHO

O trabalho está dividido em seis capítulos, os quais são descritos conforme a seguir:

O primeiro capítulo apresenta o panorama resumido sobre o tema da pesquisa, além de delinear os objetivos, as justificativas, o problema de pesquisa e suas delimitações.

O segundo capítulo expõe a revisão teórica quanto ao tema da pesquisa. Inicialmente é apresentado o histórico do uso do concreto pré-moldado no Brasil, além do cenário atual dos setores que mais utilizam tal sistema construtivo e o cenário atual da infraestrutura sanitária brasileira. Posteriormente, é apresentada a relação entre o concreto pré-moldado e a sustentabilidade, seguido das vantagens e desvantagens da utilização deste sistema construtivo. O tópico seguinte trata sobre as particularidades da gestão de projetos de sistemas pré-fabricados. Após, são demonstrados os métodos de análise de viabilidade econômico-financeira de projetos de investimentos, além de outros aspectos de viabilidade. Dando sequência, são descritas as recomendações da norma norte-americana sobre uso do concreto em obras de engenharia ambiental, seguido da apresentação de tipologias de reservatórios em concreto pré-moldado. Por fim, são demonstrados exemplos internacionais de aplicações dos reservatórios em concreto pré-moldado.

O terceiro capítulo demonstra a metodologia de pesquisa, com um fluxograma do processo desenvolvido para o estudo de viabilidade econômico financeira.

O quarto capítulo aborda as premissas adotadas no Estudo de Caso, definindo as características do objeto de estudo e os cenários a serem analisados.

O quinto capítulo apresenta os resultados e análises do estudo da viabilidade econômico-financeira de aplicação do concreto pré-moldado em relação ao uso do concreto armado moldado no local (convencional) na construção de reservatórios circulares apoiados sobre o terreno.

No sexto capítulo são relatadas as considerações finais da pesquisa, denotando as conclusões do trabalho e as propostas para futuras pesquisas sobre o tema.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

Com a finalidade de contextualizar este trabalho às principais alternativas construtivas em concreto pré-moldado aplicáveis a obras de reservatórios ao redor do mundo, além de apresentar o cenário atual tanto do mercado brasileiro para o setor do concreto pré-moldado quanto da situação da infraestrutura de saneamento básico do país, serão apresentadas a seguir as revisões bibliográficas relacionadas ao tema da pesquisa.

### 2.1 BREVE HISTÓRICO

#### 2.1.1 O PRÉ-FABRICADO NO CONTEXTO BRASILEIRO

A norma brasileira de projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado (NBR 9062-2017) define e diferencia elemento pré-moldado de elemento pré-fabricado, conceituando que o pré-moldado é o elemento moldado previamente e fora do local de utilização definitiva na estrutura, enquanto o pré-fabricado é elemento pré-moldado executado industrialmente, em instalações permanentes de empresa destinada para este fim. Por serem fabricados em instalações industriais, os elementos pré-fabricados são produzidos com rigoroso padrão de controle de qualidade, desde a mão de obra que deve ser treinada e especializada, as matérias-primas que devem ser criteriosamente ensaiadas e inspecionadas e até o processo de cura que deve ser realizada com temperatura controlada, conforme preconizada pela norma brasileira.

Segundo a Associação Brasileira da Construção Industrializada de Concreto – ABCIC (2011), o primeiro registro da utilização do pré-fabricado no Brasil ocorreu em 1926, quando elementos pré-fabricados foram utilizados na construção do Hipódromo da Gávea, no Rio de Janeiro. A construtora dinamarquesa Christiani-Nielsen utilizou tais elementos nas estacas da fundação e nas cercas no perímetro da área reservada ao hipódromo.

No período entre 1945 a 1955, enquanto a Europa necessitava de construções em grande escala, devido à Segunda Guerra Mundial, o Brasil não havia sofrido devastações e, portanto, não havia uma preocupação em reconstrução de forma rápida, com repetições e limitações de mão de obra como na Alemanha e Polônia do período pós-guerra.

No final da década de 1950, a construtora Mauá executou vários galpões pré-moldados no próprio canteiro de obras, em São Paulo. A preocupação com a racionalização e industrialização propriamente dita começa de fato no início da década de 1960, já que as experiências anteriores foram esporádicas e constituíram eventos atípicos e sem

continuidade, destacando-se nesse período a obra industrial do curtume franco brasileiro, em Barueri/SP.

Também na década de 1960, foram utilizados pré-moldados e vigas pré-moldadas protendidas no campus da Universidade de Brasília, projetado pelo arquiteto Oscar Niemeyer e na construção do Conjunto Residencial da Universidade de São Paulo, em 1964, sendo 12 prédios com 12 pavimentos cada e as peças produzidas no próprio canteiro de obras. Em 1966 houve a criação do Banco Nacional da Habitação (BNH) pelo governo, que adotou uma política de desestímulo ao pré-fabricado na construção civil, priorizando o uso intenso de mão de obra nos canteiros (ABCIC, 2011).

A partir da metade da década de 1970, o BNH alterou sua postura sobre o concreto pré-fabricado, dando estímulos tímidos à sua utilização e executou canteiros experimentais na Bahia e em São Paulo, porém sem obedecerem às normas de qualidade e padronização.

Segundo Cavalhões (Anuário ABCIC, 2011), na década de 70, apesar de aquecimento econômico vivenciado pela economia brasileira, a mão de obra era barata e por isso não incentivava o uso do pré-fabricado de concreto. Além disso, os canteiros conservavam a cultura de moldagem no local, sem grandes pressões por prazo de execução das obras. Mesmo assim, essa época foi marcada por obras com uso de estacas protendidas.

Segundo publicação do anuário da ABCIC (2011), a década de 1980 é considerada um período sem muito destaque para o setor do concreto pré-fabricado, com apenas obras pontuais que utilizaram a tecnologia. No início da década de 1980, foram construídos edifícios residenciais, Carapicuíba VII e o Jardim São Paulo, na cidade de São Paulo. No entanto, algumas dessas construções apresentaram problemas de manifestações patológicas e funcionais, resultando em altos custos de manutenção. Em 1983, os relatórios técnicos internos da Companhia de Habitação do estado de São Paulo (COHAB-SP) denunciavam a situação precária das moradias executadas em concreto pré-moldado e, após análise detalhada, o Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) concluiu que era inviável recuperar tais construções, recomendando a demolição das mesmas em alguns casos. Os principais motivos encontrados pelo IPT foram o uso de material inadequado na confecção dos painéis, a execução de extrema deficiência da estrutura dos edifícios e a corrosão generalizada das armaduras dos elementos estruturais (pilaretes nas paredes e tirantes nas janelas).

Já na década de 1990, houve a retomada da tecnologia devido aos grandes empreendimentos como shopping centers, flats e hotéis demandados pelo desenvolvimento acelerado da cidade de São Paulo. Em 1993, a tecnologia do tilt up foi lançada, reduzindo o prazo de execução e agregando flexibilidade aos canteiros. Em 1994, houve o lançamento

do produto de painéis de fachada, em São Paulo, por uma construtora que trouxe a tecnologia do Canadá (ABCIC, 2011).

Em 2001, surgiu a Associação Brasileira da Construção Industrializada de Concreto (ABCIC) com finalidade de difundir e qualificar os pré-moldados de concreto, apoiada pela ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland). Dentre as ações que foram realizadas e as que continuam a se desenvolver pela ABCIC, destacam-se a criação do selo de excelência para atestar as empresas que investem em qualidade, preocupação ambiental e segurança do trabalho; a promoção e incentivo do uso de pré-fabricados de concreto no Brasil; patrocínios e apoios a iniciativas de qualificação de mão de obra e o avanço educacional; monitoramento das tendências internacionais; investimentos em pesquisa e desenvolvimento; atuação junto à ABNT na atualização e desenvolvimento de normas aplicáveis ao setor; debates sobre temas específicos em comitês técnicos e publicações técnicas (manuais, artigos e matérias em periódicos).

No início do período de 2010 surgiram novos nichos de aplicação do concreto pré-fabricado, como a construção de estádios de futebol e a área habitacional.

Em pesquisa realizada pela ABCIC (2011), a maioria das empresas de pré-fabricados (54%) não atuava com atividades de pré-moldado no canteiro por diversos motivos, entre eles: consideravam a falta ou menor controle de qualidade em campo em comparação com ambiente fabril; o fato do pré-moldado em canteiro ser indicado como uma atividade de construtoras e, principalmente, por não ser o foco da empresa.

No entanto, deve-se destacar que obras de arte especial de infraestrutura rodoviária brasileira, como pontes, viadutos, galerias, passagens veiculares e muros de contenção (terra armada) tiveram grandes exemplos de aplicação do concreto pré-moldado no canteiro. Um exemplo de grande impacto, desde o ano de 2006, foi a execução de obras de artes da rodovia Rodoanel Mário Covas, na Região Metropolitana de São Paulo, com viadutos construídos em vigas perfil I de concreto pré-moldado protendido em canteiro e pré-lajes de concreto. Nas obras da Copa de 2014 também houve exemplos de fabricação no próprio canteiro, como no caso da Arena Corinthians, com fabricação de pilares, vigas e vigas-jacaré produzidos no próprio canteiro para facilitar a logística de transporte.

Segundo a ABCIC (2011), entre 2009 e 2011, os investimentos dos pré-fabricadores se voltaram para a ampliação do quadro de funcionários e na implementação ou otimização de pontes rolantes e pórticos e formas especiais, além da ampliação do galpão da fábrica.

A partir do segundo semestre de 2014, um conjunto de fatores deram origem aos números negativos do setor da construção, como a queda do PIB setorial, a forte queda das contratações, o encerramento do período áureo do ciclo imobiliário iniciado em 2007, o fim das obras da Copa do Mundo e a diminuição dos investimentos das empresas privadas e públicas. Houve também o corte das despesas nas áreas de infraestrutura e do Programa

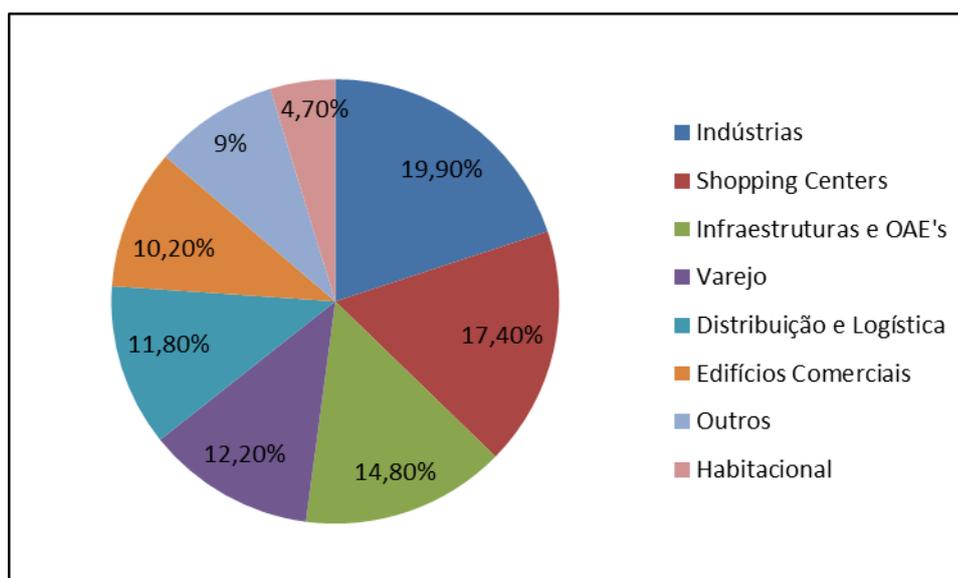
Habitacional Minha Casa Minha Vida, sendo que diversas obras em andamento tiveram uma desaceleração no ritmo devido aos atrasos nos pagamentos.

Em pesquisa publicada no anuário 2016 da ABCIC, a maioria das empresas brasileiras de pré-fabricados (51,1%) apontou redução de investimentos em relação ao ano de 2015, sendo que 80% do total das empresas entrevistadas apresentaram dificuldades para realizar investimentos, tendo em vista as incertezas com relação à política econômica e a insuficiência de demanda, já que havia um cenário de crise política e retração econômica desde 2014 no país. Além disso, o crédito ficou mais caro e difícil de ser obtido.

Entre os fatores que limitavam a realização de investimentos registrou-se: incertezas acerca da demanda, escassez de mão de obra qualificada, incertezas relacionadas à política econômica, carga tributária elevada, taxa de retorno inadequada, limitação de crédito e custo do financiamento.

De acordo com pesquisas realizadas pelo Instituto Brasileiro de Economia (IBRE) da Fundação Getúlio Vargas (FGV), em parceria com a Associação Brasileira da Construção Industrializada de Concreto (ABCIC), o perfil das vendas das empresas de pré-fabricados de concreto, do período de 2012 a 2016, tem se destinado majoritariamente para a indústria, shopping centers, infraestrutura e obras especiais (viadutos, aeroportos, estádios e ginásios esportivos), edifícios comerciais e, em menor escala, setor de habitação. A Figura 1 apresenta o perfil das vendas das empresas de pré-fabricados de concreto no Brasil, em 2016.

**Figura 1. Destino das vendas de concreto pré-fabricado no Brasil, 2016**



Fonte: Adaptado de FGV/IBRE (Anuário ABCIC 2016)

A publicação dessa pesquisa realizada pela FGV não foi específica sobre a utilização do pré-moldado na infraestrutura sanitária, porém, devido ao período (2012 a 2016) ter sido

caracterizado por obras de infraestrutura como aeroportos ou voltados para a mobilidade urbana e arenas esportivas para eventos da Copa do Mundo de 2014 e Olimpíadas de 2016, há indícios de que a utilização do concreto pré-moldado para o setor do saneamento básico tenha menor representação nesse perfil de vendas de empresas brasileiras. Destaque deve ser dado ao setor de tubos e aduelas de concreto, utilizados na condução de água pluvial, esgotamento sanitário, efluentes industriais, poços de visita ou inspeção, galerias para drenagem pluvial de vias urbanas e canalização de córregos.

No ano de 2016 houve o impeachment da presidente da república no Brasil e, com isso, um ambiente de instabilidade política e econômica instaurou-se no país. Tais fatos juntamente com a descoberta de escândalos de corrupção envolvendo grandes empreiteiras levaram a uma crise econômica que comprometeu severamente o setor da construção civil.

Portanto, entre 2016 e final de 2019, acompanhando os baixos indicadores da indústria da construção civil de modo geral, as indústrias de concreto pré-moldado buscaram se reerguer aos poucos.

Entre os entraves para uma maior aplicação do concreto pré-fabricado nas construções brasileiras, de forma geral, destacam-se os problemas culturais, de visão estratégica, tributários, de capacitação e estruturais. Experiências em países desenvolvidos demonstram que a industrialização é o caminho para alcançar objetivos relacionados à produtividade, sustentabilidade e competitividade na construção.

Com relação à elevada carga tributária, baseada em IPI mais ICMS, uma possível solução seria a redução de tais impostos, causando uma redução nos custos e viabilizando maior utilização do concreto pré-moldado. Outras medidas seriam a redução de tributos que incidem sobre máquinas e equipamentos em geral, estimulando as instalações de fábricas e uma maior aproximação dos trabalhos entre universidades, fabricantes de pré-moldados e construtores. Para a capacitação da mão de obra é necessário que instituições formadoras de pessoal se atualizem constantemente com as novas técnicas e processos, de forma a atender as necessidades de especialização que o mercado demanda.

Nos países europeus e na América do Norte, a industrialização da construção civil ocorre há mais de 50 anos e é impulsionada cada vez mais. Já no Brasil, ocorre um incentivo elevado do uso intensivo da mão de obra sem requisitos específicos de qualificação.

O setor da construção civil, assim como a economia brasileira, apresenta oscilações históricas, ora favorecendo o uso do concreto pré-moldado e ora acentuando as crises de sua aplicação. Nos períodos de desaquecimento ocorre mais tempo para a execução de obras, ou seja, folgas de execução devido à necessidade de adiamento no desembolso financeiro pelo empreendedor, o que impacta uma das características vantajosas do pré-fabricado.

Em relação aos países desenvolvidos, a construção civil brasileira necessita ainda de aumento de produtividade, desenvolvimento de inovações, busca pela racionalização, padronização e aumento de escala, com sustentabilidade (FILHA et al./BNDES,2009).

De modo geral, há predominância no Brasil de sistemas construtivos caracterizados pela utilização de métodos ou processos convencionais e com uso elevado de mão de obra. Neste cenário, a construção civil brasileira fica associada a processos com altos custos, baixo nível ou ausência de planejamento, baixa qualidade do trabalhador, elevados índices de desperdícios, baixa qualidade e recorrentes manifestações patológicas e baixo desempenho ambiental (LEAL et al./ABDI,2015).

A indústria da construção civil brasileira apresentou um ciclo de intenso crescimento, com seu auge no ano de 2010. No entanto, ainda predominou o processo artesanal e muito pouco industrializado e o aumento dos investimentos em industrialização ocorreram nos setores nos quais o tempo de construção tem efeito direto no retorno do investimento, como nos mercados de construções comerciais e industriais e nas construções de prédios de escritórios, shoppings, supermercados e indústrias.

É importante destacar que, recentemente, no início de 2020, surgiu uma crise sanitária mundial classificada pela Organização Mundial da Saúde (OMS) como pandemia devido ao coronavírus SAR-COV-2, com alta taxa de contaminação e sem vacina ou medicação (pelo menos até maio de 2020). Por isso, vários países adotaram o distanciamento ou isolamento social para conter a propagação do vírus e evitar uma crise sanitária em larga escala, porém também com efeitos sobre a atividade econômica das nações. Com projeções de novos cenários de crise econômica mundial, o setor de indústria de construção industrializada, em específico para o sistema construtivo em concreto pré-moldado, deve se preparar para possíveis desafios e oportunidades que surgirão.

### **2.1.2 PANORAMA DA INFRAESTRUTURA SANITÁRIA BRASILEIRA**

Segundo Rolnik e Klink (2011), a estruturação da política nacional de desenvolvimento urbano ocorreu por volta dos anos de 1960/1970 por meio da montagem de um sistema de financiamento de habitação e saneamento. No entanto, seja considerando o setor da habitação ou no saneamento básico, este modelo foi incapaz de prover condições adequadas de moradia para a maior parte da população, cuja renda não a habilitava para a condição de demanda neste mercado de casas e infraestrutura.

A partir de 1979, com implementação da Lei 6766 sobre as regras de parcelamento do solo, o Estado criou uma forma de regular a produção e a expansão das cidades, delegando ao loteador privado (empreendedor) a responsabilidade de fornecer o terreno

urbano com infraestrutura e espaços públicos. Este modelo funcionou muito bem para as classes médias e altas, porém os demais brasileiros se inseriram no território de forma precária, sem condições básicas de urbanidade.

O crescimento excessivo da população direcionado para um espaço urbano está relacionado a vários motivos, como a procura por um novo emprego nas cidades, melhores condições de estudos, qualidade de vida, diversidade de equipamentos urbanos/ áreas de lazer, possibilidade de aumento da renda financeira familiar, entre outros. Junto com esse crescimento populacional acelerado e com a falta de planejamento das cidades (expansão urbana desordenada) surgem problemas estruturais como a falta de fornecimento de infraestrutura básica (drenagem pluvial, abastecimento de água, coleta de esgoto e de resíduos, energia elétrica e sistema viário) à população.

Embora no território brasileiro o saneamento básico seja um direito assegurado pela Constituição Federal de 1988 e pela Lei nº 11.445/2007, dados publicados pela Secretaria Nacional de Saneamento, em seu relatório de Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos (SNIS, 2018), apontam que, no Brasil, o índice de atendimento com rede de abastecimento de água tratada é de 83,6% da população total e o atendimento com rede coletora de esgoto é de 53,2% da população total, com os piores índices nas regiões norte e nordeste. A população total, segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas (IBGE), refere-se à soma das populações totais residentes (urbanas e rurais) dos municípios – sedes municipais e localidades.

Esse é o panorama geral do saneamento básico no Brasil (apuração de informações de 98,1% em relação à população urbana brasileira), no entanto, a falta de infraestrutura sanitária básica é um problema social de maior concentração nas regiões mais carentes do território nacional e nas periferias das cidades, onde há uma grande demanda por políticas públicas e por obras de infraestrutura.

Dessa forma, para que ocorra a universalização da prestação de serviço público de saneamento básico nos 5.570 municípios do Brasil (IBGE,2020) , há necessidade de vultosos investimentos no setor, além de um planejamento bem estruturado para os próximos anos.

A **Tabela 1** apresenta os índices de atendimento com água e esgoto dos municípios brasileiros com prestadores de serviços, segundo macrorregião geográfica e o índice geral para o Brasil, referentes a 2018.

**Tabela 1. Níveis de atendimento com água e esgoto dos municípios brasileiros (2018)**

Macrorregião	Índice de atendimento com rede (%)				Índice de tratamento dos esgotos (%)
	Água		Coleta de esgotos		Esgotos coletados
	Total	Urbano	Total	Urbano	Total
Norte	57,1	69,6	10,5	13,3	83,4
Nordeste	74,2	88,7	28,0	36,3	83,6
Sudeste	91,0	95,9	79,2	83,7	67,5
Sul	90,2	98,6	45,2	51,9	95,0
Centro-Oeste	89,0	96,0	52,9	58,2	93,8
<b>Brasil</b>	<b>83,6</b>	<b>92,8</b>	<b>53,2</b>	<b>60,9</b>	<b>74,5</b>

Fonte: SNIS, 2018 – Secretaria Nacional de Saneamento

A Secretaria Nacional de Saneamento, através do diagnóstico do SNIS, concluiu que mesmo quando os programas de investimentos no setor são adequados aos déficits de acesso a esses serviços, ainda assim em muitos casos os investimentos são executados com menor agilidade do que a necessária. O mesmo relatório ainda afirma que o setor de saneamento brasileiro enfrenta problemas com a falta de qualidade de projetos, dificuldade para obter licenciamento ambiental, além da lentidão de processos licitatórios das obras e, em muitos casos, após contratada a obra, surgem dificuldades de diversas naturezas para sua execução nos prazos programados.

Conforme determinado pela Lei nº 11.445/2007, o Plano Nacional de Saneamento Básico (PLANSAB, 2013) foi elaborado e estabeleceu que, até 2033, a meta de universalização do saneamento deve ser atingida no Brasil. Nesse contexto, o estudo da implantação de novos sistemas construtivos, diferentes dos tradicionais utilizados para obras de infraestrutura sanitária, com possibilidade de melhoria na gestão de projetos, otimização dos recursos, redução dos desperdícios e do impacto ambiental, maior vida útil e redução das manutenções, além do menor prazo de execução, torna-se um objeto muito relevante para análise, já que o aumento do índice de atendimento do saneamento básico, em âmbito nacional, somente será alcançado com a conclusão e interligação de obras de engenharia.

De acordo com El Debs (2017), no setor de infraestrutura urbana existe uma série de tipos construtivos em que o concreto pré-moldado (CPM) apresenta grande interesse, como por exemplo as pontes, as galerias, os canais, os muros de arrimo e os reservatórios. Essas

construções fazem parte da infraestrutura urbana e de estradas e, comparando-se com obras de edificações, apresentam atributos que favorecem a aplicação do concreto pré-moldado: a construção é representada praticamente pela estrutura; existem condições mais favoráveis à padronização dessas obras e, em geral, são obras que possuem aplicação em grande escala.

## **2.2 CONCRETO PRÉ-MOLDADO E SUSTENTABILIDADE**

Para ocorrer a expansão e melhoria da capacidade de suporte das cidades são necessários investimentos em obras de infraestruturas e, com isso, surgem impactos ambientais de pequena, média ou grande magnitude. Considera-se impacto ambiental qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente que afetam (direta ou indiretamente): a saúde, a segurança e o bem-estar da população; as atividades sociais e econômicas; conjunto de todos os seres vivos (fauna e flora) da região; as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente e a qualidade dos recursos ambientais (RESOLUÇÃO CONAMA Nº 001,1986).

O setor da construção civil sempre esteve associado a essa contradição de se figurar como uma das mais importantes atividades para o desenvolvimento econômico e social, e ao mesmo tempo, responsável por gerar impactos ambientais pelo consumo de recursos não renováveis, geração de resíduos e pela modificação de paisagens e entornos. No entanto, este paradigma pode ser revertido com uso da racionalização dos processos construtivos e adoção de sistemas construtivos de concreto pré-moldado, seja com a pré-fabricação de concreto (elementos estruturais de uma obra são moldados em instalações industriais) ou com uso do pré-moldado (elementos estruturais são moldados fora do local de sua utilização definitiva, sem presença da indústria).

De acordo com Doniak (2011), somente por meio da industrialização da construção civil é possível atender, de forma sustentável, as necessidades sociais (habitação e infraestrutura) e econômicas do Brasil. O desenvolvimento sustentável baseia-se no tripé econômico, social e ecológico, e o concreto pré-moldado tem papel importante nesse contexto, pois além de apresentar os benefícios nos parâmetros de prazo e qualidade, possibilita a construção de forma sustentável. Dessa forma, o concreto pré-moldado é caracterizado como um método construtivo sustentável e altamente produtivo, em que a sustentabilidade está presente desde a economia de insumos até o seu potencial de reciclagem, também na redução da emissão de gases, redução do consumo energético e redução dos desperdícios do setor da construção civil. Além disso, permite que o canteiro de

obras tradicional transforme-se num centro de montagem de peças, reduzindo os riscos de acidentes do trabalho e de imprevisto no canteiro.

Doniak (2011) afirma que se deve considerar a sustentabilidade desde os estudos preliminares de projetos, passando pela construção e chegando à operação do empreendimento. Segundo Tokudome (2005), o conceito de sustentabilidade é compreendido pelo uso responsável de recursos naturais, em atendimento a uma demanda atual, no entanto sem comprometimento das próximas gerações. Tal conceito não deve ser limitado, devendo ser considerado no aspecto social, ambiental e econômico.

Para evitar a subjetividade do conceito de sustentabilidade, a Associação Brasileira da Construção Industrializada de Concreto (ABCIC) criou, em 2003, o Selo de Excelência ABCIC de estruturas pré-fabricadas de concreto. Trata-se de um programa de certificação que possui caráter evolutivo – níveis I, II e III -, que tem por referência as normas técnicas da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas), normas ISO 9001 e 14001, as NR-18 e NR-9 de segurança e saúde ocupacional na construção civil e programas internacionais de certificação, como o PCI Plant Certification, do Instituto de Pré-Fabricado Americano. O nível III do programa de certificação da ABCIC engloba assuntos relacionados ao meio ambiente, sustentabilidade e aspectos sociais, provando que a empresa que recebe este nível de certificação utiliza os recursos de forma racional, cumprindo efetivamente os requisitos, estabelece medidas de controle de impacto no quesito de consumo de água, energia e na destinação dos resíduos de qualquer natureza (Doniak, 2014).

Segundo Held (2019), a reciclagem do concreto, além de reduzir o acúmulo desse material nos aterros, pode criar um fluxo de receita adicional para os negócios da empresa fabricante que adota essa logística reversa. Em 2010, a StructureCast, fabricante de concreto pré-moldado localizado na Califórnia, inaugurou uma planta de britagem e peneiramento de quatro acres para reciclar concreto. Desde a abertura do centro de reciclagem de concreto, aproximadamente 10.000 toneladas de concreto são reciclados todos os meses. De acordo com o presidente e proprietário da StructureCast, há um potencial para transformar desperdício em lucro, mesmo que não seja um lucro tão elevado. O sucesso do centro de reciclagem ocorreu através da negociação com usinas de concreto, que tinham dificuldades de se livrar do excesso de material e concordaram em pagar para dispor seus resíduos no centro de reciclagem da StructureCast. Além disso, foi crucial outra parceria com uma empresa de pavimentação local, que compra a maior parte do material reciclado. Inicialmente, uma das maiores despesas no estabelecimento do centro de reciclagem do concreto é a compra de equipamentos (trator carregador frontal, triturador portátil com capacidade de triagem, transportadores de empilhamento, escavadeiras – pelo

menos uma com ponta do triturador de impacto – e um caminhão-pipa), conforme demonstra a Figura 2.

**Figura 2. Processo de reciclagem do concreto pré-moldado**



Fonte: <https://precast.org/2019/07/dont-waste-a-great-opportunity-recycle/>

Um triturador de esteira móvel pode ser a melhor maneira de se iniciar no setor da reciclagem, pois tem um custo relativamente baixo e pode carregar e esmagar ao mesmo tempo. Um processo de reciclagem completo inclui cinco etapas: triagem, pré-seleção, classificação, eliminação de contaminantes e trituração. No entanto, esse processo depende do produto final, pois conforme a menor exigência e garantia de não contaminação do concreto, a reciclagem necessita passar apenas pelas etapas de triagem e trituração. O concreto reciclado tem uma segunda vida útil que o qualifica para diversos usos, dependendo do tamanho, forma e como é processado. Os usos mais comuns do concreto reciclado são (HELD, 2019):

- Base rodoviária para novas rodovias ou pistas de aeroportos
- Pavimentação para calçadas e passarelas
- Fundações de edifícios
- Pedras para cobertura de paisagismos
- Enchimento para gaiolas de arame (muro de gabião) usadas como estrutura de controle de erosão ou muro de contenção

- Agregado para fabricação de novos concretos

Asam (2007) faz uma contribuição descrevendo o desenvolvimento de estudos, que ocorrem desde 1998, na área de reciclagem de peças de construção a partir de painéis pré-fabricados de concreto desmontados de construção habitacionais da Alemanha. A reciclagem de unidades construtivas é apresentada como uma alternativa para uma construção que visa proteger recursos e economizar energia. Materiais de construção de longa vida, que demandam muita energia, como concretos, podem ser mantidos durante todo o ciclo de vida por meio da reciclagem e o pré-requisito para a desmontagem das construções sustenta-se na pré-fabricação de unidades construtivas.

A economia de custos na aplicação de unidades construtivas pré-fabricadas recicladas oferece um complemento lucrativo aos novos métodos de construção. Paralelamente à logística, os planos de construção e remontagem devem ser combinados e regulamentos legais de construção e aspectos financeiros devem ser aprimorados. Nesse sentido, também é necessário que o Estado assuma um papel de liderança. Por meio do apoio não negligenciável dos planos de reconstrução, por exemplo, existe a possibilidade de motivar as empresas de habitação a se ocuparem com a possibilidade de reutilização de unidades prediais, incentivando a desmontagem e reutilização contrariamente ao interesse do uso de métodos convencionais de demolição. Dessa forma, métodos de construção capazes de serem desmontados e reutilizados devem ser desenvolvidos e aplicados no futuro (ASAM, 2007).

### **2.3 VANTAGENS E DESVANTAGENS DA PRÉ-FABRICAÇÃO**

Por meio da industrialização e a pré-fabricação pode-se atingir desde a racionalização dos recursos à melhoria da qualidade do produto. Na construção civil, a utilização deste processo busca como resultado a redução do prazo de execução, o uso de mão-de-obra especializada, maior precisão geométrica, redução de perdas de materiais, maior controle de qualidade e maior controle de custos.

No ambiente fabril há um maior controle de qualidade dos materiais utilizados na produção quando comparado ao canteiro de obras. Além disso, o armazenamento também é uma desvantagem no canteiro de obras, tendo em vista que, mesmo em construtoras com maior preocupação com o local e modo de estocagem dos materiais, ainda assim há um controle menos rigoroso da qualidade dos materiais utilizados, que é intrínseco aos processos convencionais (LEAL et al./ABDI,2015 p.62).

De acordo com Ishikawa (2016), os pré-fabricados de concreto são muito relevantes para o setor da construção civil, pois não é mais uma solução focada para nichos de mercado como era no passado. Atualmente, com implementação de avançadas tecnologias de concreto e de produção, o pré-fabricado tem ampliado sua presença para a maioria dos segmentos da construção civil, incorporando conceitos de garantia de qualidade, de velocidade de construção e previsibilidade de custos. Além disso, a construção pré-fabricada leva em consideração as normas técnicas específicas aplicáveis ao setor.

Os elementos pré-moldados protendidos são produtos feitos nas fábricas, com repetição e padronização, com processo de fabricação racional e eficiente, operários especializados e custo mais baixo de mão de obra por m<sup>2</sup> como resultado de produção automatizada. De acordo com Acker (2002), a padronização é um fator importante no processo de pré-fabricação, pois permite a repetição e experiência, resultando em custos mais baixos, melhor qualidade e confiabilidade, assim como execução mais rápida. O desempenho e a durabilidade estrutural também são aumentados por meio do projeto e equipamentos modernos de fabricação. Em comparação com estrutura metálica, o concreto pré-moldado possui a vantagem de não necessitar de proteção maior contra incêndios ou corrosão.

O sistema construtivo pré-fabricado requer (com maior intensidade do que os sistemas convencionais) um planejamento do projeto, os detalhes executivos típicos, como interfaces com demais subsistemas da obra, detalhes de fixação junto à estrutura, ancoragens, vedações internas e as tubulações hidráulicas que possam passar pelo painel. O projeto de concreto pré-fabricado pode ser considerado mais exigente em comparação sistema moldado no local, pois, no primeiro caso, devem ser projetados para as fases de fabricação, transportes e montagem.

O sistema pré-fabricado se adapta muito bem às novas tecnologias, como o uso do BIM (Building Information Modeling), no qual toda estrutura pode ser modelada com a ferramenta BIM, auxiliando no controle da execução e instalação, além de possibilitar o controle sobre todo o cronograma da obra. A redução do prazo de execução interfere diretamente no fluxo de caixa da obra, pois a diminuição do tempo da obra causa uma redução nos custos fixos, por exemplo, gastos com salários e aluguéis (LEAL et al./ABDI,2015 p.62).

Para Addor (2016), os sistemas pré-fabricados necessitam de mais tempo gasto no projeto e menos tempo na montagem e, tal peculiaridade é algo positivo, pois o projeto deverá ser extremamente detalhado e nada poderá ser postergado para ser solucionado depois na obra. Tudo deverá ser pensado com antecedência. Outra vantagem é que,

enquanto são feitas as fundações, as peças pré-moldadas já estão sendo produzidas. O canteiro de obras é mais limpo, pois não há escoramentos ou fôrmas de madeira.

Segundo Porto (2010) apud Duarte; Elmir; Pitol (2017), atualmente, uma desvantagem do sistema construtivo em concreto pré-moldado é a existência de poucas empresas especializadas em concreto pré-moldado e com uma concentração maior em grandes municípios, fato este que muitas vezes inviabiliza o transporte das peças por longas distâncias.

De forma resumida, as vantagens do uso de sistemas pré-fabricados de concreto são:

- Permite seções transversais com melhor eficiência mecânica
- Maior velocidade construtiva;
- Uso racional dos recursos;
- Menor impacto ambiental;
- Maior resistência à propagação do fogo;
- Otimização da gestão de obras;
- Previsibilidade de custos;
- Maior qualidade e desempenho do produto;
- Maior durabilidade.

Algumas das propostas para resolver os desafios do setor do concreto pré-fabricado no Brasil são (CORDEIRO, ABCIC 2016):

- Desoneração tributária;
- Formação de cultura voltada para a contratação ou participação de processos licitatórios em sistemas industrializados;
- Apoio à academia para promover o desenvolvimento da atuação do ensino sobre o concreto pré-moldado nas universidades (capacitação técnica).

Algumas desvantagens de implantação do concreto pré-fabricado:

- Necessidade de maior espaço no canteiro para acesso, armazenamento e logística dos elementos;
- Necessidade de mão de obra especializada disponível na aplicação do sistema e nas possíveis manutenções durante a vida útil.

- Necessidade de equipamentos de médio/grande porte (guindastes) para levantar os elementos estruturais.
- Empresas de pré-fabricados de concreto estão concentradas nas regiões sul e sudeste do Brasil.

## **2.4 GESTÃO DE PROJETOS DE SISTEMAS PRÉ-FABRICADOS**

### ***2.4.1 GESTÃO DE PROJETOS NA VISÃO DA EMPRESA FABRICANTE***

A metodologia de concepção e produção dos sistemas construtivos industrializados é a do sistema fabril, na qual elementos dos sistemas construtivos são produzidos em fábrica e transportados à obra. Assim, há uma participação direta de projetistas e organizações desde a concepção do produto, de modo a reduzir os problemas de produção dos elementos estruturais e de incompatibilidade na montagem em obra (LEAL et al./ABDI,2015 p.42).

Na perspectiva da empresa fabricante de painéis de concreto pré-moldados, o projeto de novos produtos deve ser gerenciado com eficiência e seguir uma metodologia coerente para que se possam alcançar os objetivos de sucesso da empresa, que é medido por sua lucratividade. A definição de projeto no sentido apresentado desse contexto refere-se ao conjunto de fases, etapas e atividades executadas para a concepção, o desenvolvimento, a implantação, a certificação e a comercialização de produtos.

Segundo Madureira (2010, p.18), além de conduzir metodicamente os projetos, a empresa deve certificar os produtos, de forma a garantir que esses atendam aos requisitos necessários para a satisfação dos clientes. O lançamento de produtos com deficiências funcionais e operacionais, muitas vezes, é consequência do comportamento de buscar a redução de prazo dos projetos com a não execução de etapas importantes antes de se lançar tais produtos no mercado.

Deve-se computar, além disso, o prejuízo causado na imagem da empresa no mercado, ou seja, são custos totais superiores ao valor aparentemente economizado com antecipação do lançamento do produto para as vendas.

As fases de um projeto não são sequenciais e isoladas entre si, pelo contrário, são executadas com a simultaneidade possível. De acordo com Madureira (2010, p.19), as fases de um projeto de um novo produto são:

- Planejamento do projeto
- Estudo de viabilidade

- Projeto básico
- Projeto executivo
- Implantação da fabricação
- Comercialização e acompanhamento

Na fase de planejamento do projeto serão definidos os objetivos para o programa de projetos, como por exemplo, as necessidades, funções e atributos do produto, qual o mercado que será destinado, prazo para implantação, ciclo de vida, recursos para o desenvolvimento, investimentos na implantação, custos de fabricação e lucratividade global desejada para o programa.

De acordo com LEAL et al (2015 p.42), tanto no estudo prévio de viabilidade quanto na orçamentação, deve-se considerar que por se tratar de um sistema fabril, os sistemas de concreto pré-moldado são comercializados como produtos e não como serviços e, sendo assim, são aplicadas tributações sobre os elementos estruturais produzidos, como por exemplo, o imposto sobre operações relativas à circulação de mercadorias – ICMS e o imposto sobre produtos industrializados – IPI.

O estudo de viabilidade tem a função de selecionar as soluções possíveis que são viáveis no aspecto técnico, econômico e financeiro, ou seja, permite analisar tais critérios sobre as soluções que atendem aos objetivos e aos requisitos técnicos estabelecidos na fase de planejamento do projeto.

Com a escolha da melhor solução entre as soluções viáveis, ocorrerá a revisão do planejamento do projeto, submetendo os modelos do produto a estudos e análises técnicas para quantificar as suas principais características. O projeto básico do produto se define com a otimização dessas características.

Na fase de projeto executivo ocorrerá a definição do produto, como a sua composição, as dimensões, os materiais e os acabamentos de todos os conjuntos, componentes e peças. São realizados testes de avaliação do produto, através da construção dos protótipos.

Já na fase de implantação da fabricação, os processos de todas as atividades necessárias para a produção do produto serão definidos, por exemplo o projeto dos processos, de moldes e ferramentas, a especificação e a relação de equipamentos e instalações necessárias e o sistema de qualidade. Antes de se autorizar a produção em série, é necessária a produção de um lote piloto para certificar todo o processo produtivo.

O projeto é finalizado com a fase de comercialização, e a partir dessa fase, os resultados do projeto irão ser apresentados e revelarão o sucesso (ou não) ao longo do seu

ciclo de vida. A comercialização do produto exige um plano de vendas e o acompanhamento do desempenho do produto no mercado.

Simulando a aplicação dessa metodologia numa empresa fabricante de peças em concreto pré-moldado, a qual tenha como objetivo o desenvolvimento de um produto que, hipoteticamente, permitiria introduzi-la no mercado de construção de reservatórios, um cenário possível seria:

✓ **Planejamento do projeto:** o objetivo do projeto seria o fornecimento de painéis pré-fabricados de concreto para a execução de reservatórios circulares ou retangulares, com uma variedade de volumes de reservação, atendendo às necessidades do cliente desde a concepção até a montagem do produto, inserindo-se num mercado ainda pouco explorado no Brasil. Os clientes potenciais seriam as empreiteiras ou consórcios de construtoras desse ramo da infraestrutura, as companhias prestadoras de serviços públicos de saneamento básico e as indústrias nos seus variados segmentos (reservatórios para instalações industriais).

O produto e seus componentes (painéis de concreto pré-moldado) devem apresentar como atributos, necessidades e funções a facilidade de transporte, como peso relativamente baixo e dimensões compatíveis com os modais utilizados no país, principalmente o rodoviário. A ligação entre os painéis deve seguir requisitos de norma e ainda permitir a rapidez da execução no local. Os painéis devem apresentar características como estanqueidade, cobrimento adequado da armadura, não apresentar nichos (vazios) na superfície do concreto, não ser composto por produtos que possam contaminar a água potável e ter boa durabilidade diante da agressividade ambiental (a água potável pode conter o cloro residual devido ao processo de tratamento da água bruta), rapidez na montagem do reservatório com garantia da saúde e segurança do trabalho, baixa ocorrência de manutenção na estrutura, entre outros atributos e necessidades a serem avaliadas pelos clientes.

Com o estabelecimento dos objetivos (inclusive com relação à lucratividade da empresa) e dos requisitos técnicos, são geradas as soluções possíveis, ou seja, nesse caso os tipos de painéis de concreto pré-moldado que poderiam ser utilizados com a finalidade de se construir um reservatório (painéis de parede dupla, painéis de parede maciça ou outros).

**Estudo de viabilidade:** serão realizadas as análises para avaliar a viabilidade técnica, econômica e financeira das soluções possíveis, selecionando no final do estudo somente as soluções que demonstrarem viabilidade nos três quesitos. No exemplo da empresa de concreto pré-moldado, poderia ter como resultado somente os painéis de parede maciça e os painéis de parede dupla com viabilidade, logo, apenas esses iriam prosseguir no projeto.

- ✓ **Projeto básico:** supondo que os painéis maciços de concreto pré-moldados tenham sido escolhidos como a melhor entre as soluções viáveis, então o projeto básico será desenvolvido para aperfeiçoar as características desses painéis.
- ✓ **Projeto executivo:** o projeto definitivo do reservatório apoiado utilizando painéis maciços de concreto pré-moldado seria definido nessa fase. A definição da sequência de execução, os detalhamentos construtivos das ligações entre os painéis, a caracterização dos materiais a serem utilizados, a sequência de içamento e montagem dos painéis são exemplos de resultados dessa fase.
- ✓ **Implantação da fabricação:** nessa fase são desenvolvidas as atividades necessárias para a fabricação dos painéis, como a definição da fôrma que será utilizada na fabricação das peças de concreto pré-moldado, as dimensões do pátio de produção, a logística de suprimentos, os equipamentos e ferramentas a utilizar, o planejamento da sequência de produção, etc. Antes de se iniciar a produção em larga escala, é necessário produzir um lote piloto para permitir certificar todo o processo produtivo.
- ✓ **Comercialização e acompanhamento:** o marketing e a divulgação do produto, atendimento de pedidos dos clientes, apresentação das qualidades da utilização do sistema construtivo racionalizado aos potenciais clientes, as formas de distribuição do produto e o acompanhamento do seu desempenho no mercado.

A análise do projeto de pesquisa e desenvolvimento do produto pelo fabricante não é o foco desse trabalho, no entanto, a metodologia de gestão de projetos apresentada segue recomendação do Project Management Body of Knowledge- PMBOK, ou, em português, Guia do Conhecimento em Gerenciamento de Projetos. Esse guia é um compilado das melhores práticas em gestão de projetos elaborado pelo PMI – Project Management Institute, ou seja, é essencial para as empresas que pretendem criar e inserir qualquer produto no mercado, utilizando ferramentas de planejamento desde a concepção do produto, o seu ciclo de vida, avaliando o histórico do mercado, as necessidades dos potenciais clientes, quem são seus concorrentes, entre outros fatores que são primordiais para a sobrevivência do produto e da marca.

Avaliando-se o reservatório como um produto a ser consumido por clientes (empresas de saneamento básico e indústrias), tal produto somente será atrativo se o mesmo possuir atributos que atendam às necessidades, expectativas e exigências do cliente.

Com o objetivo de se distanciar da subjetividade intrínseca ao processo de avaliação de satisfação dos clientes, a partir de 1970, a indústria japonesa criou um método eficiente no contexto da Qualidade Total, tal método é denominado de Quality Function Deployment –

QFD, ou, em português, Desdobramento Funcional da Qualidade (MADUREIRA, 2010, p.30).

Na busca da satisfação dos clientes, os tópicos principais do QFD são:

- Obter, interpretar e classificar as necessidades e exigências do cliente;
- Exprimir tecnicamente os requisitos funcionais, operacionais e dimensionais correspondentes;
- Projetar e otimizar as soluções e aperfeiçoamentos do produto capazes de atender às especificações técnicas;
- Construir protótipos, testar e certificar o produto;
- Definir, implantar e capacitar os processos de fabricação;
- Implantar um Sistema de Qualidade Total;
- Acompanhar o desempenho do produto no mercado.

É importante lembrar que algumas qualidades do produto podem não ser avaliadas pelo consumidor, no entanto devem ser incorporadas. É o caso da segurança estrutural e do impacto ambiental relacionado ao processo de construção do reservatório.

#### **2.4.2 GESTÃO DE PROJETOS NA VISÃO DO CLIENTE**

Esta pesquisa tem como finalidade estudar a viabilidade da aplicação de reservatórios apoiados, enterrados ou semienterrados em painéis de concreto pré-moldado, porém com foco no ponto de vista do cliente da fábrica de pré-moldados, ou seja, na perspectiva de quem analisa as opções de sistemas construtivos para seu projeto e deve fazer a escolha entre as soluções possíveis e disponíveis no mercado para execução da obra.

Antes de se estudar a viabilidade da utilização para cada sistema construtivo, no caso para a construção de um reservatório, é interessante destacar os pontos principais para a gestão de projetos na visão do cliente (contratante).

Atkinson (1999 apud Duarte, 2017) salienta que entre os diferentes critérios de sucesso para gestão de projetos, destaca-se o modelo da Tripla Restrição, também conhecido como “Triângulo de Ferro”: Qualquer desvio dessas variáveis do triângulo é considerado como sinal negativo que devem ser evitados e corrigidos. Vale destacar que, frequentemente, a restrição conhecida como “qualidade” é substituída ou acrescentada pelo “escopo”, tendo em vista que um critério de medição do sucesso da gestão de projetos é a mínima alteração do seu escopo durante seu desenvolvimento.

A definição do escopo do objeto que será contratado é uma importante etapa inicial, que é o processo de determinação do programa de necessidades. O escopo do produto irá definir quais funcionalidades serão fornecidas, até mesmo porque nem todos os requisitos e funcionalidades possuem a mesma prioridade.

O controle dos custos do projeto visa garantir que a equipe esteja executando o projeto em conformidade com o orçamento. É importante para que o gerente de projetos tenha o controle se houve alguma alteração no projeto que possa alterar o orçamento inicial; se essa alteração foi aprovada e gerou um novo orçamento; se o projeto está conforme o orçamento aprovado; se a alteração dos insumos do projeto ocorreu devido mudanças de preço ou quantidades; se o projeto finalizará conforme o orçamento e se alguma atitude está sendo tomada para que o orçamento aprovado não seja extrapolado (BARBOSA et al., 2014).

A seguir são apresentados alguns aspectos relevantes sobre escopo, prazo e custo na ótica da contratação do sistema construtivo para obra de reservatórios:

- **Escopo do objeto**

Supondo uma situação em que uma empresa de saneamento seja o cliente e necessite construir um reservatório para o armazenamento de água potável, então essa empresa irá elaborar, inicialmente, uma definição prévia do objeto a ser contratado. Junto a essa definição serão acrescentados os requisitos e funcionalidades que são indispensáveis para que o objeto do contrato atenda às expectativas e necessidades do cliente.

Essa empresa necessita da construção de um reservatório com volume dimensionado em projeto para atender uma população com abastecimento público de água potável. Além disso, o recipiente deve ser estanque, ou seja, deve ser vedado e impedir a passagem de qualquer líquido. Para que isso seja possível, a estrutura desse reservatório não pode apresentar fissuras na sua superfície, muito menos aberturas que permitam a passagem do líquido.

A água tratada, que é armazenada nesse reservatório, não pode ser contaminada por qualquer produto, substância ou reação que, eventualmente, possa ocorrer com a utilização de materiais inapropriados na composição estrutural do mesmo. Tal estrutura do reservatório será exposta às variações de temperatura, umidade, cloro residual do tratamento da água e outros compostos presentes na água.

Outros fatores devem ser levados em consideração, por exemplo, a vida útil do produto e de seus componentes. Geralmente, as contratantes não realizam essa comparação, porém é importante saber qual sistema construtivo apresenta maior durabilidade da estrutura, com menor ocorrência de manutenções corretivas, além do preço do produto.

- **Prazo de execução**

Diferentes sistemas construtivos possuem cada um deles uma característica intrínseca de execução. O sistema construtivo pode ser tradicional, modulado, racionalizado

ou industrializado. Para uma mesma quantidade de produção, seja em unidades de área, volume ou peso, podem ser alterados as outras variáveis inversamente proporcionais que são recursos e duração, ou seja, para um dado volume de reservatório, caso seja necessário reduzir a duração (prazo de execução), deverão ser aumentados os recursos utilizados (humanos e/ou financeiros), caso não seja alterada a produtividade.

Os sistemas construtivos tradicionais são caracterizados pela utilização de técnicas ou métodos convencionais, nos quais o prazo de execução possui uma estreita relação com a quantidade de mão de obra (recursos humanos) aplicada no processo construtivo, seja para execução de fôrmas e escoramentos (madeira ou metálico) para pilares, vigas e lajes, montagem da armação da estrutura, na elevação de alvenarias, etc. No entanto, apesar da redução da duração devido ao maior efetivo de mão de obra utilizada, esse aumento de recursos pode não significar aumento de produtividade, e sim, apenas uma redução no prazo de entrega do produto e respectivo aumento de custos de produção. Nesse sistema construtivo, devem-se considerar os tempos de espera de recebimento e armazenamento de materiais e o seu transporte interno, além da cura dos elementos de concreto e argamassa.

Em sistemas construtivos racionalizados ou industrializados, o uso de ferramentas, máquinas e tecnologias avançadas possibilitam a redução do prazo de execução, no entanto há uma tendência de maiores investimentos para aquisição desses produtos. Essa alternativa de utilizar sistemas construtivos inovadores pode ser uma ótima solução para empresas que possuem uma grande possibilidade de captação de recursos financeiros e que percebem a importância da construção dos reservatórios com maior controle de qualidade, menores custos de manutenção e, principalmente, necessitam de curtos prazos para a conclusão do empreendimento. A concepção do sistema industrializado deve ser elaborada com a finalidade de reduzir ao máximo os serviços de canteiro de obra, ou seja, o serviço preponderante do canteiro será o de montagem.

- **Controle dos custos**

Alguns projetos já começam com um orçamento predefinido, após ser aprovado por um estudo de viabilidade, e seu escopo e os recursos são adequados conforme esse orçamento. Outros projetos desenvolvem o custo necessário para sua realização durante seu processo de planejamento, conforme ocorre uma maior definição sobre o escopo. Com a estimativa de custo dos recursos necessários (humanos, equipamentos, materiais, insumos) para conclusão de cada atividade, será consolidado um orçamento-base para o controle do projeto na sua fase de execução (BARBOSA et al., 2014).

O gestor do projeto deve considerar o custo total do projeto, não somente os custos inerentes à execução, que por vezes é o custo mais visível ou o mais óbvio. Esse custo total

deve englobar desde a fase de projeto, pesquisa e desenvolvimento, custo de execução/ contratação, custos operacionais/ manutenção e, se necessário, o custo de descarte do produto do projeto.

No caso das obras de execução do reservatório, é importante enfatizar que há diferença na gestão de custos do projeto conforme cada sistema construtivo. O sucesso do projeto está estritamente ligado a essa gestão de custos, tanto pelo contratante quanto do contratado, pois durante a execução da obra, se os custos estimados forem extrapolados de forma exagerada, corre-se o risco elevado de não ser concluído o objeto do contrato.

Segundo Barbosa et al (2014), há uma quantidade elevada de projetos que não alcançam seu objetivo de estar em conformidade com o prazo e com os custos planejados.

O uso de sistemas construtivos convencionais torna a gestão de prazos e custos mais complexa, devido a diversos fatores, como:

- A maior probabilidade de ocorrer atrasos (alterando os custos previstos) devido à quantidade de etapas de execução no canteiro de obras;
- O levantamento prévio dos custos com mão de obra e materiais pode estar subestimado ou podem ocorrer maiores desperdícios de materiais, ou ainda a produtividade da mão de obra pode estar muito abaixo do esperado.
- Estrutura Analítica do Projeto (divisões das tarefas) é maior e resulta em maiores incertezas e interdependências entre as equipes. Exemplo: Uma equipe de carpintaria pode estar disponível, porém a equipe de armação ainda não finalizou o serviço e não liberou frente de atividade para carpintaria.
- A estrutura é executada no canteiro de obras e, para que isso ocorra, os diferentes fornecedores de materiais e equipamentos devem entregar os insumos dentro do prazo previsto ou prazo exato que serão necessários para execução. Corre-se o risco de deixar uma equipe de mão de obra ociosa por falta de insumos.
- Retrabalhos podem ser recorrentes devido às falhas de execução, condições climáticas adversas, uso de materiais fora do padrão de qualidade, entre outras causas. Esses retrabalhos geram custos adicionais e atrasos no cronograma de execução da obra.

A construção de um reservatório é uma tarefa específica e, por isso, as empresas de saneamento básico ou indústrias em geral são condicionadas a contratar uma empresa especializada em construção para executar o objeto, sendo estas denominadas aqui como contratantes. Tais empresas de saneamento contratam esse serviço para que obtenham menores custos do que se tivesse que executar por conta própria. Nesse caso, o contratante deverá elaborar um documento de contrato, que será o instrumento que rege todas as relações entre as partes envolvidas.

Limmer (1997) traz o conceito de que:

[...] um contrato é o registro formal das vontades expressas por duas ou mais partes, com a finalidade de regular uma atividade qualquer, como a prestação de um serviço, o fornecimento de um determinado bem ou a execução de uma determinada construção, na qual são fornecidos serviços e bens, constituídos estes por materiais e equipamentos. O contrato é firmado livremente entre as partes e representa o coroamento de um processo formal de negociação que, normalmente se inicia pela licitação.

Segundo LEAL et al. (2015, p.41), as etapas do processo de contratação do sistema construtivo industrializado podem ser estruturadas da seguinte maneira:

- 01- Planejamento Preliminar- análise de viabilidade
- 02- Contratação
- 03- Planejamento Executivo
- 04- Fabricação
- 05- Montagem
- 06- Monitoramento
- 07- Recebimento

Na etapa de **planejamento preliminar** deve ser realizada uma análise prévia dos aspectos técnico-econômicos, com base nas informações gerais coletadas sobre os componentes, elementos ou sistema. Antes de se elaborar os projetos técnicos, deve-se definir a tecnologia de construção.

De acordo com Leal et al. (2015, p.45), nessa análise de viabilidade prévia serão considerados os aspectos técnicos (aplicabilidade do sistema a ser especificado e integração com demais sistemas) e econômicos (vantagens competitivas de custos e prazos). Necessita-se, nessa etapa, da existência de um pré-projeto do sistema construtivo da obra a ser contratada, com o objetivo de se verificar a compatibilidade com a demanda existente.

As ações que devem ser realizadas nessa fase de planejamento preliminar são a definição e caracterização do objeto, análise do pré-projeto do sistema a ser utilizado, análise da localidade (terreno, topografia, logísticas, materiais, sistemas construtivos e mão de obra disponível), análise dos critérios mínimos de desempenho técnico do sistema, análise preliminar dos custos, prazos e vantagens e desvantagens das alternativas. Além disso, deve-se considerar a tecnologia a ser utilizada e o fluxo de caixa esperado (LEAL et al. 2015, p.45).

As informações necessárias para a análise de viabilidade prévia são relacionadas ao desempenho técnico, econômico e ambiental, bem como o pré-projeto, as especificações,

orçamento e cronograma. No caso do pré-fabricado, deve-se solicitar a garantia e prazos de garantia do fabricante dos componentes, elemento ou sistema construtivo contra defeitos sistêmicos, além de serem fornecidos documentos sobre os responsáveis técnicos pelos projetos, produção e execução (montagem), um roteiro de manutenção preventiva e até um compromisso de realização da Avaliação Técnica em Uso, após determinado prazo de utilização (LEAL et al. 2015, p.46).

Para os sistemas construtivos industrializados, o projeto possui uma maior relevância em comparação a outros sistemas, pois é responsável por definir todo o processo de produção e construção dos elementos. Por esse motivo, há uma diferença no seu processo de contratação em relação a um sistema convencional, pois enquanto neste último existem dois tipos de contratos, um para o projeto e outro para execução, na construção industrializada o contrato norteia essas duas etapas, sendo ainda necessário um contrato para a montagem dos elementos.

Independente da finalidade do reservatório, seja para conter água, tratamento de efluente doméstico ou de processo industrial, o processo de contratação da construtora deve seguir um rito, de forma a não gerar um prejuízo para o contratante, que, em alguns casos, pode ter contribuído para tal resultado. Para se evitar falhas na contratação, o **gerenciamento das aquisições/ contratações** é uma metodologia que pode ser utilizada pelo contratante e visa:

- Aumentar a eficiência nas aquisições;
- Fazer o melhor uso dos recursos internos e externos;
- Acelerar o cronograma;
- Melhorar os custos – procurar a melhor forma de obter o melhor retorno sobre o investimento;
- Reduzir os riscos relacionados.

O **planejamento executivo**, que engloba projeto, fabricação, montagem, monitoramento e recebimento da obra é uma fase muito relevante, pois é parte de integração entre diferentes etapas do processo construtivo e que resultará na concretização do objeto final, que é a obra.

Para Mattos (2010), o planejamento de uma obra é uma ferramenta de extrema importância para o gestor, que irá adquirir alto grau de conhecimento do empreendimento e isso lhe permitirá ser mais eficiente na condução dos trabalhos. A falha no planejamento pode ter consequências indesejadas para uma obra, e também para a empresa. Há muitos exemplos de frustração de prazos, estouros de orçamento, atrasos injustificados e até mesmo litígios judiciais para a recuperação de perdas e danos.

Há construtoras de diferentes estruturas atuantes no mercado, enquanto algumas se esforçam para elaborar um planejamento com cronogramas detalhados e aplicar programações de curto prazo (semanais) dos serviços, outras dão total credibilidade somente nas experiências profissionais, crendo que isso é o suficiente para garantir o cumprimento de prazo e do orçamento (MATTOS, 2010).

De acordo com Mattos (2010), um problema comum que ocorre é a equipe desenvolver um planejamento inicial, porém não acompanhá-lo e atualizá-lo frequentemente, de forma que o mesmo torne-se inútil para o gestor. Não existe planejamento sem o controle e esse é um dos maiores erros cometidos pelas empresas.

Atualmente, há muitos estudos e alguns exemplos nacionais de interação entre a gestão de projetos de engenharia e novas tecnologias, como é o caso do Building Information Modeling (BIM) ou, em português, Modelo Virtual da Construção. Essa ferramenta apresenta como benefício uma melhor visualização da construção visual, que possibilita uma melhoria na produtividade e na redução do prazo de entrega e custos da obra. Com a utilização do BIM, o gestor e demais profissionais envolvidos no projeto conseguem enxergar as interferências que surgirão, os prazos determinados e as logísticas, pois antes mesmo de iniciar a construção física, já foi simulada a construção virtual em 3D. Basicamente, as dimensões do BIM são: 3D com desenhos em três dimensões e atribuição de informações técnicas; 4D que acrescenta o planejamento à modelagem anterior, conforme o cronograma estabelecido; 5D que adiciona o orçamento e o controle de custo; 6D é a operação da obra e 7D em diante acrescenta o viés da sustentabilidade (SANCHES, 2017).

Segundo estudo da ABCIC (2017), a maioria das empresas fabricantes de concreto pré-moldado (53,3%) conhece e já implantou o BIM ou pretende fazê-lo em curto prazo. Com a utilização do modelo virtual de construção para o sistema de concreto pré-moldado é possível obter elevados índices de detalhes, melhorar a documentação do projeto, planejar e controlar a fabricação e identificar possíveis problemas antes de iniciar a construção.

## **2.5 ESTUDO DE VIABILIDADE**

Segundo Madureira (2010, p. 94), o resultado de um projeto deve ser um produto que compense economicamente para todos os envolvidos, durante o seu ciclo de vida. Isso significa que deve ser compensador tanto para o fabricante, distribuidor, vendedor, comprador, usuário e até para o recuperador. O produto será vantajoso para todos apenas se o valor agregado em cada uma das fases do ciclo de produção e consumo – fabricação,

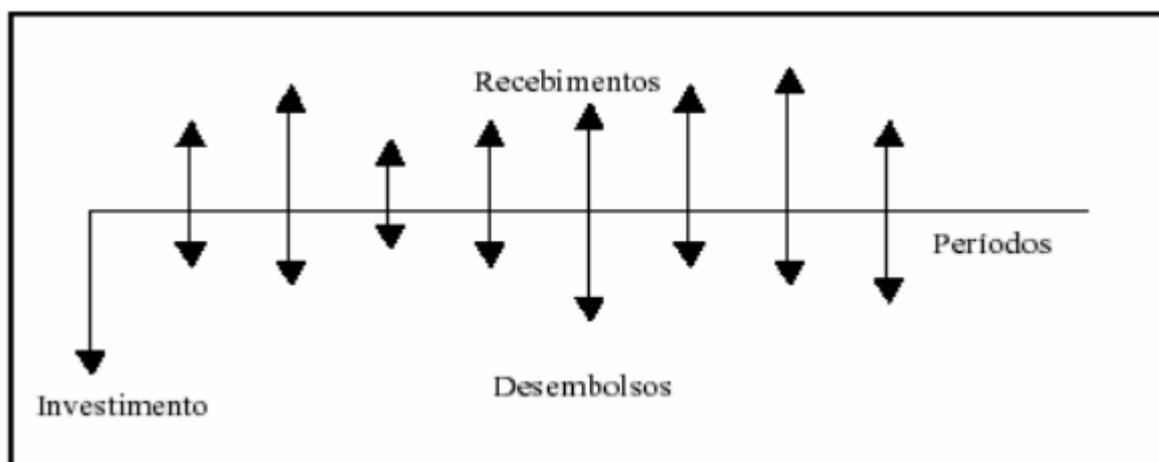
expedição, transporte, compra, uso e descarte – for maior do que o custo necessário para executá-la.

Além disso, é indiscutível que o comprador de bens de produção (equipamentos, instalações, bens ou serviços necessários para a produção de outros bens ou serviços) avalia o produto com grande objetividade, considerando sua produtividade, o custo operacional e de manutenção ao longo da sua vida útil e o seu valor residual. Esse modelo de análise econômica tem como um dos seus critérios a taxa mínima de atratividade de retorno do investimento.

### 2.5.1 SÍNTESE DE MÉTODOS DE ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICO-FINANCEIRA

O fluxo de caixa de um projeto de investimentos deve considerar todas as despesas e receitas nos próximos anos ao longo do seu período de ciclo de vida, assim como apresentado na Figura 3.

Figura 3. Diagrama de Fluxo de Caixa genérico



Fonte: Pamplona e Montevechi (1995)

Conforme Gitman (2015), o método de análise econômico-financeiro denominado de Valor Presente Líquido (VPL) implica que, num fluxo de caixa de projeto, se o valor presente das entradas for superior ao valor presente das retiradas, avaliados em relação ao custo de oportunidade do capital para a companhia ou taxa mínima de atratividade (TMA), o empreendimento pode ser aceito. Portanto, nesse método, se o valor do VPL for positivo, o projeto pode ser aceito; se o valor do VPL for igual a zero, é indiferente aceitar ou rejeitar o projeto e se o valor do VPL for negativo, então o projeto deve ser rejeitado.

Outro método de avaliação econômico-financeira utilizado é o da Taxa Interna de Retorno (TIR), que se trata de uma taxa de dedução hipotética que, quando aplicada a um fluxo de caixa, faz com que os valores das despesas (trazidas a valor presente) sejam iguais aos valores dos retornos do investimento (a valor presente). Um projeto de investimento

será considerado viável, conforme este critério, se e somente se, resultar numa TIR igual ou superior ao custo de oportunidade dos recursos necessários para sua implantação. Quanto maior a TIR, maior a atratividade do projeto (HAZZAN, 2014).

A taxa mínima de atratividade (TMA) para uma empresa concessionária de saneamento básico é utilizada como sendo a *Weighted Average Cost of Capital (WACC)* ou custo médio ponderado de capital. Segundo Neto; Lima; Araújo (2008), as condições com que a empresa capta seus recursos financeiros no mercado de capitais estabelece esse custo de capital. O custo médio ponderado de capital (WACC) pode ser interpretado como o retorno mínimo exigido na avaliação econômico-financeira de fluxos de caixa de investimentos e seu valor é dado em porcentagem (%), sendo uma variável característica de cada empresa.

Os custos das várias fontes de capital componentes do WACC são basicamente oriundos do capital próprio da empresa e do capital de terceiros. Segundo Pratt (1998), o custo de capital é formado pela comparabilidade entre os retornos disponíveis no mercado, sendo o risco seu componente mais importante. Nenhum investidor tomaria a decisão de aplicar seu recurso financeiro em determinado ativo se identificasse outro mais atraente (substituto) e com mesmo grau de risco.

Os dois métodos de estudo de viabilidade econômico-financeira apresentados anteriormente (VPL e TIR) são utilizados para tomada de decisão da empresa entre alternativas diferentes de projetos de investimentos. No entanto, esses métodos pressupõem que, além da diferença nas saídas (despesas) do fluxo de caixa, há também uma diferença nas entradas (receitas) e ainda que o ciclo de vida (vida útil) dos dois fluxos é igual. Por isso, quando as receitas dos fluxos de caixas de diferentes alternativas de projetos são idênticas, independente da alternativa escolhida, ou ainda quando o ciclo de vida dos fluxos de caixas não é igual, há um método de avaliação denominado de Custo Anual Equivalente (CAE).

Botteon (2009) conceitua que o Custo Anual Equivalente é utilizado para comparação entre custos de projetos de investimentos e é definido como o resultado da transformação do fluxo de todos os custos do projeto (aquisição, construção e manutenções) num fluxo anual uniforme.

O Custo Anual Equivalente (CAE) é um método de análise de investimentos, que representa o Valor Presente Líquido (VPL) do projeto de investimento de modo uniformemente distribuído ao longo de sua vida útil, ou seja, calcula-se um valor de custo anual uniforme cujo Valor Presente Líquido seja igual ao VPL dos custos com o projeto (investimento inicial somado aos custos de manutenção), considerando uma taxa de desconto (custo de capital).

Assim, o CAE funciona como um indicador que permite encontrar o custo anual que equivale ao valor presente do fluxo de caixa do projeto, ou seja, demonstra qual deve ser a quantia uniforme a ser investida anualmente durante o ciclo de vida do projeto, que possui um VPL de forma equivalente ao VPL do projeto.

Este tipo de análise econômico-financeira resume-se basicamente na comparação entre os custos anuais das alternativas, sendo escolhida como alternativa de projeto a ser implantada aquela que apresentar o menor Custo Anual Equivalente (CAE), pois será considerado com um potencial de melhor resultado econômico e financeiro.

Embora esse tipo de análise seja muito prático, deve-se atentar que assume, implicitamente, que os projetos de vida mais curtas serão repetidos e seus investimentos iniciais deverão ser aportados a cada novo início de ciclo (antecipação do investimento do projeto de vida útil mais curta em relação ao projeto de vida útil mais longa), o que pode comprometer o caixa da empresa ou necessitar de busca por recursos financeiros com mais frequência.

Os métodos de análise de viabilidade econômico-financeira apresentados carregam riscos implícitos relacionados às premissas adotadas (condições externas e internas da empresa) e aos valores de dados de entrada (ciclo de vida do projeto, custo de oportunidade da empresa, previsão de receitas e despesas, entre outros). Com a finalidade de se avaliar tais riscos, foi desenvolvida a análise de sensibilidade.

Segundo Sanches *et al* (2006), a análise de sensibilidade é utilizada para tratar o problema das incertezas, tendo em vista que a previsão do futuro apresenta-se como um dos maiores desafios do ser humano, e que, por isso, procura criar métodos para indicar tendências para a ocorrência de fatos.

O método tradicional de análise de sensibilidade consiste em mensurar o efeito gerado na rentabilidade de um investimento ou no custo do projeto, ao ser alterado (variado) um dado de entrada, de forma que assim será possível ter uma noção de quais incertezas (variáveis) podem afetar significativamente o resultado da análise e ter um indicador de intensidade com que esse resultado é afetado (SANCHES *et al*, 2006).

### **2.5.2 CONSIDERAÇÃO DE OUTROS ASPECTOS DE VIABILIDADE**

Segundo Terezo (2011) apud Gomes e Lacerda (2014), a tendência é que o mercado consuma, cada vez mais, mercadorias com alto grau de industrialização e pré-fabricação, principalmente devido à melhoria no controle de qualidade, ao maior aproveitamento dos materiais, à diminuição dos desperdícios e à garantia dos prazos de execução da obra, desempenho e durabilidade da edificação.

Jalaei *et al.* (2015) apud Machado *et al* (2018), destaca que é comum que os projetistas da engenharia civil escolham os sistemas construtivos em função de

características conhecidas ou acabam optando por escolher sistemas que já foram utilizados no seus históricos de projetos.

Mahapatra et al.(2012) apud Machado *et al* (2018), afirma que esta prática da construção civil é favorecida em relação de sistemas construtivos alternativos. Os motivos para que isso ocorra são as normas e instituições preestabelecidas, os investimentos em infraestrutura já existentes, o conhecimento técnico consolidado e, também, devido ao grande número de envolvidos no processo (proprietários, projetistas, empreiteiros e fornecedores) que somente atuaram com estes insumos e técnicas.

A escolha dos sistemas construtivos deve basear-se nos aspectos ambientais, econômicos e sociais. Segundo Jadid e Badrah (2012) apud Machado *et al* (2018), a escolha do sistema construtivo está relacionada a vários critérios, sendo avaliado se o mesmo é:

- Durável, com baixos requisitos de manutenção;
- Produzido com recursos naturais e renováveis;
- Acessível e disponível a partir de fabricantes locais;
- Não afeta a qualidade do ar interior e é ambientalmente amigável;
- Não contém compostos tóxicos;
- Adaptável para redistribuição dos espaços internos para atender a um serviço específico;
- Apresenta baixos custos financeiros.

Para a seleção do sistema construtivo mais adequado à situação, devem-se levantar essas informações. Dessa forma, durante a fase de concepção do projeto, é necessário elaborar um banco de dados em parceria com os fornecedores e projetistas que possuem experiência na área e que possam informar com relação aos aspectos supracitados.

Para Jobim et al. (2006) apud Machado *et al* (2018), a escolha pelo sistema construtivo não deve ser baseada somente pelo aspecto técnico, pois deve considerar também o contexto em que o empreendimento está inserido, as exigências dos usuários, os recursos disponíveis, as condições físicas, ambientais e os aspectos que se relacionam ao ajuste dos custos.

A implantação de sistemas construtivos inovadores é um grande desafio, pois deve convencer o meio técnico, o consumidor e os agentes financiadores sobre a segurança da inovação. Deve-se considerar que a escolha do sistema construtivo que será utilizado num empreendimento não se resume apenas em um único critério. Dessa forma, além da análise econômica e financeira, a escolha do sistema construtivo a ser adotado para a construção do reservatório pode considerar outros fatores, como apresentados no Quadro 1:

**Quadro 1. Critérios para escolha do sistema construtivo**

<b>Critérios para escolha do sistema</b>	<b>Particularidades</b>
✓ Gestão do empreendimento	A gestão das etapas de concepção, projeto, planejamento, construção, operação e manutenção podem ser facilitadas de acordo com o sistema construtivo escolhido.
✓ Prazo de execução	Os prazos contratuais das concessões de serviços públicos são monitorados e fiscalizados por agência reguladora dos serviços. Dessa forma, o não atendimento aos prazos pactuados no contrato de concessão pode acarretar em notificações, multas elevadas ou até mesmo a rescisão do contrato.
✓ Arquitetura e Marketing	Reservatórios são obras que ficam aparentes (em alguns casos como monumentos no ambiente urbano) e a empresa pode optar por uma obra com arquitetura moderna como estratégia de marketing.
✓ Impacto ambiental	Economia e redução dos desperdícios de materiais, redução do consumo energético e da emissão de gases.
✓ Disponibilidade de fornecedores na região do empreendimento;	A escassez e a distância do fornecedor pode desestimular o empreendedor a considerar o sistema como uma alternativa.
✓ Durabilidade com desempenho adequado	Sistemas construtivos que se caracterizam por rigorosos controles de qualidade durante sua execução, geralmente apresentam maior ciclo de vida com bom desempenho em uso.
✓ Logística reversa	A capacidade de reciclagem e/ou reutilização dos materiais de construção pode ser visto como uma oportunidade de melhoria nos negócios, assim como pode se adequar às leis/ códigos de construção.
✓ Padronização	Objetos padronizados possibilitam melhor controle operacional e de manutenção, além de não resultar em obras com diferentes níveis de qualidade.

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

### **2.5.3 A VIABILIDADE DE CONTRATOS DE PRESTAÇÃO DE SERVIÇO PÚBLICO DE SANEAMENTO BÁSICO**

O Governo Federal, através da Portaria Nº 557/ 2016, estabeleceu normas de referência para a elaboração de estudos de viabilidade técnica e econômico-financeira (EVTE) de contratos de prestação de serviços públicos de saneamento básico, as quais possuem natureza de orientação, podendo ser adotados outros critérios, desde que sejam tecnicamente justificáveis. A elaboração do EVTE é condição de validade dos contratos que tenham por objeto a prestação de serviços públicos de saneamento básico, sejam contratos de concessão, parcerias público-privadas, contratos de programa ou os regidos pela Lei nº 8.666 (1993).

O EVTE deve possuir um conteúdo mínimo previsto pela portaria, no qual se destaca que os investimentos em obras devem estar sob conta e risco do contratado (empresas prestadoras de serviços públicos de saneamento básico), e a ele deve ser atribuído a responsabilidade pelos projetos de engenharia e a sua execução. Sendo assim, fica evidente que é de grande interesse para a empresa prestadora desse serviço que se amplie a gama de técnicas construtivas e que as mesmas se demonstrem como investimentos viáveis para futuras obras de expansão, melhorias ou manutenção do sistema de abastecimento/tratamento de água e de coleta/tratamento de esgoto sanitário.

A mesma Portaria Nº 557/ 2016 estabelece como requisito que o EVTE tenha como finalidade demonstrar que o modelo de contratação assegure os investimentos necessários e sua oportuna amortização e ainda que o mesmo considere a adequada escala, de forma a aumentar a eficiência econômica e minimizar o impacto no meio ambiente e na saúde humana, sem prejuízo do cumprimento das metas de prestação integral e universal dos serviços. Dessa forma, fica claro que se deve buscar a universalização no atendimento do serviço de saneamento básico, porém com foco na redução do impacto ambiental, que é uma característica dos sistemas construtivos pré-fabricados.

### **2.5.4 A VIABILIDADE DE PROJETOS DE SANEAMENTO**

Além da análise econômico-financeira do contrato de concessão dos serviços de saneamento em sua plenitude, há também a análise prévia da viabilidade técnica, econômico-financeira, social e ambiental dos projetos específicos de ampliação, melhoria ou manutenção dos sistemas de saneamento básico.

De forma simplificada, há uma análise global do contrato de prestação de serviços de saneamento, que avalia a viabilidade econômico-financeira dos investimentos necessários para o sistema, considerando a projeção populacional do município, as despesas de exploração, as receitas tarifárias e indiretas com a prestação dos serviços. Contudo, o setor de saneamento básico possui uma característica peculiar na avaliação de viabilidade de

seus projetos, principalmente pelo caráter social e impacto direto na saúde da população que recebe tais serviços públicos.

Hipoteticamente, um projeto específico de implantação de redes de distribuição de água ou coleta de esgoto, num determinado município, pode não apresentar viabilidade econômico-financeira, porém ao se considerar a prestação do serviço como um todo em um conjunto de municípios, há a viabilidade de continuar a captação, tratamento, reservação e distribuição de água e coleta e tratamento de esgoto para o município deficitário, além do benefício social com a implantação do projeto, já que o saneamento básico está diretamente ligado à qualidade de vida da população e à sustentabilidade ambiental.

No setor do saneamento básico, o que ocorre atualmente, na verdade, é o chamado “subsídio cruzado”, que tem a função de universalização dos serviços de saneamento para indivíduos que, em tese, não teriam condições de arcar com os custos necessários para usufruir os serviços de abastecimento de água e coleta e tratamento de esgoto. Esse subsídio cruzado, também denominado de prestação regionalizada, pode ocorrer entre diferentes municípios, bairros, entre indivíduos (através da tarifa social) e entre categorias de usuários (usuários residenciais devem ter tarifas menores que usuários comerciais e industriais).

O subsídio ocorre devido às despesas, investimentos e receitas serem diferentes para implantação dos sistemas de saneamento básico em cada município (localidade), dependendo da fonte de captação (distância do manancial, por exemplo), da qualidade da água bruta (maior necessidade de recursos para atingir o padrão de potabilidade da água, caso esta esteja contaminada ou com elevadas concentrações de ferro, manganês ou outras substâncias nocivas para consumo humano), relevo da região (necessidade de estações de bombeamento, que eleva o consumo de energia) e outros fatores que aumentem os investimentos.

Se por um lado a prestação regionalizada, ou seja, por blocos de municípios, permite que seja aprovada a escolha pela implantação de um projeto que não apresente viabilidade econômico-financeira, tendo em vista o equilíbrio econômico-financeiro do bloco e o caráter social do projeto, por outro lado, esse fato não pode ser utilizado como justificativa para escolha de projetos que apresentem maiores custos durante seu ciclo de vida, ou seja, não pode ser um motivo para a ineficiência das tomadas de decisões entre alternativas de projetos de saneamento básico, até mesmo porque projetos mais onerosos poderão incidir na tarifa de prestação dos serviços, provocando insatisfação dos clientes ou, no caso de não haver ajuste tarifário aprovado por agência reguladora, pode ocorrer um desequilíbrio financeiro (prejuízos) da empresa concessionária, causando um sucateamento do sistema até o ponto de inviabilizar a continuidade de sua operação e manutenção.

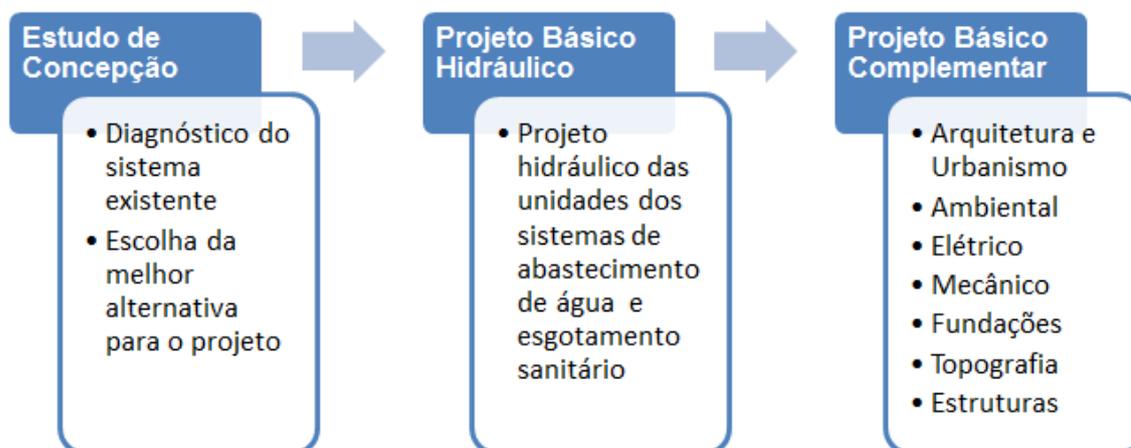
O estudo de viabilidade é de fundamental importância para obras de infraestrutura, como em obras de saneamento básico, uma vez que a maior parte dos aportes financeiros é originada de recursos públicos (FGTS e OGU) e fontes de financiamento de entidades públicas (BNDES e CAIXA ECONÔMICA FEDERAL), que devem ser investidos com eficiência para retornar benefícios à população. O ideal é que a companhia de saneamento básico tenha uma equipe técnica, disponível em seu quadro de funcionários, para que sejam avaliadas as novas tecnologias, tanto com relação aos novos materiais lançados no mercado e sistemas construtivos inovadores, visando estudos e aperfeiçoamento de suas obras e instalações.

Através da análise minuciosa dos relatórios de ensaios dessas novas tecnologias, levantamento dos custos e benefícios envolvidos durante o ciclo de vida, das vantagens e desvantagens de utilizá-las, serão elaborados os estudos de viabilidade da aplicação dessas tecnologias com a finalidade de melhorar sempre os processos, sejam operacionais ou construtivos, de forma que a empresa consiga atingir suas metas de universalização do saneamento de maneira eficiente.

A melhoria na eficiência econômica também pode ser alcançada com a utilização do sistema construtivo em concreto pré-moldado, desde que se consiga alinhar corretamente a melhor técnica construtiva, ou seja, com um estudo da melhor forma de se aplicar os componentes e elementos do sistema, utilizando as vantagens e benefícios que o mesmo proporciona para que ocorra maior eficiência econômica na análise do projeto de forma global, não se avaliando somente o custo de implantação do sistema. Portanto, antes de escolher o sistema construtivo, é necessário que os gestores de projetos realizem um estudo de viabilidade técnica e econômico-financeira das alternativas disponíveis.

Para compreender melhor quais são as etapas do processo de desenvolvimento de projetos de saneamento básico, tais etapas são apresentadas de maneira elucidativa através da Figura 4.

**Figura 4. Etapas do processo de desenvolvimento de projetos de saneamento**



Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

As empresas prestadoras de serviços públicos de abastecimento de água e esgotamento sanitário realizam uma análise prévia da viabilidade técnica, ambiental e econômico-financeira do projeto na fase denominada de **estudo preliminar** ou **estudo de concepção do projeto**. Nessa etapa do projeto são levantadas as alternativas possíveis para a implantação, ampliação ou melhoria dos sistemas de saneamento (abastecimento de água e esgotamento sanitário).

A partir desse levantamento, para cada alternativa são estudados os **aspectos ambientais**, como outorgas, licenciamento ambiental, áreas de preservação permanente e de proteção ambiental; **técnicos**, como quantitativos e qualitativos para captação e tratamento da água, necessidade de estações elevatórias, reservatórios e pré-dimensionamento dos diâmetros da tubulação e **econômicos** através dos orçamentos preliminares ou paramétricos das unidades e calculando-se o Valor Presente Líquido (VPL) dos investimentos e custos de operação/ manutenção das unidades a ser implantadas em cada alternativa. Diante dessas informações gerais e com a ponderação sobre os diferentes aspectos citados, então é escolhida a alternativa que apresenta melhor viabilidade de implantação.

Deve-se atentar, no entanto, que essa análise prévia de viabilidade fundamenta a continuidade do projeto para a etapa seguinte de projeto básico, no entanto, não elimina futuras análises de viabilidade de alternativas de objetos específicos do sistema de saneamento, em etapas mais avançadas do desenvolvimento do projeto. Esse é o caso do estudo de viabilidade entre alternativas de estruturas para o reservatório, que muitas vezes é negligenciado por se tratar de um projeto complementar do sistema de saneamento.

Com os projetos básicos concluídos, a empresa concessionária pode realizar o orçamento do projeto para contratação dos objetos a serem implantados. Para a execução

das obras ainda são elaborados os projetos executivos em etapas posteriores, antes do início da construção.

Por ser a finalidade da atividade da empresa de prestação de serviços de saneamento básico, além de representarem, evidentemente, os que consomem maiores recursos (humanos, financeiros e quantidade de projetos e memoriais), os projetos hidráulicos de abastecimento de água e de esgotamento sanitários são os direcionadores dos projetos da companhia de saneamento, ou seja, são considerados o “carro-chefe” dos projetos. Seguindo essa lógica de modo de operação, as equipes de engenharia de pesquisa e desenvolvimento também adotam a filosofia de busca por inovações tecnológicas de materiais e/ou sistemas que aperfeiçoam a atividade fim da companhia, a operação e manutenção dos serviços de saneamento básico.

De certa maneira, não é equivocado esse modo de atuação, já que os indicadores de eficiência de uma companhia de saneamento são medidos através de indicadores operacionais, como o índice de perdas físicas (vazamentos ao longo do percurso antes de chegar ao consumidor, causados pelo desgaste do material da tubulação ou elevadas pressões), número de horas com falta de fornecimento de água para população, índices de qualidade de tratamento de água e de esgoto, entre outros. No entanto, estudos sobre sistemas construtivos inovadores é um potencial de oportunidades para melhoria da eficiência da gestão de projetos de novos sistemas ou melhoria/ ampliação dos sistemas existentes, tendo em vista a elevada demanda de projetos de expansão necessários para atingir a universalização dos serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário.

## **2.6 REQUISITOS TÉCNICOS DE ESTRUTURAS DE CONCRETO APLICADAS À ENGENHARIA AMBIENTAL**

Por se tratar da aplicação de um sistema construtivo que utiliza técnicas não usuais no Brasil e obras peculiares de engenharia ambiental, recorreu-se à normatização estrangeira para avaliar os requisitos técnicos que são usuais em obras internacionais de infraestrutura sanitária em concreto convencional e concreto pré-moldado protendido.

Nos Estados Unidos da América, o Instituto Americano do Concreto (*American Concrete Institute*) elaborou a norma ACI 350:2001 que se aplica a projetos estruturais, seleção de materiais e construção de estruturas de concreto utilizadas em obras de engenharia ambiental, como as obras de reservatórios em saneamento básico. Tais estruturas são usadas para transportar, armazenar ou tratar líquidos, águas residuais ou outros materiais, como resíduos sólidos.

Deve-se ressaltar que são estruturas que estão sujeitas a carregamentos diferentes, condições de exposição mais severas e requisitos de manutenção mais restritivos do que as estruturas usuais de construção. Incluem carregamentos com cargas normais estáticas e/ou móveis e equipamento vibratório ou forças hidrodinâmicas. Tais estruturas podem ser expostas a produtos químicos concentrados e umedecimento e secagem alternados.

A seguir são apresentados os requisitos técnicos que se aplicam aos projetos e construções de obras de engenharia ambiental que utilizam estruturas de concreto em geral (convencional ou pré-moldado) e requisitos específicos de estruturas de concreto pré-moldado.

- **ESTRUTURAS DE CONCRETO EM GERAL**

São imprescindíveis projetos e materiais adequados aos requisitos das estruturas de concreto de obras de engenharia ambiental para garantir um concreto que seja denso, durável, quase impermeável, resistente a produtos químicos e com deformações e fissuras limitadas. O vazamento deve ser controlado com a finalidade de minimizar a contaminação da água subterrânea ou do meio ambiente, minimizar a perda de produto ou a infiltração e para promover a durabilidade.

A norma ACI 350:2001 apresenta novos materiais, bem como partes modificadas da norma ACI 318-1995, aplicáveis a estruturas de concreto de engenharia ambiental. Os relatórios, diretrizes, práticas padrão e comentários do comitê da ACI são destinados à orientação do planejamento, projeto, execução e inspeção da construção.

Devido aos rigorosos requisitos de serviço, a estruturas de concreto aplicado nas obras de engenharia ambiental devem ser projetadas e detalhadas com cuidado. A qualidade do concreto é importante e um controle de qualidade rigoroso deve ser realizado durante a construção para se obter um concreto impermeável com superfícies lisas.

Segunda a norma ACI 350:2001, a estanqueidade de uma estrutura será razoavelmente assegurada se:

- A mistura do concreto é bem proporcionada, bem adensada, sem segregação e é submetida a um processo adequado de cura;
- As larguras e profundidades de fissura são minimizadas;
- As juntas estão devidamente espaçadas, dimensionadas, projetadas e estanques;
- A armadura está devidamente detalhada, fabricada e colocada;
- Os revestimentos ou barreiras de proteção impermeáveis são usados onde necessário.

Geralmente, é mais econômico e confiável resistir à infiltração de líquidos através do uso de concreto de qualidade, detalhes adequados de projeto da junta e reforço adequado, do que por meio de uma barreira ou revestimento de proteção impermeável.

A permeabilidade mínima do concreto será obtida usando os fatores a/c (água-cimento) mais baixos possíveis, de acordo com a trabalhabilidade. A impermeabilidade aumenta com a idade do concreto e é melhorada por longos períodos de cura úmida. O tratamento de superfície é importante e o uso de formas lisas melhora a impermeabilidade.

Cabe destacar que todos esses requisitos demonstram o quão importante é o controle de qualidade da produção da estrutura de concreto para obras de engenharia ambiental. O concreto pré-moldado, por se submeter a um rigoroso controle de qualidade e por utilizar equipamentos na sua fabricação, apresenta vantagem na aplicação de obras como reservatórios de abastecimento de água, tanques de tratamento de efluentes, decantadores e outras obras de saneamento, quando se compara com estruturas de concreto convencional, que apresentam características de uso intensivo de mão de obra e menor controle de qualidade.

A norma americana ainda enfatiza que a incorporação de ar reduz a segregação e a exsudação, aumenta a trabalhabilidade e proporciona resistência ao efeito dos ciclos de congelamento e descongelamento. Por causa disso, seu uso resulta em melhor concreto adensado. Outras misturas, como agentes redutores de água e pozolanas são úteis quando levam a uma maior facilidade de trabalho e adensamento, além das pozolanas também reduzem a permeabilidade do concreto.

Quando todas as condições de carga relevantes são consideradas, o projeto deve garantir segurança e facilidade de manutenção adequada, com uma expectativa de vida de 50 a 60 anos para o concreto estrutural (ACI 350, 2001). Alguns componentes da estrutura, como materiais de juntas, têm uma expectativa de vida mais curta e requerem manutenção ou substituição.

A dimensão dos elementos e a quantidade de armadura devem ser especificadas com base nos limites de abertura de fissura de serviço e limites de tensão para promover uma longa vida útil.

- **ESTRUTURAS DE CONCRETO PRÉ-MOLDADO**

A norma ACI 350: 2001 apresenta algumas considerações sobre estruturas de concreto pré-moldado utilizadas em obras de engenharia ambiental, porém não muito diferente de recomendações técnicas para aplicação de estruturas de concreto pré-moldado em demais áreas, conforme demonstrado a seguir:

- **Escopo**

Os requisitos de projeto e construção para elementos estruturais de concreto pré-moldado diferem em alguns aspectos daqueles para elementos estruturais de concreto moldado no local.

As disposições encontradas no capítulo 16 da norma americana são baseadas em elementos de concreto pré-moldado produzidos sob condições controladas pela fábrica, porém também se aplicam para elementos estruturais pré-moldados no local de trabalho e que são aplicados na engenharia ambiental, desde que o controle de dimensões de forma, colocação de armadura, controle de qualidade de concreto e procedimentos de cura sejam iguais aos especificados no “Manual PCI para Controle de Qualidade de Fábrica”.

- **Especificações gerais**

O projeto dos elementos pré-moldados e das ligações deve incluir condições de carregamento e restrição desde a fabricação inicial até o uso final na estrutura, incluindo remoção da fôrma, armazenamento, transporte e elevação das peças. Os esforços desenvolvidos nos elementos pré-moldados durante o período entre a concretagem e o posicionamento final podem ser maiores que as cargas de serviço.

Os procedimentos de manuseio podem causar deformações indesejáveis. Portanto, deve-se ter cuidado com os métodos de armazenamento, transporte e montagem de elementos pré-fabricados, de modo que o desempenho nas cargas de serviço e a força nas combinações de ações atendam aos requisitos da ACI 350:2001.

Quando elementos pré-moldados são incorporados em um sistema estrutural, os esforços e deformações, que ocorrem internamente e adjacentes às conexões, devem ser incluídas no projeto. O comportamento estrutural dos elementos pré-moldados pode diferir significativamente dos elementos similares que são moldados no local.

As tolerâncias para elementos pré-fabricados e elementos de interface devem ser especificadas. O projeto dos elementos pré-moldados e das ligações deve incluir os efeitos dessas tolerâncias, pois tal projeto é particularmente sensível às tolerâncias nas dimensões dos elementos isolados e em sua posição na estrutura. Para evitar problemas, as tolerâncias usadas no projeto devem ser especificadas nos documentos do contrato e o projetista pode especificar o padrão de tolerância assumido no projeto.

É de grande importância especificar quaisquer desvios dos padrões aceitos. O projetista deve consultar publicações do Precast/Prestressed Concrete Institute (PCI) para orientação sobre produtos-padrão do setor e tolerâncias de montagem.

Além dos requisitos para desenhos e especificações descritos no item 1.2 da ACI 350-01, os seguintes documentos devem ser incluídos nos documentos contratuais ou desenhos de montagem:

(a) Detalhes da armação, inserções e dispositivos de elevação necessários para resistir às cargas temporárias de manuseio, armazenamento, transporte e montagem.

(b) Resistência do concreto exigida em idades especificadas ou em etapas de construção.

- **Integridade estrutural**

As disposições gerais de integridade estrutural, descritas ACI 350-01, aplicam-se a todas as estruturas de concreto pré-moldado e fornecem requisitos mínimos para satisfazê-las. Detalhes de ligações que dependem apenas do atrito causado por forças de gravidade não são permitidos.

A integridade geral de uma estrutura pode ser significativamente melhorada por pequenas alterações na quantidade, localização e detalhamento da armadura do elemento e no detalhamento da ligação. As amarrações transversais e longitudinais devem conectar os elementos pré-moldados a um sistema de resistência de carga lateral.

- **Ligações e aparelho de apoio**

As forças podem ser transferidas entre elementos por juntas grauteadas, chaves de cisalhamento, conectores mecânicos, ligações de barras de aço, armadura de topo ou uma combinação desses modelos. O código ACI 350-01 permite uma variedade de métodos para conectar elementos. Estes se destinam à transferência de forças tanto no plano como perpendicularmente ao plano dos elementos de concreto pré-moldados.

A adequação das ligações os esforços de transferência entre os elementos estruturais deve ser determinada por análise ou por teste. Ao projetar uma conexão usando materiais com diferentes propriedades estruturais, suas rigidezes relativas, forças e ductilidades devem ser consideradas.

O projetista deve estar ciente de que os vários componentes em uma conexão (parafusos, soldas, placas, inserções, etc.) têm propriedades diferentes que podem afetar o comportamento geral da ligação.

- **Insertos no elemento**

Quando aprovado pelo engenheiro, itens incorporados (como buchas ou inserções) que se projetem do concreto, ou seja, não são completamente embutidos, poderão ser incorporados enquanto o concreto estiver em um estado plástico, contanto que:

- Os itens incorporados não precisem ser presos ou transpassados na armadura dentro do concreto.
- Os itens incorporados serão mantidos na posição correta enquanto o concreto permanecer em estado plástico.

- O concreto será devidamente adensado em torno do item incorporado.
- **Marcação e identificação**

Cada elemento pré-moldado deve ser marcado para indicar sua localização e orientação na estrutura e a data de sua fabricação. As marcas de identificação devem corresponder aos desenhos de posicionamento dos elementos estruturais.

- **Manuseio e montagem da estrutura**

O projeto dos elementos pré-moldados deve considerar as forças e deformações durante a cura, remoção, armazenamento, transporte e montagem, para que esses elementos não sejam sobrecarregados ou danificados de alguma outra forma.

O código ACI 350-01 requer desempenho aceitável em cargas de serviço e resistência de carga adequada em combinações de forças. No entanto, o manuseio de cargas não deve produzir tensões permanentes, deformações, fissuras ou deformações inconsistentes com as provisões do código. Um elemento pré-moldado não deve ser rejeitado por pequenas fissuras em que a resistência e a durabilidade não são afetadas.

Os elementos pré-moldados e as estruturas devem ser apoiados e contraventados adequadamente durante a montagem para garantir alinhamento e integridade estrutural adequada até que as ligações permanentes sejam concluídas. É importante que todas as conexões temporárias de contraventamento e escoramento sejam mostrados nos projetos de montagem, bem como no sequenciamento da remoção desses itens.

- **Avaliação da resistência da construção pré-fabricada**

Quando a resistência de um elemento pré-moldado em uma estrutura é duvidosa, os procedimentos de avaliação de resistência do Capítulo 20 (ACI 350-01) são aplicáveis. Um teste de carga não deve ser feito até que a parte da estrutura a ser sujeita a carga tenha pelo menos 56 dias de idade. Se o fabricante, o contratante e todas as partes envolvidas concordarem, será permitido fazer o teste em uma idade anterior.

Um elemento pré-moldado para ser composto com concreto moldado no local deve permitir ser testado na flexão como um elemento pré-fabricado isolado, de acordo com o seguinte:

- O teste de carga deve ser aplicado somente quando os cálculos indicarem que o elemento pré-moldado isolado não será crítico na compressão ou flambagem.
- A carga de ensaio deve ser a carga que, quando aplicada apenas ao componente pré-moldado, induz a mesma força total na armadura que seria induzida pelo carregamento do elemento composto com a carga de teste exigida pela norma, ou seja, a carga total de ensaio (incluindo o peso próprio já existente) não deve ser

inferior a  $0,85.(1,4 G + 1,7 Q)$ , sendo G o carregamento permanente e Q a parcela da carga acidental.

- As disposições do código ACI 350-01 devem servir de base para a aceitação ou rejeição do elemento pré-fabricado. A parte da estrutura testada não deve mostrar evidência de falha, como a fragmentação e o esmagamento de concreto comprimido, rachaduras, lascas e/ou desvios de tal magnitude e medida em que o resultado observado seja obviamente excessivo e incompatível com os requisitos de segurança da estrutura. Os membros estruturais testados não devem ter rachaduras indicando a iminência de falha de cisalhamento.
- A fissura ao longo do eixo da armadura nas zonas de ancoragem pode estar relacionada a altas tensões associadas à transferência de forças entre o aço e o concreto. É importante avaliar as causas e consequências desse ocorrido.

## **2.7 TÉCNICAS CONSTRUTIVAS PARA EXECUÇÃO DE RESERVATÓRIOS EM CONCRETO PRÉ-MOLDADO**

Os reservatórios podem ser classificados como reservatórios no nível do solo, que se enquadram os reservatórios enterrados, semienterrados (parcialmente enterrados) e os apoiados na superfície do solo, e os reservatórios elevados.

Conforme Carmona e Filho (2015), a utilização da protensão em reservatórios de concreto armado é quase tão antiga quanto a própria tecnologia da protensão. A solução baseia-se em “cintar” a casca cilíndrica de concreto com armaduras ativas, mas não é tão simples, pois na aplicação prática são necessários detalhes construtivos e de projetos bem elaborados e planejados para se conseguir a protensão com sucesso. O método é vantajoso, pois consegue manter as paredes do reservatório em compressão até mesmo na sua capacidade máxima de reservação. Dessa maneira, não se formam as fissuras, diminuindo a probabilidade de ocorrer vazamentos. Com o controle da fissuração, há uma situação com potencial de aumentar a durabilidade dos tanques diante da corrosão de armaduras.

Podem-se destacar algumas verificações fundamentais no cálculo e projeto de reservatórios protendidos (CARMONA; FILHO, 2015):

- Considerações das perdas de protensão;
- Verificação da segurança do reservatório na situação que estiver vazio (quando a protensão atua comprimindo as paredes sem a presença interna de líquido);

- Consideração da compressão longitudinal das paredes devido ao peso próprio ou cargas de equipamentos que se apoiam sobre elas;
- Verificação de esforços na região dos vínculos, em especial na situação em vazio, quando a protensão pode resultar em elevados esforços cortantes;
- Análise criteriosa de abertura de fissuras (esforços de tração devido à pressão interna e ao gradiente térmico);
- Avaliação da concentração de tensões ao redor das aberturas e outras descontinuidades.

Uma alternativa no uso da protensão em reservatórios é a monocordoalha não aderente, com característica de facilidade de execução e versatilidade. Com esse método, podem-se reduzir efetivamente as perdas por atrito, o que resulta num melhor aproveitamento do aço de protensão. Esse método é muito utilizado para o reforço dos tanques, em casos de subdimensionamento da estrutura, aumento da altura de reservação ou melhoria no desempenho do reservatório em serviço. Além disso, é um método eficaz no controle de abertura de fissuras em reservatórios que operam em ambientes de elevada agressividade (CARMONA; FILHO, 2015).

A construção de reservatórios de abastecimento de água ocorre, na sua maioria, em áreas urbanas, por ficar estrategicamente localizada próximos às unidades consumidoras (residências, hotéis, shopping center, etc) e evitar uma perda de carga hidráulica desnecessária, caso estivesse mais distante da rede de distribuição. El Debs (2017) afirma que, na maioria dos casos, as condições de acesso ao local de construção é fator condicionante principal para uso do concreto pré-moldado e, para o caso de obras urbanas, a falta de condições de acesso aos equipamentos de montagem, praticamente inviabiliza sua utilização.

Segundo El Debs (2017), em geral, os painéis de concreto pré-moldado, utilizados na parede, possuem a altura do reservatório, de modo a reduzir ao mínimo as emendas entre os elementos, e a laje de fundo é normalmente em concreto moldado no local. Para os reservatórios com formato circular (planta) e apoiados em superfície, tais elementos pré-moldados podem ser de concreto armado ou concreto protendido. É necessária uma proteção circunferencial com cabos alojados internamente aos elementos pré-moldados, garantindo a segurança estrutural e a estanqueidade das paredes.

As paredes dos reservatórios circulares apoiados em superfície do solo e em elementos de concreto pré-moldado podem ser executadas pelas seguintes técnicas construtivas (EL DEBS, 2017):

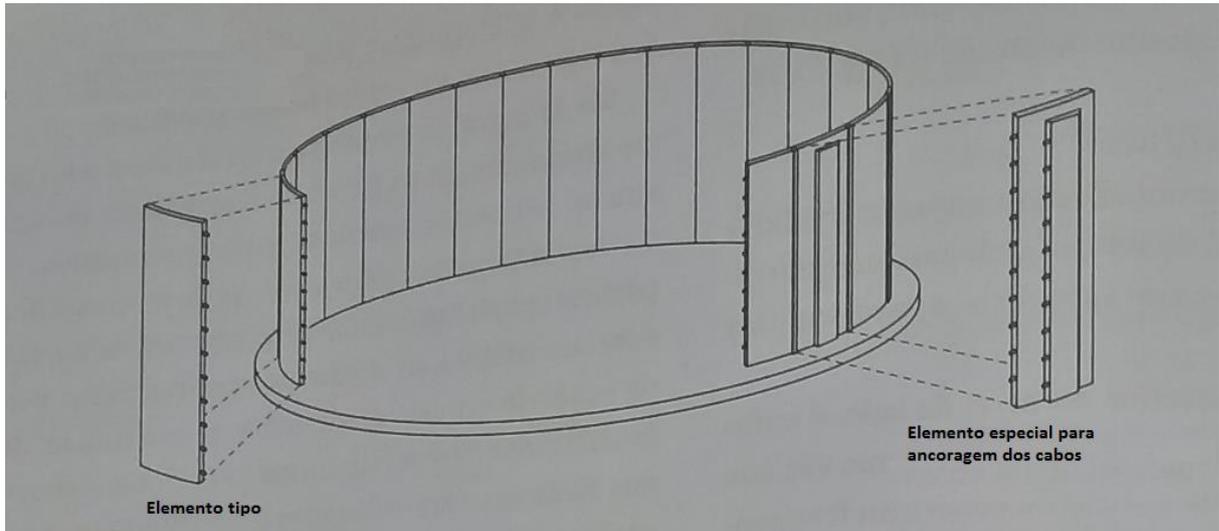
- Elementos pré-moldados que recebem protensão circunferencial interna;
- Elementos pré-moldados que recebem protensão circunferencial externa, com posterior camada de concreto projetado;
- Elementos pré-moldados em forma de abóboda com vigas verticais e anéis (inferior e superior) moldados no local;
- Elementos pré-moldados de seção T e anéis (inferior e superior) moldados no local.

El Debs (2017) descreve alguns detalhes construtivos do reservatório circular em concreto pré-moldado e protensão circunferencial com cabos internos:

[...] Para realizar a protensão, são utilizados elementos especiais para a ancoragem dos cabos, em número de pelo menos 4, para permitir a defasagem dos cabos de protensão. A ligação da parede no fundo pode ser rígida, articulada ou deslizante. Estas duas últimas alternativas, em especial a ligação deslizante, são empregadas para reduzir os esforços de flexão ao longo da parede.

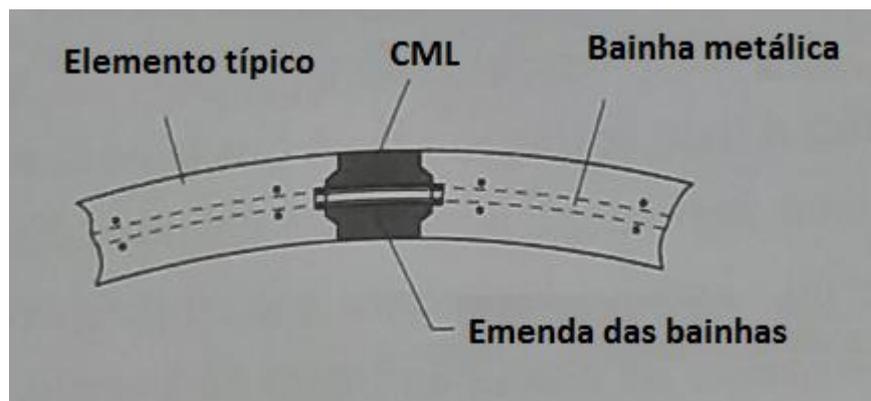
A laje de fundo é executada em concreto moldado no local, geralmente. Os elementos de concreto pré-moldado (painéis pré-moldados) são fabricados com bainhas metálicas (vazias) no seu interior, posicionadas conforme estabelecido pelo projeto estrutural. Após o posicionamento de todos os painéis pré-moldados e preenchimento das ligações verticais entre painéis e ligações horizontais entre painéis e a laje de fundo, ocorre a protensão circunferencial dos cabos (pós-tensão), seguido da ancoragem da extremidade dos cabos nos painéis especiais e posterior preenchimento da bainha metálica com a injeção da nata de cimento ou grout. As extremidades dos cabos de protensão devem ser protegidas e, para isso, são executadas camadas de concreto com pedrisco ou grout para preenchimento dos nichos onde estão localizados os cabos nos painéis especiais. As imagens da Figura 5, Figura 6 e Figura 7 apresentam detalhes de uma proposta de reservatório circular em concreto pré-moldado e protensão circunferencial com cabos internos apresentados por El Debs.

**Figura 5. Elementos pré-moldados da parede do reservatório circular com protensão circunferencial interna**



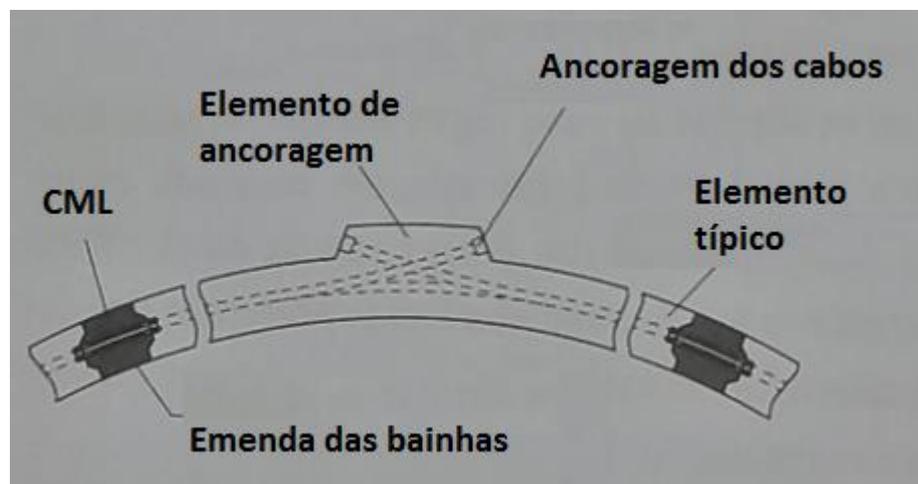
Fonte:El Debs (2017)

**Figura 6. Detalhe da emenda típica**



Fonte:El Debs (2017)

**Figura 7. Detalhe da ancoragem dos cabos**



Fonte:El Debs (2017)

Uma variante do caso descrito, porém bem similar, é quando se executa a protensão com posicionamento da armadura de protensão externamente aos painéis, e em etapa posterior é executada uma camada de concreto projetado.

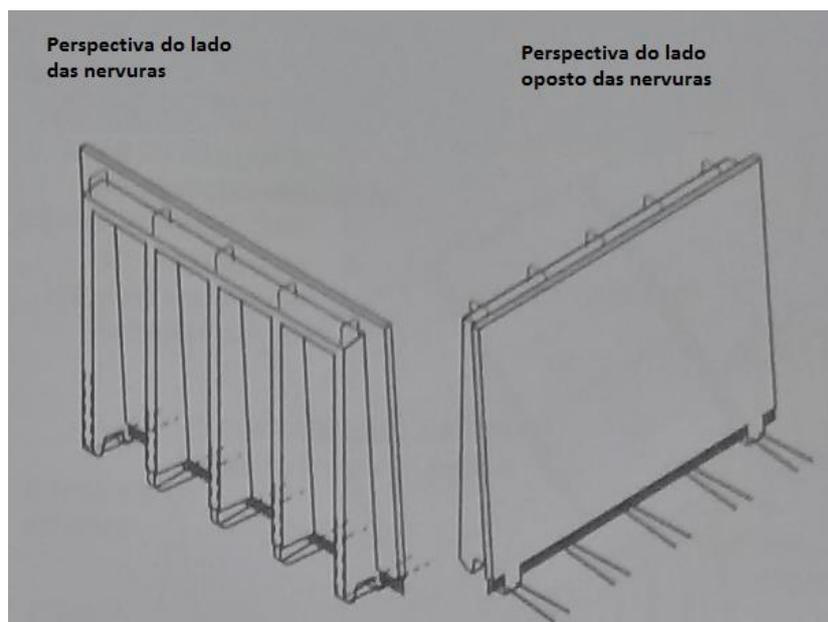
Os reservatórios em planta circular podem ser executados também com elementos pré-moldados em forma de abóboda, que são ligados às vigas verticais moldadas no local. Essas vigas têm a função de transmitir, por flexão, as forças horizontais para dois anéis, um superior e outro inferior, que também são moldados no local. Dessa forma, ocorre uma compressão entre as ligações das abóbodas com as vigas verticais e com os anéis.

Hanai (1992 *apud* EL DEBS, 2017) descreve exemplos de aplicações dessa alternativa com abóbodas em argamassa armada para reservatórios com 3.200 m<sup>3</sup> e 900 m<sup>3</sup>. Há uma variação dessa técnica construtiva em forma de abóboda, que foi desenvolvida visando facilitar a construção do reservatório, por exemplo, usando um novo formato de painel que já inclui parte da viga no elemento pré-moldado (facilitando a execução da parte moldada no local), com inserção de uma parte saliente na extremidade inferior do painel que serve de apoio do elemento na laje de concreto do fundo (prescindindo de escoramento imediato e facilitando a execução do anel inferior), e a implantação de um diafragma em forma de aba na parte superior do elemento pré-moldado, que serve como fôrma para o anel superior.

Uma alternativa de reservatório apoiado e em forma circular é a que utiliza elementos pré-moldados de seção T nas paredes. No item 2.8.3 deste trabalho são apresentados detalhes construtivos de um exemplo de utilização desse tipo de reservatório com painéis de parede e painéis de cobertura pré-moldados de seção T.

Com relação ao emprego do concreto pré-moldado em reservatórios com planta retangular, El Debs (2017) afirma que essa tipologia é utilizada com menos frequência que o reservatório com planta circular. A Figura 8 apresenta um exemplo de elementos pré-moldados de concreto com nervuras, que podem ser aplicados em reservatórios (enterrados ou apoiados na superfície) com planta retangular. Esse elemento pré-moldado com seção transversal nervurada tem como característica a possibilidade de fabricação com alturas variáveis utilizando a mesma fôrma, por serem moldados na posição horizontal. Com essa versatilidade, há um grande potencial para que esse tipo de elemento possa ser produzido em larga escala.

**Figura 8. Elemento pré-moldado com nervuras empregado em reservatório retangular**



Fonte:El Debs (2017)

El Debs (2017) cita a aplicação do concreto pré-moldado para reservatórios elevados de grande porte e reservatórios elevados de pequeno porte. No primeiro caso, o reservatório (cuba) é moldado no nível do solo e depois é elevada até sua posição definitiva. Já para os reservatórios elevados de pequeno porte, utiliza-se a alternativa de anéis pré-moldados, que são empilhados de modo a formar um reservatório cilíndrico elevado de planta circular (utilizados para pequenos e médios consumos, principalmente em edificações comerciais).

Segundo Carmona e Filho (2015), para se construir cubas (reservatórios) a grandes alturas em relação ao terreno, utilizando sistemas convencionais, há uma demanda de pesados e onerosos sistemas de cimbramento, além das etapas de montagem das fôrmas e concretagem serem complexas e com elevado risco de queda de trabalhadores. Por esse motivo foi desenvolvido o método construtivo de execução dos pilares do reservatório e a cuba no nível do terreno, posteriormente acionando os macacos hidráulicos, que levantam a cuba em diferentes etapas de içamento e com baixa velocidade. Por fim, realizam-se as concretagens complementares para vincular a cuba ao topo dos pilares.

## **2.8 APLICAÇÕES INTERNACIONAIS DE RESERVATÓRIOS EM CONCRETO PRÉ-MOLDADO**

Reservatório em painéis de concreto pré-moldado apresenta uma grande vantagem, já que tendo seus painéis de concreto produzidos e entregues, prontos para o início da montagem, preenche todos os requisitos para minimizar o tempo, com velocidade de

construção bastante acelerada. Nos próximos tópicos, serão apresentadas as técnicas construtivas e exemplos de aplicação do concreto pré-moldado na construção de reservatórios de grandes volumes em alguns países da Europa e nos Estados Unidos.

### **2.8.1 REINO UNIDO**

#### ***PAINÉIS PRÉ-MOLDADOS NERVURADOS INTERLIGADOS COM COLUNA DE CONCRETO MOLDADO NO LOCAL***

Segundo Robson e Bull (2012), a utilização de concreto pré-moldado na engenharia de barragens e reservatórios não é uma novidade no Reino Unido. A empresa britânica Mott MacDonald Bentley (MMB) desenvolveu uma nova técnica de construção de elementos utilizados para reservação de água a partir de unidades de parede pré-fabricadas em concreto, interligadas com colunas de concreto moldado no local.

O concreto pré-moldado é uma tecnologia comprovada em muitos usos de engenharia. No entanto, devido à dificuldade de se conseguir ligações confiáveis, não tem sido muito utilizado para estruturas de retenção de água potável (Robson; Bull, 2012).

A MMB desenvolveu o projeto e a montagem de 14 reservatórios de abastecimento para a empresa Yorkshire Water Services (YWS), com capacidade variando de 136m<sup>3</sup> a 16.000 m<sup>3</sup>. Todos os reservatórios utilizam os mesmos componentes de concreto pré-moldados e, além dos reservatórios, também foram utilizados componentes similares para aplicação nos canais do vertedor do reservatório. O objetivo desta aplicação foi fornecer um projeto modular com possibilidade de reutilização, redução de tempo de projeto e construção para um programa de obras de melhorias de reservatórios. Além disso, buscou-se uma mudança significativa na melhoria da segurança do trabalho no canteiro, na eficiência de custos e na garantia da qualidade da construção.

As empresas YWS e MMB fecharam um acordo estruturado em lotes de trabalho. Tais lotes agrupam tipos semelhantes de projetos juntos em um único contrato. Dessa forma, facilitou a oportunidade para que o MMB promovesse produtos padronizados com projetos e desenhos repetíveis que proporcionassem eficiência em todo o programa.

A YWS promoveu dois lotes de contrato para reservatórios de abastecimento de água cujo objeto era composto por quatorze novos reservatórios, proporcionando à MMB a confiança comercial para desenvolver o produto, identificar um fornecedor e um método construtivo de concreto pré-moldado adequado. Na seleção de fornecedores, primeiramente, painéis de testes foram realizados para demonstrar a metodologia proposta e praticar as técnicas necessárias. Os testes no local permitiram que o cliente e também seus engenheiros independentes, incluindo os engenheiros responsáveis pelo projeto dos painéis de concreto, inspecionassem os métodos antes de seu uso na prática. Tais ensaios

permitiram uma avaliação física dos aspectos práticos da construção e da estrutura construída.

A YWS tinha vários reservatórios de abastecimento que precisavam de substituição. Esse conjunto de reservatórios foi agrupado em dois lotes de trabalho e lançados como contratos em lotes simultâneos.

Os principais requisitos de projeto do cliente para os reservatórios eram a construção de concreto monolítico e que a entrada de pessoal para operação fosse realizada por um acesso seguro por portas estanques. A MMB investiu no produto desenvolvendo um projeto padrão de reservatório de água em colaboração com o fornecedor e fabricante de concreto pré-moldado, Carlow Precast, que projetou, fabricou e forneceu os componentes pré-fabricados que permitiram a construção de uma ampla faixa volumétrica de reservatórios utilizando os mesmos detalhes de projeto.

O elemento principal do reservatório da solução adotada foi o painel de parede padrão (concreto pré-moldado) e a ligação de concreto moldado no local. As unidades de parede pré-moldada têm reforço saliente (armadura de arranque) na sua base e em ambos os lados para engastá-las com a base de concreto moldado no loco e as colunas (juntas de parede), proporcionando uma estrutura contínua, monolítica e reforçada. Esses painéis pré-moldados padrão foram produzidos com nervuras (seção trapezoidal), com chanfros na parte inferior e superior. Além desses elementos padrão, foram produzidos painéis equivalentes para a união dos cantos em formato "L" e, para alguns reservatórios com mais de uma câmara de compartimentação, foram produzidos painéis especiais de divisória em formato "T".

Os painéis padrão de parede pré-fabricados foram produzidos com 1,95m de largura e 4,0m de altura e as ligações entre painéis de concreto moldado no local foram executadas com 45 cm de comprimento. As colunas pré-moldadas foram utilizadas em um espaçamento padrão, suportando as vigas pré-moldadas de sustentação do telhado, projetadas de forma que fossem alinhadas ao espaçamento dos painéis pré-moldados de parede. A laje da base foi executada em concreto armado convencional moldado no local, fixando os painéis de parede em concreto pré-moldado.

As paredes foram produzidas com uma face interna vertical e uma face traseira nervurada inclinada e vertical. Os painéis de parede padrão pesando 6,1 toneladas e as peças "T" na parede divisória pesando 9,2 toneladas.

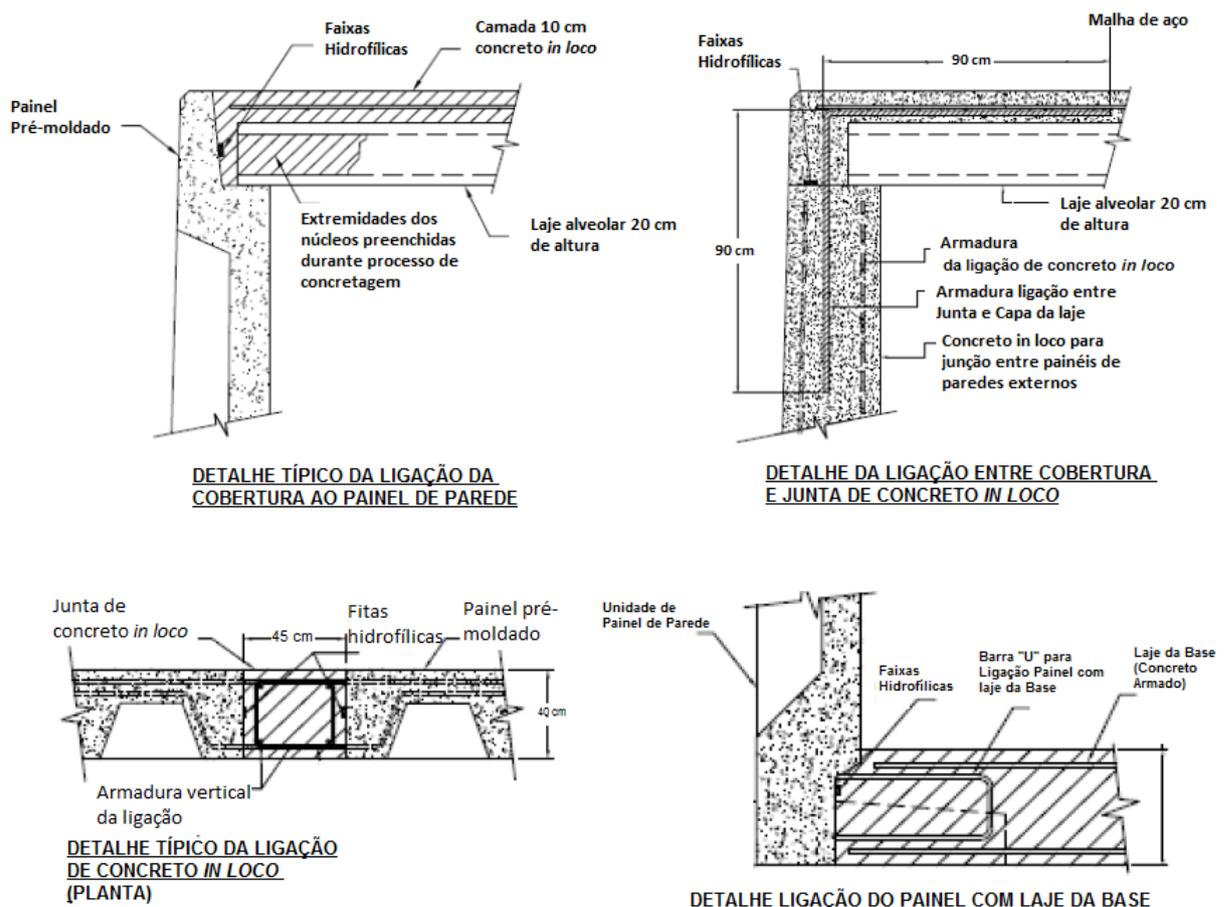
Uma vantagem do método construtivo com painel pré-fabricado foi a mitigação de alguns problemas de retração do concreto com idade precoce que ocorria em grande parte das estruturas de concreto convencional. Com utilização de painéis pré-moldados, a retração principal já havia ocorrido antes de sua instalação e o encolhimento experimentado

pela ligação de concreto moldado no local foi considerado como nominal devido seu comprimento relativamente curto. Isto foi comprovado pelas paredes construídas, já que nenhuma fissura de retração foi evidenciada.

Nesse projeto, as ligações entre os painéis de parede, de concreto moldado no local, foram compostas de barras “U” salientes do lado de cada painel com reforço vertical que as interligava. Fitas hidrofílicas foram aderidas às interfaces dos painéis pré-moldados. A cobertura foi projetada para exercer a função de suporte estrutural para as paredes e o espaçamento do pilar foi definido para coincidir com painéis de parede alternados que suportam as vigas do telhado.

A Figura 9 apresenta os detalhes típicos das ligações entre o painel de parede nervurado em concreto pré-moldado e a laje alveolar da cobertura, da ligação entre a junta de concreto moldado no local e a placa de laje alveolar da cobertura e a ligação entre o painel de parede e a laje da base de concreto moldado no local.

**Figura 9. Detalhamento típico das ligações**



Fonte: Adaptado de Robson e Bull (2012)

Para a junção entre as unidades de painel pré-fabricado e a base de concreto moldado no local foi utilizado um método de junção no qual cada unidade de painel possui barras de aço salientes na sua base, em forma de “U”, para fixar à laje da base de concreto moldado no local. Os painéis também foram projetados com um aço saliente nas ligações da parede com um sistema de reforço instalado. A fim de se obter a estanqueidade das ligações entre os painéis, foram utilizados selantes nas juntas com aplicação de fitas hidrofílicas e escarificação nas faces do concreto.

Os painéis de parede foram inicialmente moldados numa fôrma côncava do tipo “concha”, no entanto, resultou numa técnica que enfrentou alguns problemas, então um método mais eficiente e econômico foi identificado. A partir daí, utilizou-se o método de laje plana com painéis moldados na posição horizontal.

Além das peças individuais pré-fabricadas, o conceito do produto abrange toda a entrega do projeto. Para garantir que o projeto de cada reservatório atendesse aos volumes necessários e permitisse reduções devido às inclinações do piso e aos pilares, foi desenvolvido um modelo de dimensionamento padrão. Esse modelo foi expandido para incluir os principais cálculos típicos: ventilação, dimensionamento de transbordamento e dimensionamento de lavagem. Dessa forma, obteve-se um projeto de contorno completo para cada reservatório, demonstrando graficamente os volumes de armazenamento resultantes. Os produtos de saída desse modelo foram usados primeiramente para aceitação do projeto pelo cliente e, em seguida, para a aquisição dos componentes pré-fabricados do reservatório.

Para instalação do painel de parede, em concreto pré-moldado, foi utilizado um suporte de elevação articulado (Figura 10), com pontos de içamento na parte superior do painel e apoios de base em sua parte inferior.

Tal suporte foi um componente-chave do processo de instalação, desenvolvido pela Carlow, e garantiram que os painéis pudessem ser levantados para a vertical sem aplicar pontos de carregamento na base do painel.

Com relação ao prazo de montagem, para um reservatório de 2.000 m<sup>3</sup>, a duração da instalação para 46 unidades de painéis de parede e 16 pilares foi de 8 dias. Para um reservatório menor, com 135 m<sup>3</sup>, a instalação da parede levou 1 dia.

**Figura 10. Montagem do painel de concreto pré-fabricado**



Fonte: Robson e Bull (2012)

A posterior execução da fixação da barra de ancoragem do painel com a laje da base apresentou duração característica de processos de concreto armado convencional. A execução das juntas (ligações no local) entre os painéis de parede durou 15 dias. A Figura 11 demonstra uma visão das ligações entre os painéis de parede antes da solidarização entre as unidades.

**Figura 11. Ligações de parede *in loco* durante construção**



Fonte: Robson e Bull (2012)

Robson e Bull (2012) concluem que o posicionamento das vigas e lajes da cobertura para o reservatório de 2.000m<sup>3</sup> levou uma semana e não exigiu sustentação temporária. Os reservatórios foram preenchidos com água e testados com sucesso. O teste apresentou resultado satisfatório, comprovando que a estrutura da cobertura possui uma impermeabilização adequada.

## **2.8.2 PORTUGAL E ESPANHA**

### ***PAINÉIS PRÉ-MOLDADOS PLANOS COM PROTENSÃO CIRCUNFERENCIAL INTERNA***

O uso do sistema construtivo em concreto pré-fabricado para obras de reservatórios circulares é mais expressivo em países europeus, em relação ao Brasil. Na Península Ibérica, a empresa Soplacas S.A. começou a produzir e vender produtos da SoplacasTank® a partir de 1996, e desenvolveu sua tecnologia para oferecer uma variedade de reservatórios de diversas formas, tamanhos e destinados a diversas finalidades. O sistema consiste na pré-fabricação e selagem de painéis de concreto pré-fabricado, unidos a uma laje de fundo em concreto moldado no local, podendo ou não utilizar painéis pré-fabricados para cobertura, dependendo da finalidade do reservatório.

A empresa promete elaborar projetos e montagens rápidas e seguras, com rápido retorno econômico e financeiro do investimento. Elementos especiais como reentrâncias, aberturas ou parapeitos podem ser executados durante a pré-fabricação, embutidos nos painéis desde o início, tornando a montagem no local mais rápida, por ser caracterizada pelo uso intensivo de equipamentos (guindastes, munck, plataforma elevatória, escoras metálicas) e pouca utilização de mão de obra.

Com relação aos padrões de qualidade, a Soplacas é certificada pela norma ISO 9001 e a execução dos reservatórios respeita o Eurocode 2 - Projeto de Estruturas de Concreto- Parte 4: Estruturas de contenção e retenção de líquidos.

Desde 1996, a Soplacas projetou e executou cerca de 1.000 reservatórios nos territórios de Portugal e Espanha. Os diâmetros dos reservatórios circulares podem variar entre 8 e 69 metros, com alturas entre 3 m e 14 m e a tecnologia desenvolvida pela empresa atende aplicações de reservatórios com capacidade de 100 m<sup>3</sup> a 30.000 m<sup>3</sup>.

Esses reservatórios também podem ser parcial ou totalmente enterrados e possuem múltiplos usos possíveis: reserva de água potável, prevenção de incêndio, reservatórios para tratamento de água e esgoto, irrigação e silos. A Figura 12 apresenta um reservatório circular em painéis de concreto pré-fabricados executados pela Soplacas.

**Figura 12. Reservatório de abastecimento de água em concreto pré-fabricado**



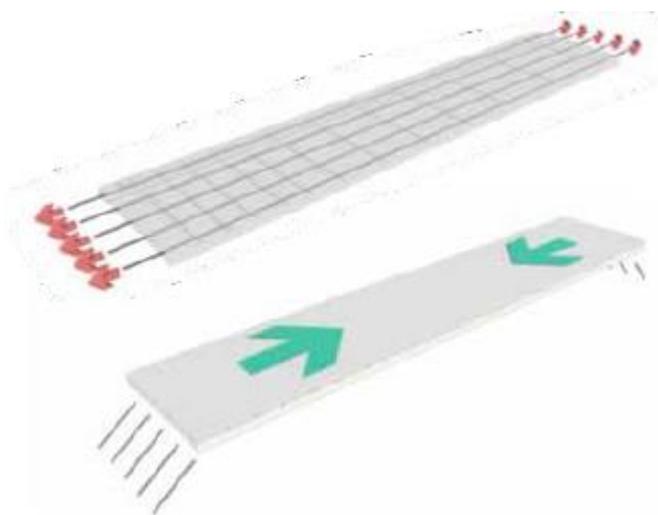
Fonte: Soplacas S.A.

Segundo as informações comerciais da empresa Soplacas, as características deste sistema construtivo são:

- Produção controlada
- Concreto classe C40/ C50 ( $F_{ck}$  de 40 MPa e 50 MPa)
- Maior vida útil da estrutura
- Ausência de juntas de concretagem
- Protensão vertical dos painéis
- Ausência de fissuração
- Cabos protendidos horizontais no interior dos painéis
- Juntas verticais entre os painéis de parede comprimidas por protensão horizontal
- Garantia de estanqueidade das juntas
- Ausência de manutenção
- Gama de elementos pré-fabricados de acordo com necessidade do projeto
- Proteção eficiente contra corrosão
- **PRODUÇÃO DOS PAINÉIS**

Os sistemas construtivos, utilizados para reservatórios circulares e que foram desenvolvidos pela Soplacas, são produzidos a partir de painéis pré-moldados planos com alturas entre 3 m e 14 m. Os painéis de parede são protendidos verticalmente (direção da altura do reservatório) durante a fabricação (Figura 13), e na etapa de montagem são conectados horizontalmente (direção da circunferência do reservatório) por cabos protendidos dentro dos painéis, evitando assim que a estrutura do reservatório fissure devido à tração.

**Figura 13. Modelagem da pré-tração vertical dos cabos de painéis de parede**



Fonte: Catálogo da Soplacas S.A.

Os painéis de parede dos reservatórios são produzidos horizontalmente, em um ambiente controlado e em locais confortáveis de trabalho. A elaboração dos painéis na fábrica permite minimizar o trabalho no canteiro de obras, encurtar o tempo de execução com um rápido período de montagem, limitando o trabalho em altura o máximo possível, reduzindo conseqüentemente os custos e riscos trabalhistas.

- **MONTAGEM DOS PAINÉIS DO RESERVATÓRIO**

A técnica de montagem se inicia com a execução de uma laje de concreto moldado no local (Figura 14), após a execução da fundação (conforme ensaio de sondagem do solo local e respectivo projeto de fundações).

**Figura 14. Execução da laje de fundo em concreto moldado no local**



Fonte: Catálogo da Soplacas S.A.

Em seguida, os painéis de parede pré-moldados e pré-tracionados verticalmente são transportados, movimentados no canteiro e posicionados sobre a laje de fundo, um de cada vez, e então interligados uns aos outros por cabos de pós-tração, que passam pelas bainhas metálicas inseridas internamente na fabricação dos painéis. Os painéis pré-moldados são assentados sobre placas niveladas (Figura 15), além de serem inseridos parafusos de nivelamento na base dos painéis (Figura 16).

**Figura 15. Placas para nivelamento de painéis**



Fonte: Catálogo da Soplacas S.A

**Figura 16. Parafusos de nivelamento na base dos painéis**



Fonte: Catálogo da Soplacas S.A

O posicionamento dos painéis pré-moldados planos ocorre com o auxílio de guindaste, enquanto as escoras metálicas são colocadas para manter o prumo do painel, com auxílio de uma plataforma elevatória articulada, conforme visto na Figura 17. Entre as arestas dos painéis são aplicados mastique (vedação elástica).

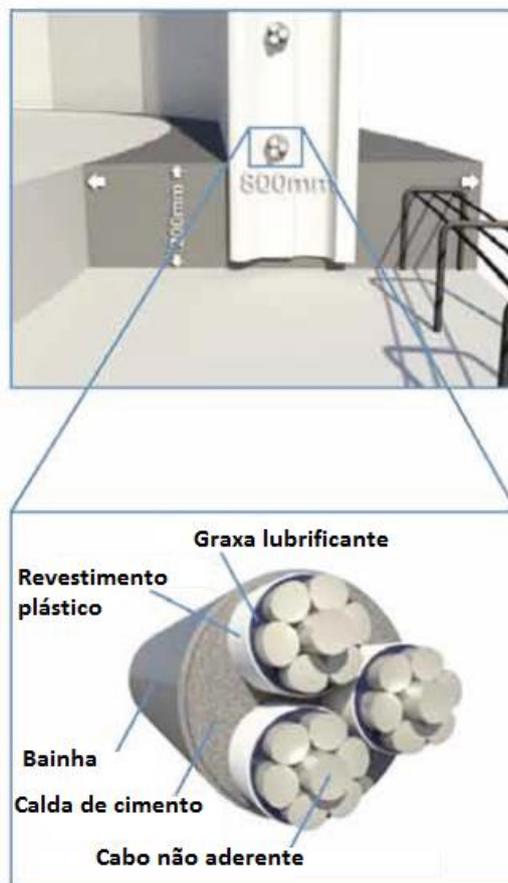
**Figura 17. Movimentação e montagem dos painéis planos de parede**



Fonte: Catálogo da Soplacas S.A

Os cabos horizontais são inseridos dentro de bainhas metálicas, as quais serão preenchidas com injeção de calda de cimento. Tais cabos ainda são cobertos por uma mangueira de plástico contínua (proteção) e envoltos em graxa lubrificante (Figura 18). Esse sistema de proteção tripla (mangueira de plástico, calda de cimento e bainhas metálicas) garante que os cabos que reforçam a estrutura do reservatório não exijam manutenção.

**Figura 18. Detalhe ligação do painel com laje de fundo e detalhe da proteção dos cabos de protensão horizontal**



Fonte: Catálogo da Soplacas S.A.

Tanto as juntas verticais entre os painéis quanto os espaços entre o revestimento plástico e a bainha são preenchidos com calda de cimento, injetados a 10 bar de pressão direto da base (Figura 19) e a junta horizontal entre os painéis e a laje inferior é executada com concreto moldado no local. O conjunto de injeção de concreto cria uma estrutura monolítica e confere homogeneidade à estrutura.

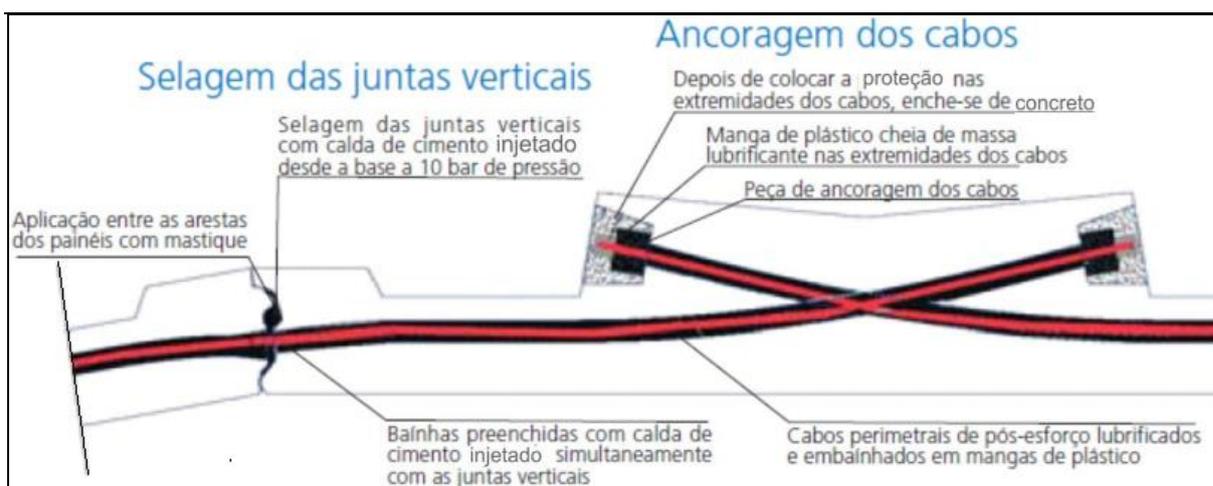
Logo após a injeção de nata de cimento, os cabos de protensão circunferencial são tracionados (pós-tração sem aderência) até atingirem o alongamento de projeto e, em seguida, são presos nos painéis especiais (de ancoragens). Após a ancoragem e proteção dos cabos, a extremidade extra é cortada e o nicho é preenchido com concreto, conforme apresentado na Figura 20.

**Figura 19. Injeção de nata de cimento nas juntas verticais entre os painéis**



Fonte: Catálogo da Soplacas S.A.

**Figura 20. Planta do painel especial de ancoragem dos cabos**



Fonte: Catálogo da Soplacas S.A.

Por fim, para reservatório de abastecimento de água, que necessitam ser totalmente vedados, ainda é necessário a construção da cobertura do reservatório. Para isso, são montados os elementos pré-moldados de pilares, vigas e laje circular central, que são responsáveis por sustentar os painéis pré-moldados da cobertura em formato cônico. Após a instalação desses elementos é realizada a calafetagem e a impermeabilização da junta entre os painéis. A Figura 21 apresenta imagem dos elementos de sustentação da cobertura (pilares, vigas e laje central) do reservatório em primeiro plano (à frente), além de painéis de parede divisória para separação das duas câmaras do reservatório, e ainda mostra um segundo reservatório (ao fundo) já com os painéis de cobertura montados.

**Figura 21. Elementos de sustentação da cobertura do reservatório**



Fonte: Catálogo da Soplacas S.A.

A Figura 22 mostra o detalhe dos pontos de içamento para a montagem dos painéis de cobertura do reservatório.

**Figura 22. Montagem dos painéis da cobertura**



Fonte: Soplacas S.A.

Além dos reservatórios circulares, a empresa produz painéis de parede pré-fabricados de concreto para reservatórios retangulares, com sistema que pode ter até 6m de altura e com capacidade de volume entre 100 m<sup>3</sup> e 50.000 m<sup>3</sup>. Nesse sistema também se constrói uma laje de concreto moldado in loco e os tanques retangulares podem ser instalados acima do solo ou ser parcial ou totalmente subterrâneos.

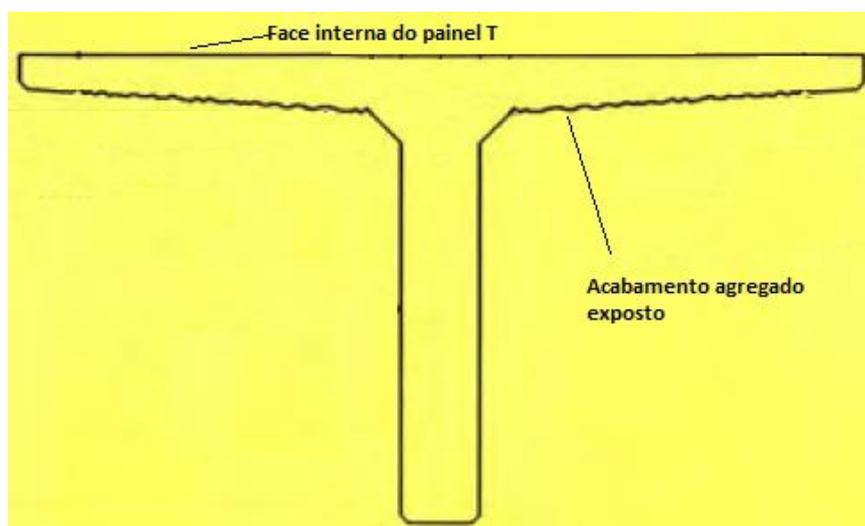
Outro tipo de reservatórios em concreto pré-moldado produzido pela Soplacas é o sistema denominado Carrossel, que se trata de um tanque oval e permite a implementação de reatores biológicos em que o principal requisito é criar um longo caminho para o material a ser tratado. O reservatório possui formato oval para que se possa criar esse longo caminho e ao mesmo tempo obter uma implementação compacta do tanque, de modo que o líquido possa circular ao redor de seu perímetro. O sistema possui características de durabilidade e resistência ao ataque químico. Sua altura pode variar entre 3m e 6m.

### **2.8.3 ESTADOS UNIDOS**

#### **EXEMPLO DO EMPREGO DE ELEMENTOS PRÉ-MOLDADOS DE SEÇÃO T**

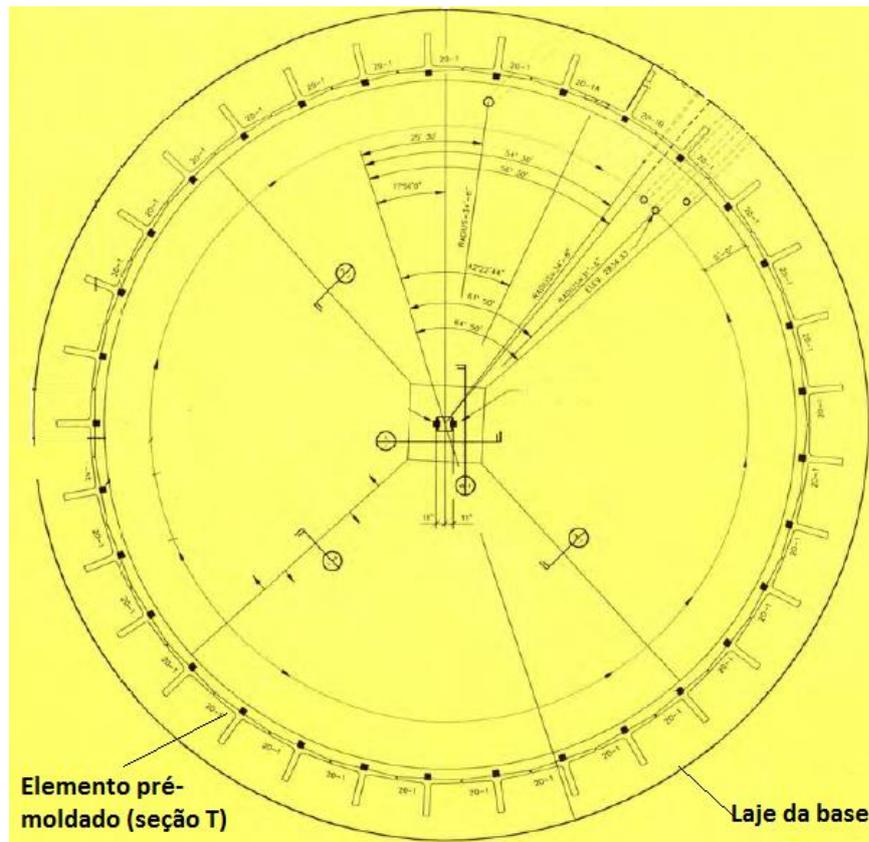
A alternativa de elemento pré-moldado de seção T (Figura 24) foi utilizada para a construção de um reservatório em concreto pré-moldado com capacidade de aproximadamente 3.800 m<sup>3</sup>, na cidade de Spokane, que fica localizada no estado norte-americano de Washington. De acordo com Raymond e Prussack (1993), uma característica importante da estrutura é a combinação de cobertura em formato de “pedaços de torta” em vigas tipo T (com mesa superior de largura variável e alma de viga retangular), que se apoiam numa viga de coroamento (superior à parede), e, por fim, essa viga de coroamento transmite o carregamento para os painéis individuais em seção T, que formam a parede circular do tanque. A laje da base é construída em concreto moldado no local.

**Figura 23. Planta do painel de parede típico em seção T**



Fonte: Adaptado de Raymond e Prussack (1993)

Figura 24. Planta do reservatório com elemento pré-moldado em seção T



Fonte: Adaptado de Raymond e Prussack (1993)

Esse reservatório construído possui diâmetro interno de 22,86 m e altura de água de 9,40 m. A cobertura do reservatório é composta por 33 elementos cônicos (em formato de “pedaços de torta”), apoiados no centro por uma única coluna de concreto pré-moldado de 11 m de altura e uma tampa da coluna de concreto pré-moldado de 4,37 m<sup>2</sup>. A solução de concreto pré-moldado protendido preencheu os requisitos do projeto e, além disso, produziu uma estrutura funcional, estética e econômica (RAYMOND E PRUSSACK ,1993). A Figura 25 apresenta esse reservatório:

**Figura 25. Reservatório de 3.800 m<sup>3</sup> em elementos pré-moldados de seção T**



Fonte: Raymond e Prussack (1993)

As paredes externas são compostas por 33 painéis T simples com viga de coroamento que suportam a extremidade das vigas T simples do telhado. Além disso, ao redor do perímetro na base, uma viga em anel moldada no local fornece a restrição necessária na parte inferior do reservatório.

Como na concepção desse reservatório não se optou por protensão circunferencial (pós-tensão) dos painéis da parede, para garantir a estanqueidade da estrutura, foi utilizado um revestimento sintético no interior do tanque. Sendo assim, foi usado um impermeabilizante em Hypalon (borracha sintética de polietileno clorossufonado) sobre uma manta de geotêxtil. As ferragens de aço inoxidável foram usadas para prender o revestimento às paredes de painéis T simples e prender o revestimento ao redor da coluna central.

Raymond e Prussak (1993) afirmam que as estimativas de custo de construção foram elaboradas para um reservatório metálico (em aço) e para um reservatório de concreto, e o valor presente dos custos futuros de manutenção foi calculado para fornecer uma estimativa dos custos do ciclo de vida de cada sistema. Os custos futuros de manutenção foram considerados assumindo a vida útil dos reservatórios em 80 anos, a substituição do impermeabilizante em 40 anos para o reservatório de concreto e a pintura dos componentes de aço de ambos os reservatórios em 20 anos. Desenvolvendo os números, rapidamente ficou claro que um reservatório de aço não seria prático e viável para esta instalação.

O uso de elementos de concreto pré-moldado significava que um tratamento arquitetônico poderia ser facilmente incorporado na superfície exposta dos painéis de

parede, porém nesse projeto optou-se por apresentar uma aparência rústica, utilizando elementos pré-moldados de concreto com agregado exposto, revestidos com um selador brilhante. Pelo fato do reservatório estar localizado em local com terreno inclinado, os painéis da parede em T foram submetidos a um empuxo de terra e demonstraram capacidade para resistir a esse efeito. Além disso, o Departamento de Serviços de Águas e Hidroelétricas (DWHS) ficou bastante satisfeito com a estética da estrutura.

Lenner, Miller, Prussack (1996) também citam uma obra que utilizou a mesma técnica construtiva na cidade de Spokane (Estados Unidos), apresentando os requisitos funcionais, o planejamento, as considerações de projeto e os aspectos de montagem na construção de dois reservatórios em concreto pré-moldado de seção T, com capacidade de 38.000 m<sup>3</sup>, 73 m de diâmetro e 11 m de altura. Segundo os autores, economias substanciais em custos e aparência aprimorada foram obtidas enterrando parcialmente os novos reservatórios, localizados na cidade de Spokane, nos Estados Unidos. Cada reservatório é composto por 78 painéis pré-moldados seção T de concreto protendido, com cada elemento estrutural de parede medindo 2,90 m de largura e 11 m de comprimento, pesando pouco mais de 21 toneladas, além de 78 vigas de cobertura de concreto protendido de seção T, com aproximadamente 35 m de comprimento, pesando pouco mais de 30 toneladas. A Figura 26 representa os dois reservatórios citados anteriormente (um a frente e outro ao fundo da imagem).

**Figura 26. Reservatório de 38.000 m<sup>3</sup> em elementos pré-moldados de seção T**



Fonte: Lenner, Miller, Prussack (1996)

A seguir é descrito, de maneira resumida, algumas características da construção desses dois reservatórios de quase 38.000 m<sup>3</sup> de capacidade apresentadas por Lenner, Miller, Prussack (1996):

- **PROJETO E DIMENSIONAMENTO ESTRUTURAL**

Inicialmente foi proposto a execução de reservatórios metálicos, porém a empresa Central Pre-Mix Prestress Corporation (CPPC) iniciou uma discussão técnica com o Departamento de Águas e a Prefeitura de Spokane sobre a possibilidade de execução do concreto pré-moldado protendido, considerando-se as seguintes vantagens (LENNER; MILLER; PRUSSACK,1996):

- Manutenção reduzida;
- Custo-benefício;
- Estética atraente;
- Capacidade de restaurar o local aos contornos originais (aterro contra as paredes de concreto).

A alternativa em concreto pré-moldado foi então aceita e iniciou-se o projeto. A reunião prévia para a construção foi realizada em 5 de novembro de 1993 e, a partir de 22 de novembro daquele ano, a equipe de engenharia iniciou a produção dos painéis. A montagem do primeiro reservatório começou em 24 de janeiro de 1994. Por conta do inverno rigoroso, o cronograma previsto era de entregar o primeiro reservatório até 15 de abril e o segundo reservatório até 15 de julho de 1994.

A mesa superior do painel do telhado (viga T) foi projetada com largura variável de 0,20 m em uma extremidade a 3 m na outra extremidade. Devido ao afunilamento da parte inferior da mesa da viga T de cobertura, a altura do painel varia de 0,80 m na extremidade estreita a 0,90 m na extremidade larga, dimensionado com auxílio de programa computacional que verificou as propriedades e tensões da seção em vários nós ao longo do comprimento do painel para resistir ao manuseio e às sobrecargas da cobertura. Para suportar os 78 painéis de cobertura, foi dimensionado uma viga em forma de anel central sobre 4 (quatro) pilares.

O dimensionamento resultou na viga em anel com diâmetro de 6 m e os pilares com seção quadrada de 0,60 m de lado. A viga em anel foi dimensionada para os momentos positivos e negativos, cisalhamentos e torções aplicados pelos painéis de viga T do telhado.

O projeto das paredes para as cargas impostas do solo ou da água gerou reações a serem resistidas pelas vigas do anel superior e inferior, que foram projetadas em concreto armado

convencional. A construção da viga do anel superior foi feita usando uma viga pré-moldada tipo calha - essencialmente apenas uma fôrma para o preenchimento de concreto moldado no local. Esta solução pareceu ser uma boa maneira de construir uma viga sem utilizar fôrma.

As paredes foram projetadas para resistir a uma altura de 9,1 m de pressão da água para fora ou a uma altura de 6 m de pressão do solo para dentro do reservatório. Como poderia haver situações em que os tanques ficariam vazios ou não teriam aterro, os cenários dos piores casos foram usados para dimensionar os painéis T individuais de parede. A espessura da mesa superior dos painéis T para resistir às tensões de flexão laterais exigia uma espessura mínima de 89 mm na borda externa.

A estabilidade geral do reservatório foi verificada para determinar o efeito do recalque diferencial do solo de um lado para o outro. As ligações foram projetadas para conectar os painéis de parede à viga inferior em forma de anel, a ligação da parede à cobertura, o conjunto da cobertura ao centro e a viga do anel central às colunas, além das verificações da fundação.

- **DETALHES DA PRODUÇÃO**

A fabricação dos elementos pré-moldados começou com uma produção de quatro painéis por dia. Do ponto de vista da produção, faria sentido projetar paredes para os dois tanques antes de mudar para os painéis de cobertura, mas isso não funcionaria para o cronograma de montagem. Os painéis de cobertura foram produzidos a uma taxa de dois painéis por dia.

- **DETALHES DA CONSTRUÇÃO E MONTAGEM**

A CPPC previa cerca de 30 dias para a montagem do reservatório e , para que isso ocorresse, deveriam ser executados muitos serviços em paralelo. O posicionamento de várias peças sobre a viga central anelar causaria uma grande elevação de carga, por isso a viga anelar foi escorada até o final da montagem de todas as peças da cobertura, conforme Figura 27.

**Figura 27. Vista interna do reservatório – Pilares pré-moldados, viga pré-moldada central em forma de anel escorada e painéis pré-moldados de seção T para cobertura**



Fonte: Lenner, Miller, Prussack (1996)

Os painéis de cobertura foram transportados em carreta Dolly e dois guindastes foram usados para erguer a cobertura, um guindaste hidráulico de 50 toneladas na extremidade estreita (dentro do reservatório) e um guindaste convencional de 62 toneladas na extremidade larga (fora do reservatório), como demonstrado na Figura 28.

**Figura 28. Vista interna do reservatório - Transporte dos painéis de cobertura em carreta Dolly e guindaste de montagem da cobertura**



Fonte: Lenner, Miller, Prussack (1996)

O projeto previa a colocação de concreto na base da parede para formar um chanfro e garantir que o impermeabilizante não tivesse uma transição acentuada entre as paredes e o piso. Quando aproximadamente 75% das paredes foram erguidas, a subempreiteira responsável pela impermeabilização começou a pendurar o geotêxtil e o revestimento impermeabilizante. Ao deixar o tanque aberto (com livre acesso ao seu interior), as plataformas elevatórias puderam ser usadas para pendurar as mantas, o que é muito mais rápido do que trabalhar em escadas ou andaimes, como apresenta a Figura 29.

**Figura 29. Vista interna do reservatório - colocação das mantas para impermeabilização interna**



Fonte: Lenner, Miller, Prussack (1996)

Quando chegou o momento de lançar as últimas peças pré-moldadas da cobertura, surgiu um desafio para a empreiteira CPPC. Essas peças não poderiam ser lançadas com uso de dois guindastes, porque o guindaste do centro deveria ser retirado de dentro do reservatório. Contratar um guindaste maior para o lançamento de apenas alguns painéis pelo lado de fora do tanque seria de um custo elevadíssimo e fora do orçamento programado.

Para resolver esse problema, um guincho em pórtico fixo foi projetado para levantar a parte estreita do elemento de fechamento da cobertura, apoiando sobre os elementos pré-moldados previamente posicionados na cobertura (Figura 30). O guindaste da parte externa do reservatório içou a extremidade larga dos elementos de cobertura.

**Figura 30. Guincho utilizado para finalizar a montagem da cobertura**



Fonte: Lenner, Miller, Prussack (1996)

À medida que as peças da cobertura foram colocadas no lugar, seus conectores foram soldados e rejuntados com grout. Uma fita de borracha EPDM (Etileno Propileno Dieno) de 152 mm de largura foi colada ao concreto e uma proteção de aço inoxidável foi afixada sobre o EPDM, conforme Figura 31.

**Figura 31. Instalação de borracha EPDM nas juntas entre os painéis de cobertura**



Fonte: Lenner, Miller, Prussack (1996)

Todos os prazos do planejamento foram cumpridos e os tanques foram concluídos, preenchidos com água e a área foi urbanizada.

- **AVALIAÇÃO APÓS A CONSTRUÇÃO**

Analisando a construção, Lenner, Miller, Prussack (1996) afirmam que é apropriado comentar o que não funcionou bem e o que seria feito de maneira diferente se o projeto fosse executado novamente, ou seja, as lições aprendidas. Segundo os autores, é necessário prestar atenção especial ao impermeabilizante instalado próximo à região da tubulação. A subempreiteira que realizou o serviço foi acionada várias vezes para corrigir pequenos vazamentos, o que causou certo transtorno e apontou para a necessidade de realizar um trabalho melhor na primeira vez.

A vedação da cobertura com borracha de EPDM permitiu que alguns pequenos vazamentos infiltrassem no reservatório em situação de chuva. Encontrar a causa é uma tarefa difícil, mas a explicação mais coerente é que o cimento usado para unir o EPDM ao concreto não cria uma ligação suficientemente forte para impedir a entrada de água em alguns locais. Como solução, foi acordada entre todas as partes a vedação entre as bordas do painel do telhado, fazendo o trabalho de dentro do tanque em uma balsa flutuando na água. Numa avaliação do projeto executado, a calafetagem na cobertura deveria ter sido considerada no contrato original e executada antes da adesão da tira de EPDM ou um sistema de vedação de junta diferente deveria ter sido usado.

#### ***EXEMPLOS DO EMPREGO DE ELEMENTOS PRÉ-MOLDADOS PLANOS NOS EUA***

Arafat (1975), consultor de um projeto de engenharia, descreve em seu artigo publicado no PCI Journal sobre os segmentos pré-moldados protendidos que foram utilizados para construção de dois tanques de armazenamento de gás natural liquefeito (GNL), em 1972 na cidade de Nova York (EUA). A técnica utilizada foi a fabricação e montagem de painéis de parede pré-fabricados pré-tracionados e com posterior protensão circunferencial das paredes.

Segundo Arafat (1975), a construção segmentar, na qual as unidades de concreto pré-moldado protendido são unidas circunferencialmente usando pós-tensionamento, fornece um meio eficaz e econômico para a construção de tanques de grande capacidade para armazenar esse combustível. Foram construídos tanques com uma altura de parede externa de cerca de 36 m e um diâmetro externo de quase 82 m. Para atingir a altura da parede de 36 m, foram utilizados dois painéis pré-moldados de 2,4 m de largura por 18 m de comprimento, um em cima do outro. Ao total foram utilizados 372 painéis superior e inferior por tanque, sendo que cada painel inferior possuía um peso de 50 toneladas e cada painel superior pesava 25 toneladas. A pré-tração dos painéis ocorreu na fábrica com a utilização de 7 cabos com  $\frac{1}{2}$  " (12,5mm) cada, enquanto a pós-tração circunferencial realizada no canteiro de obras utilizou cabos com diâmetro de  $\frac{3}{16}$  " (5mm). As fundações e lajes de fundo foram concretadas convencionalmente. Após a conclusão do anel de aço externo da

laje de piso, os elementos metálicos foram ajustados verticalmente e ancorados à fundação de concreto para fornecer suporte lateral contra cargas de vento para os painéis de parede pré-fabricados durante a montagem. A cobertura foi executada em estrutura metálica e formato esférico.

Arafat (1975) descreve que os painéis pré-fabricados foram transportados da fábrica até o canteiro de obras na posição horizontal com a face interna dos painéis e as alças de içamento voltados para cima. As paredes foram erguidas a uma taxa média de cinco painéis por dia usando um guindaste de 250 toneladas. O veículo foi montado com uma grua com um comprimento máximo da lança de 97,5 m a um raio de 5,50 m a partir do centro de rotação. O guindaste operava a cerca de 9,0 m da parede externa. A pós-tensão circunferencial foi aplicada uniformemente nas paredes interna e externa. Esse pós-tensionamento foi aplicado em camadas, variando de 13 camadas no fundo do tanque a duas camadas na parte superior, enquanto o espaçamento dos fios aumentava à medida que a protensão avançava. A pós-tensão circunferencial das paredes começou quando o concreto atingiu 90% de sua resistência aos 28 dias. A tensão máxima de compressão no concreto no momento da protensão não excedia 55% da resistência do concreto aos 28 dias. A aplicação de elevadas forças de protensão forneceu uma parede impermeável, assegurando que nenhum gás liquefeito pudesse escapar dos tanques. Passados 2 anos após a construção, os dois tanques tiveram um desempenho muito satisfatório. Não houve evidência de fissuras nas paredes ou em qualquer outro problema.

Arafat (1975) conclui que a construção segmentar, na qual as unidades pré-moldadas são ligadas circunferencialmente usando pós-tensionamento, é um meio eficaz e econômico para a construção de tanques de GNL de grande capacidade.

Na procura por empresas norte-americanas que recentemente produzem painéis pré-fabricados para a construção de reservatórios de abastecimento de água e de unidades de tratamento de efluentes, destaca-se uma empresa denominada Dutchland Incorporated, que se especializou em engenharia, fabricação e construção de tanques em concreto protendido (pré-tracionados e pós-tracionados) de forma circulares, retangulares e elípticos.

Segundo essa empresa, a destinação do uso destes tanques, em geral, é:

- Estação de Tratamento de Esgoto (ETE)
- Estação de Tratamento de Água (ETA)
- Reservatórios de água potável
- Areadores
- Decantação
- Homogeneização
- Reatores biológicos

- Espessadores
- Leitos biológicos
- Silos

A Figura 32 apresenta duas estações de tratamento de efluentes, à esquerda com reservatórios em concreto pré-moldado de formatos circulares e à direita com formatos elípticos.

**Figura 32. Estação de Tratamento de Esgoto**



Fonte: Dutchland Incorporated

A Figura 33 apresenta a montagem de um reservatório circular para abastecimento de água que utiliza o sistema construtivo em concreto pré-fabricado.

**Figura 33. Montagem de reservatório circular em CPM**



Fonte: Dutchland Incorporated

A Figura 34 apresenta um Reservatório Circular Semienterrado em concreto pré-moldado e com cobertura com painéis em concreto pré-moldado aparente.

**Figura 34. Reservatório de água potável e cobertura de CPM aparente**



Fonte: Dutchland Incorporated

#### **2.8.4 CANADÁ**

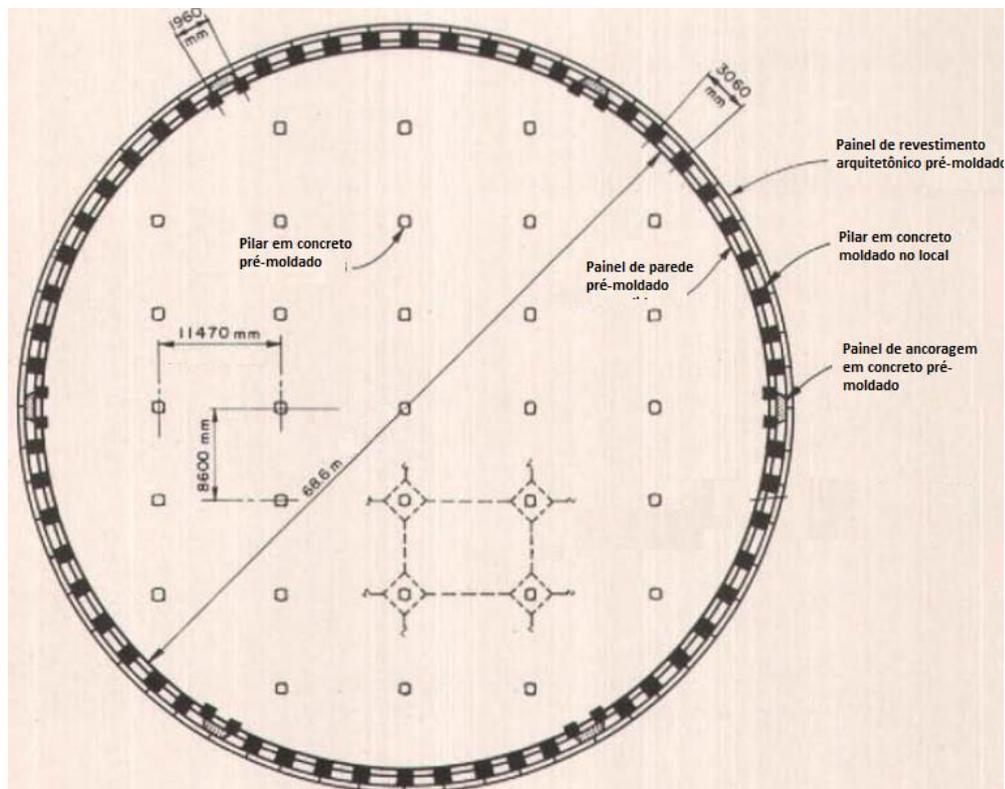
Rogne e Harrison (1980) descrevem que os requisitos estabelecidos pelo município de Regina para o Reservatório do Noroeste especificaram uma capacidade de reservatório desejada de aproximadamente 45.000 m<sup>3</sup> com um diâmetro não inferior a 67,1 m, nem superior a 70,1 m. Um requisito adicional era que fosse dada atenção ao tratamento estético e ao paisagismo, para que a estrutura se harmonizasse com as casas existentes e com a via próxima ao local do projeto. O projeto foi iniciado em abril de 1978 com o objetivo de colocar o reservatório em serviço antes do verão de 1979. A consideração dessas restrições e do sistema hidráulico estabeleceu que uma estrutura circular, com um diâmetro interno de 68,6 m e uma altura de parede de 11,6 m, atenderia com mais eficiência aos requisitos do projeto.

Foram avaliados quatro sistemas estruturais alternativos, entre eles o sistema em concreto armado convencional (moldado no local), o concreto moldado no local com protensão posterior (pós-tensionado), o concreto protendido em cabo enrolado e o concreto protendido pré-fabricado. Além desses, foi cogitada a possibilidade de usar um tanque metálico (aço estrutural), porém uma revisão superficial de vários sistemas patenteados demonstrou que não eram adequados e nem econômicos para a situação. Uma análise preliminar de custos mostrou que a alternativa de concreto protendido pré-moldado produziria uma aparente economia de custos entre 5 a 10% em relação aos outros sistemas estruturais. Outros fatores que influenciaram a seleção desse sistema estrutural foram:

- **Estanqueidade:** A protensão dos painéis de parede em duas direções, ou seja, pré-tensionamento vertical e pós-tensionamento horizontal, praticamente garante a estanqueidade.
- **Controle de Qualidade:** A fabricação em condições de instalação industrial permite um melhor controle de qualidade.
- **Velocidade de construção:** O cronograma do projeto determinava que o reservatório fosse comissionado antes da alta temporada de verão, forçando as operações de construção a continuar durante as duras condições típicas do inverno. A construção da maioria da estrutura foi a única maneira aparente de atender às demandas desse cronograma.

O projeto do reservatório foi elaborado com um detalhe diferente de outros projetos em concreto pré-moldado: Painéis internos de parede estrutural em concreto pré-moldado protendido intercalados com pilares em concreto moldado no local, painéis de ancoragem de cabos pré-moldados e painéis externos de revestimento arquitetônico em concreto pré-moldado, além de pilares em concreto pré-moldado distribuídos ao centro e cobertura em laje alveolar, conforme Figura 35.

**Figura 35. Planta do reservatório mostrando os principais elementos estruturais**



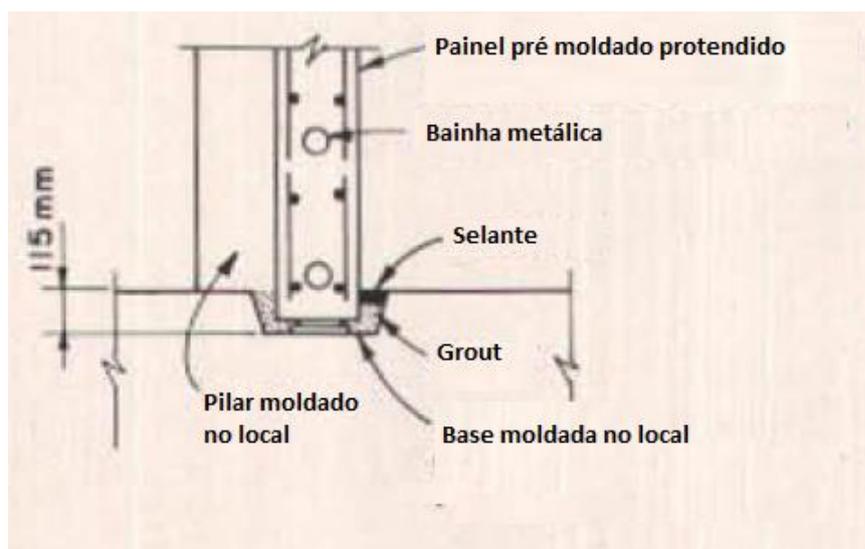
Fonte: Adaptado de Rogne e Harrison (1980)

Entre os painéis internos de parede foram projetados pilares em concreto moldado no local para a estrutura da parede do reservatório, além de pilares pré-moldados

distribuídos no interior do reservatório e fundação em concreto moldado no local. Um projeto preliminar foi realizado para obter uma estimativa da espessura da parede. Os tamanhos típicos de painéis de parede e painéis de ancoragem foram então determinados considerando as restrições geométricas, a capacidade do guindaste, as normas de controle de qualidade e as dificuldades de montagem. Os pilares de concreto moldado no local foram dimensionados com dimensões mínimas que ainda permitiam o lançamento do concreto e mantinham o controle de qualidade. Os pilares foram reforçados para controlar as fissuras de retração.

Os painéis de parede foram protendidos verticalmente para resistir à flexão vertical aplicada devido à pressão da água e devido à pressão do aterro (empuxo). Verificou-se, durante o projeto, que os requisitos de protensão vertical eram os principais critérios para determinar a resistência à compressão do concreto, e, além disso, que a seção crítica no painel da parede está no local das bainhas de pós-tensão.

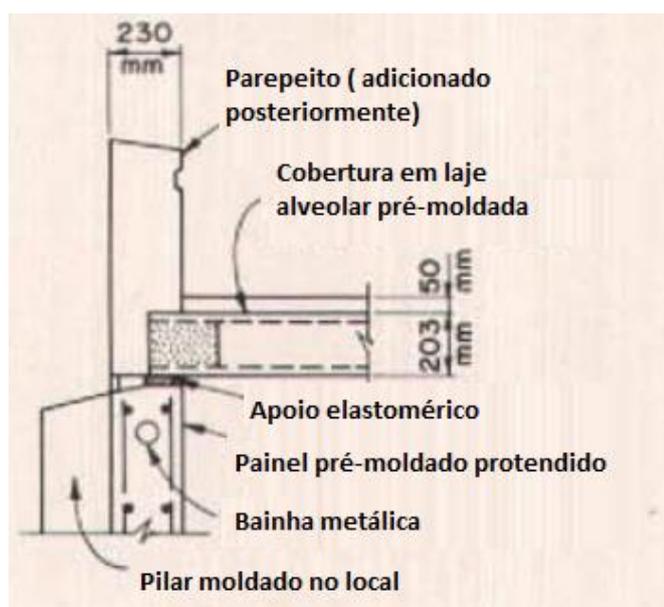
**Figura 36. Detalhe da ligação articulada entre o painel de parede e a base**



Fonte: Adaptado de Rogne e Harrison (1980)

A base de concreto moldado no local foi pós-tensionada, a fim de resistir ao cisalhamento na base da parede. Os cabos de aço foram projetados contínuos por um terço da circunferência do tanque, com cabos adjacentes retirados em contrafortes alternados. As perdas por atrito e outras perdas por esforço prévio foram calculadas usando procedimentos semelhantes aos usados para pontes. A consideração importante do projeto da estrutura da cobertura foi garantir que uma junta deslizante fosse obtida entre a laje de cobertura e as paredes do perímetro. Isso permite o movimento lateral das paredes devido a mudanças de temperatura, pressão da água e empuxo, conforme Figura 37. A laje de cobertura em painéis alveolares de concreto pré-moldado protendido, as vigas do telhado pré-moldado e as colunas de concreto pré-moldado foram projetadas de acordo com a prática padrão.

**Figura 37. Detalhe da ligação da cobertura com a parede**



Fonte: Adaptado de Rogne e Harrison (1980)

Rogne e Harrison (1980) afirmam que o desempenho inicial do reservatório justificou a seleção do concreto pré-moldado em PSP (sistema concreto pré-moldado, segmentado e pós-tracionado). Além disso, a protensão dos painéis de parede em duas direções praticamente garante a estanqueidade das paredes, se uma atenção especial for dada à construção do pilar e da junta parede-base. A utilização dos painéis arquitetônicos pré-moldados foi aprovada pelos moradores da região, pois proporcionou uma harmonia e adequação com a paisagem local. A Figura 38 apresenta parte do processo construtivo.

**Figura 38. Elevação dos painéis de parede durante o inverno.**



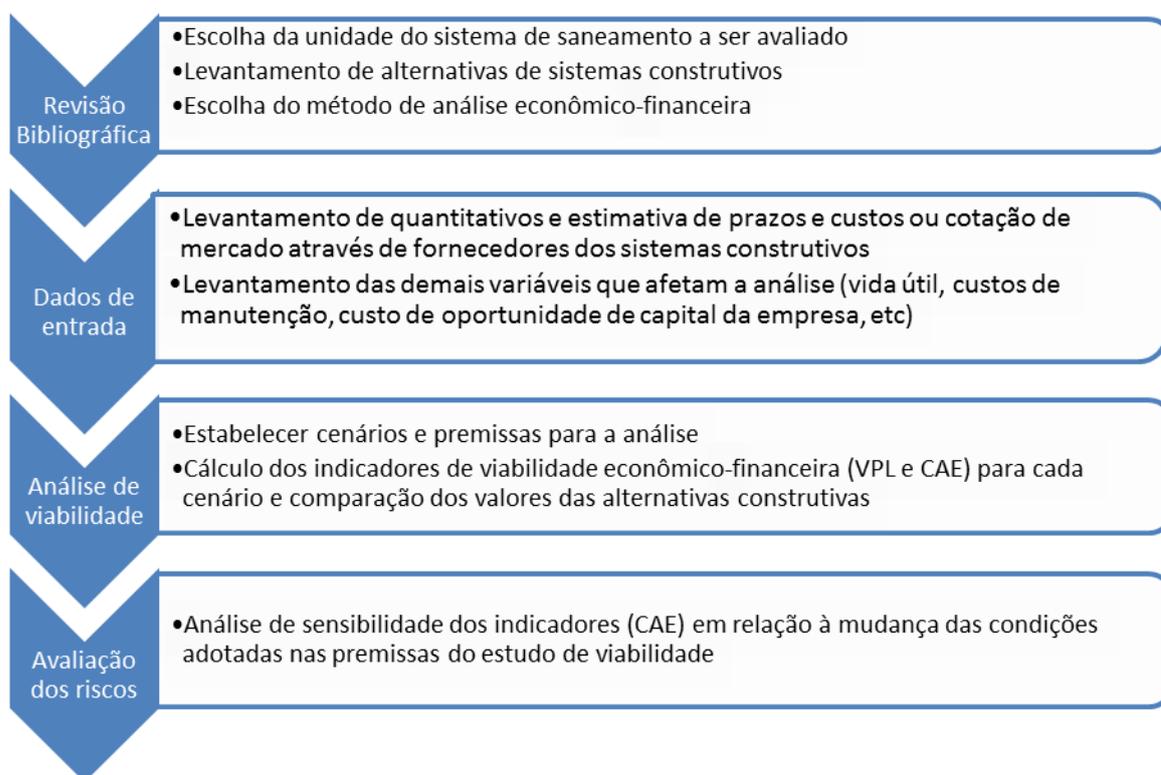
Fonte: Rogne e Harrison (1980)

## 3. METODOLOGIA

### 3.1 FLUXOGRAMA E ESTRUTURA DA PESQUISA

A Figura 39 apresenta o fluxograma dos processos para a análise de investimentos que foi utilizada na pesquisa.

**Figura 39. Fluxograma das etapas da pesquisa**



Fonte: Próprio autor (2020)

A estrutura da presente pesquisa pode ser classificada como de natureza aplicada, que tem por finalidade produzir conhecimentos para aplicação prática e que busca analisar problemas específicos. Em relação a sua forma de abordagem, esta pesquisa se classifica como quantitativa, pois busca analisar o objeto de estudo através de quantitativos extraídos de projetos, índices de custos e valores de teorias econômicas.

Como objeto de estudo deste trabalho, foi escolhido o reservatório circular apoiado sobre o terreno, uma vez que, a partir de revisão bibliográfica internacional, encontrou-se uma quantidade maior desse tipo de reservatório construído em painéis planos de concreto pré-moldado e com protensão circunferencial com cabos internos não aderentes, assim como exemplares dessa técnica construtiva para reservatório circular semienterrado.

### 3.2 MÉTODO DE ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICO-FINANCEIRA

O método de análise de viabilidade econômico-financeira desta pesquisa, no caso em específico do projeto de estruturas do reservatório circular apoiado sobre o terreno, deve considerar algumas premissas para avaliação dos sistemas construtivos.

Primeiramente, deve-se atentar que a vida útil do sistema construtivo convencional e do sistema construtivo em concreto pré-moldado são diferentes. Assim, para utilizar a análise de investimento pelo método do Valor Presente Líquido (VPL) seria necessário que os dois métodos construtivos tivessem o mesmo prazo de vida útil de projeto ou, sendo diferentes os prazos de ciclo de vida útil, ambos os projetos deveriam ser repetidos tantas vezes quanto fossem necessárias para que se obtenha o mesmo tempo de projeto para as alternativas, ou seja, encontrar o mínimo múltiplo comum entre os dois prazos de vida útil.

A definição de vida útil de projeto, segundo NBR 6118 (2014), pode ser compreendida como o período no qual são mantidas as características das estruturas de concreto, sem intervenções significativas, na condição de atendimento dos requisitos de uso e manutenção prescritos pelo projetista e pelo construtor. A mesma norma brasileira ainda define que a vida útil é aplicada à estrutura como um todo ou às suas frações, sendo que algumas parcelas da estrutura podem ser analisadas isoladamente com diferente valor de vida útil em relação à estrutura global.

A definição de um prazo de vida útil das estruturas de concreto armado é uma tarefa complexa, em grande parte devido à quantidade e variabilidade dos parâmetros que interferem na sua determinação. Segundo Medeiros, Andrade, Helene (2011), a Federação Internacional do Concreto (FIB) orienta que a vida útil de projeto deve ser tratada sob pelo menos três aspectos:

- Métodos de introdução ou verificação da Vida Útil no Projeto;
- Procedimentos de Execução e Controle de Qualidade;
- Procedimentos de Uso, Operação e Manutenção.

Porém, por se tratar de prazos relativamente longos (em torno de 50 anos), provavelmente não ocorrerá uma grande quantidade de repetições desses projetos de reservatórios analisados na pesquisa, pois nesse período podem surgir novas tecnologias e as avaliadas na pesquisa podem se tornar obsoletas.

Outro ponto importante sobre considerações do estudo de viabilidade é que a concessionária dos serviços públicos de saneamento básico (abastecimento de água e esgotamento sanitário) tem seus investimentos e custos de operação remunerados através das tarifas de prestação de serviços, além de outros serviços que são realizados em menor

escala (troca ou primeira instalação de hidrômetros, taxas para avaliação de projetos de saneamento, etc). Nesta pesquisa considerou-se como premissa que o sistema de abastecimento de água é remunerado em sua plenitude pelas receitas tarifárias advindas do consumo residencial. Dessa forma, a implementação das unidades do sistema de abastecimento de água, como os reservatórios, estações elevatórias de água, rede de distribuição de água e ligações da rede à unidade de consumo são infraestruturas necessárias para o atendimento dos consumidores e possui a capacidade de gerar a mesma receita, independente dos materiais e sistemas construtivos adotados. Baseando-se nessa premissa, a receita tarifária será a mesma para o reservatório construído em concreto moldado no local e para o construído em concreto pré-moldado.

Por esses motivos, optou-se por utilizar um método de análise de investimentos mais adequado para esse caso, que é o método do Custo Anual Equivalente (CAE), no qual o sistema construtivo que apresentar menor custo (CAE) durante sua vida útil possui uma tendência de ser selecionado como melhor opção, avaliando-se somente pelo critério de viabilidade econômico-financeira.

O Custo Anual Equivalente (CAE) transforma o Valor Presente Líquido (VPL) dos custos do projeto (investimentos somados aos custos de manutenção) numa parcela uniforme. No caso desta pesquisa foram calculados os VPL's dos custos da implementação e manutenção dos reservatórios construídos em concreto moldado no local e concreto pré-moldado. Com o valor de VPL para cada sistema construtivo e cada volume analisado, foi então possível encontrar qual é a parcela anual uniforme que, distribuída ao longo da vida útil, representa o Custo Anual Equivalente do fluxo de caixa. A equação (1) apresenta a fórmula que permite o cálculo do CAE:

$$CAE = VPL_c \cdot \left[ \frac{(1+i)^n \cdot i}{(1+i)^n - 1} \right] \quad (1)$$

Sendo que:

$i$  = Taxa de desconto ou custo de capital da empresa (%);

$n$  = vida útil do reservatório em anos;

$VPL_c$  = Valor Presente Líquido do investimento e dos custos de manutenção;

CAE = Custo Anual Equivalente.

Para se calcular o Valor Presente Líquido dos custos  $VPL_c$  do projeto, pode-se utilizar a equação (2) :

$$VPL_{C1} = V_{Invest} + \sum_{j=1}^n \frac{Vc_j}{(1+i)^j} \quad (2)$$

Onde:

$Vc_j$  = Custos (operação e manutenção) para o período  $j$

$i$  = Taxa de desconto ou custo de capital da empresa (%)

$j = 1, 2, 3, \dots, n$  (períodos em anos)

$V_{Invest}$  = Valor do investimento inicial para construção do reservatório

$VPL_{C1}$  = Valor Presente Líquido dos custos e investimento inicial

Através dos dados que são necessários para a análise de viabilidade, como a vida útil de projeto do reservatório, o valor de investimento inicial, ou seja, o orçamento da execução do reservatório (já incluindo a margem de lucro da construtora) e os valores estimados com despesas de manutenção preventiva e/ou corretiva ao longo da vida útil da obra, é possível calcular o Valor Presente Líquido dos Custos ( $VPL_C$ ) e o Custo Anual Equivalente (CAE) de cada fluxo de caixa, considerando uma taxa de desconto ( $i$ ) adotada como sendo a taxa mínima de atratividade (TMA) para a empresa concessionária de saneamento básico.

O prazo de execução do reservatório pelo sistema construtivo em concreto pré-moldado é importante para avaliar o potencial de antecipação do lucro operacional do sistema e da alteração do fluxo de caixa, já que esse lucro pode reduzir o impacto do valor de investimento com o concreto pré-moldado. Para a análise de viabilidade que considera o prazo de execução do reservatório, o Valor Presente Líquido do reservatório em concreto pré-moldado pode ser calculado conforme a equação (3):

$$VPL_{C2} = (V_{Invest} - L_{op}) + \sum_{j=1}^n \frac{Vc_j}{(1+i)^j} \quad (3)$$

Na qual:

$L_{op}$  = Lucro operacional obtido com a cobrança de tarifa na antecipação do início de operação do sistema de abastecimento de água

$VPL_C$  = Valor Presente Líquido dos custos e investimento inicial, subtraindo o lucro operacional.

As demais variáveis são as mesmas apresentadas na equação (2)

Para a estimativa da capacidade de população que o volume do reservatório consegue abastecer, utilizou-se o critério de projetos de sistemas de abastecimento de água no qual o volume reservado deve ser suficiente para abastecer, no mínimo, 1/3 (um terço) da população de sua área de influência no final de plano do projeto, ou seja, no ano final de do horizonte de projeto (geralmente 20 anos). A equação (4) apresenta a relação entre as variáveis.

$$V_R = \frac{P \cdot q \cdot k_1}{3} \cdot (1 - IP) \quad (4)$$

Sendo que:

$V_R$  = Volume do reservatório (capacidade de armazenar água)

$P$  = População (número de habitantes) que pode ser atendida por esse reservatório

$q$  = Consumo diário per capita, em L/(hab. dia).

$k_1$  = Coeficiente do dia de maior consumo

$IP$  = Índice de perdas de água na distribuição (%)

Isolando a variável de população ( $P$ ) e considerando a taxa de ocupação da área de influência, que representa a quantidade média de habitantes (moradores) por residência, então é possível estimar o número de residências que serão atendidas pelo reservatório. O valor do lucro operacional ( $L_{op}$ ) pode ser calculado com a multiplicação do número de residências da área de influência do reservatório pelo lucro médio tarifário da empresa por unidade consumidora (residência).

Deve-se ressaltar que nessa pesquisa não foi avaliada a viabilidade econômico-financeira do Sistema de Abastecimento em sua totalidade, pois para isso seria necessário avaliar todos os investimentos e despesas de exploração dos serviços de abastecimento de água, além de obter as receitas devido à exploração desses serviços. O intuito da pesquisa é avaliar a escolha entre alternativas distintas para a execução da estrutura do reservatório, que é uma unidade do sistema de abastecimento. Para esse tipo de análise, avaliando-se as alternativas exclusivamente de forma econômica e financeira, aquela que apresentar o menor CAE será mais vantajosa para a empresa que aplicará o investimento.

Além da análise de viabilidade econômico-financeira através do método do Custo Anual Equivalente, realizou-se uma análise de sensibilidade das variáveis consideradas no estudo de viabilidade, visando mensurar qual o impacto causado na análise com a variação dos dados de entrada das análises, entre eles a vida útil do reservatório, os custos com manutenções, custos com transportes, prazos de execução e diferentes valores de lucro operacional por unidade consumidora.

## 4. ESTUDO DE CASO

### 4.1 DEFINIÇÃO DOS MODELOS E CENÁRIOS

Não foram consideradas as fundações dos reservatórios na análise desta pesquisa, uma vez que seriam necessárias análises de projetos e cargas da estrutura no solo, além de sondagem do solo, que pode ter propriedades distintas em cada local de aplicação.

Assim, para o estudo de viabilidade econômico-financeira da aplicação do reservatório circular apoiado, considerou-se somente a execução das paredes e da cobertura do reservatório. Para essa análise, foram escolhidos dois modelos de técnicas construtivas:

- **Concreto Moldado no Local (CML):** A técnica construtiva de concreto armado convencional, utilizada como referência para a pesquisa, foi baseada em um projeto estrutural (ver anexos) existente que a Companhia de Saneamento Básico do Estado de Goiás - SANEAGO S.A. utilizou para a construção de reservatórios circulares apoiados com capacidade de 5.000 m<sup>3</sup> em alguns municípios atendidos pela empresa. Essa técnica pode ser explicada, simplificada, pela execução de estrutura de concreto armado moldado no local e com posterior protensão da armadura ativa (cabos com cordoalhas engraxadas) na parede para resistir aos esforços do empuxo da água. A técnica construtiva é convencional, com uso intensivo de mão de obra para execução das paredes e laje de cobertura, por exemplo, armadores para montagem da armadura passiva, carpinteiros para montagem das fôrmas da parede e lajes (painéis em chapa de madeira compensada plastificada) e pedreiros para concretagem das paredes em etapas, além de montagem de andaimes para trabalhos em altura e cimbramento metálico para escoramento do fundo da laje e das vigas. No projeto, a armadura ativa (de protensão) apresenta ancoragens diferentes nas extremidades de um mesmo cabo, sendo ancoragem ativa em uma extremidade e ancoragem passiva na outra. Dessa forma, na extremidade de ancoragem ativa há alongamento do cabo com auxílio de macaco hidráulico, enquanto na extremidade de ancoragem passiva não ocorre esse alongamento com o uso de equipamento, pois somente é dobrado o cabo em forma de “laço” e colocado uma armadura de fretagem em espiral (ver anexos). As extremidades dos cabos ficam alojadas em uma nervura saliente da parede do reservatório, com 0,70 m de saliência e 1,80 m de largura. Para sustentação da cobertura do reservatório, é previsto um pilar central com capitel para apoiar a laje, além de uma viga circunferencial apoiada em pilares, com distância em relação ao centro de aproximadamente metade do raio da circunferência do reservatório (em planta).

- **Concreto Pré-Moldado (CPM):** A técnica construtiva estudada foi a do reservatório circular construído em painéis planos de concreto pré-moldado que recebem a protensão circunferencial com cabos internos não aderentes. As etapas de produção e montagem dos painéis estão detalhadamente descritas no item 2.8.2 desta pesquisa. Os painéis são fabricados em instalações industriais (com rigoroso controle de qualidade) e recebem uma protensão vertical (na direção da altura) após o concreto atingir a resistência necessária para suportar tal esforço. Em seguida, os painéis pré-moldados protendidos são transportados para o canteiro de obras, onde são movimentados e posicionados com auxílio de guindaste(s), seguindo um plano de rigging. Após colocação dos painéis de parede é executada a concretagem no local da junta entre os painéis e a laje de fundo, e, em seguida, ocorre a colocação dos cabos da armadura ativa (cordoalhas engraxadas) ao longo da circunferência da parede do reservatório. O próximo passo é a injeção de calda de cimento (pressurizada) para o preenchimento das juntas verticais entre os painéis e das bainhas metálicas que contêm os cabos com cordoalhas não aderentes. Os cabos são protendidos com auxílio de macaco hidráulico e suas extremidades são ancoradas e vedadas nos painéis especiais de ancoragem. A cobertura do reservatório é montada através do lançamento dos elementos pré-moldados centrais (pilares e vigas) que sustentam os painéis de cobertura em formato cônico.

Nesta pesquisa, avaliou-se a viabilidade da aplicação do concreto pré-moldado em reservatórios apoiados, considerando-a como uma alternativa em relação à construção da estrutura em concreto moldado no local, com vida útil distinta para cada sistema construtivo. As seguintes situações foram consideradas para análise:

- **Cenário 1:** O prazo de execução dos reservatórios não foi considerado nesta análise, de modo que, tanto a construção em concreto moldado no local (C.M.L.) quanto em concreto pré-moldado (C.P.M.) apresentaram temporalmente um mesmo ponto de início de fluxo de caixa, ou seja, o início da operação do sistema de abastecimento de água ocorreu no mesmo momento, independente do sistema construtivo escolhido.
- **Cenário 2:** Nesta análise foi considerado o prazo de execução dos sistemas construtivos, de forma que a redução do prazo de construção para o reservatório em concreto pré-moldado resultou na antecipação da operação do sistema de abastecimento e do lucro operacional da empresa concessionária de saneamento básico. Nesse cenário, os fluxos de caixa dos dois sistemas construtivos não iniciam ao mesmo tempo e o sistema pré-moldado resulta no acúmulo de lucro operacional inicial, equivalente ao período entre o término da construção do reservatório em concreto pré-moldado e o término do reservatório em concreto moldado no local, que seria uma forma de reduzir o impacto do investimento inicial na aquisição e montagem dos painéis de concreto pré-moldado.

A análise do cenário 1 é equivalente à situação quando somente a construção do reservatório não seria suficiente para o início da operação do sistema de abastecimento de água à população da região de área de influência desse reservatório, ou seja, mesmo com a disponibilidade do reservatório, ainda seria necessário concluir outras obras (adutoras, estação elevatória, rede de distribuição ou ramais de ligações) para funcionalidade do sistema. Já a análise do cenário 2 equivale à situação na qual as demais unidades do sistema seriam concluídas junto à finalização da construção do reservatório, ou seja, com a construção do reservatório e suas instalações hidráulicas e elétricas, o sistema poderia entrar em operação, resultando na antecipação do início do fluxo de caixa do projeto.

Com a finalidade de avaliar o impacto do custo de transporte na aplicação do concreto pré-moldado na construção de um reservatório para um caso real, a princípio foi adotada como referência a cidade de Goiânia, capital do estado de Goiás, porém ao longo da pesquisa, com a análise de sensibilidade do estudo, foi avaliada também a variação do custo de transporte, o que seria equivalente a analisar várias distâncias de transporte entre a unidade fabril e o canteiro de obras. Além disso, também foi analisada a situação que desconsidera o custo de transporte dos painéis, a fim de se avaliar o potencial de competitividade somente do produto (sistema construtivo).

Dessa forma, foram feitas duas considerações para o cálculo do CAE para a construção de reservatórios na cidade de Goiânia-GO: uma primeira incluindo as despesas de transporte e uma segunda desconsiderando as despesas de transporte dos painéis pré-moldados. Além dessa consideração, ainda foi realizada uma análise de sensibilidade, de forma que possibilitou avaliar o impacto do custo de transporte na viabilidade econômico-financeira do uso do concreto pré-moldado para cada volume de reservação da pesquisa.

## **4.2 PREMISSAS ADOTADAS**

Inicialmente, partiu-se da premissa que a escolha por qualquer um dos sistemas construtivos não causaria impacto na receita do projeto (considerando a mesma tarifa de água em ambos os casos), já que os investimentos do setor de saneamento básico são remunerados através das receitas tarifárias e o valor da tarifa é estabelecido junto à agência reguladora de serviços públicos.

A análise de viabilidade do sistema construtivo em concreto moldado no local (atualmente utilizado no Brasil) se baseou nas seguintes premissas para compor o fluxo de caixa:

- O investimento inicial para a execução da estrutura do reservatório circular apoiado em concreto armado convencional foi estimado de acordo com os quantitativos de projetos de reservatórios com volumes de 2.000 m<sup>3</sup>, 5.000 m<sup>3</sup> e 10.000 m<sup>3</sup> (conforme diâmetros e alturas adotadas) e de acordo com os preços estabelecidos pelo Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI), na referência de 2018. Esses modelos de reservatórios foram baseados no projeto-padrão de 5.000 m<sup>3</sup> utilizado pela Saneago, servindo de base para o levantamento de quantitativos de fôrma, concreto, aço e outros itens complementares.
- Os valores adotados para estimativa do orçamento foram: Benefícios e Despesas Indiretas (BDI) para materiais/equipamentos igual a 14,02%, BDI para construção civil/ serviços igual a 24,18% e Leis Sociais da mão de obra Horistas igual a 118,42%, que são valores geralmente utilizados como referência em orçamentos públicos para contratação de empresa construtora de reservatórios.
- Os registros dos custos de manutenção dos reservatórios não foram encontrados com facilidade, pois esses dados dependem de uma rigorosa estrutura de registros contábeis. Além disso, existe o fato de se verificar que muitas manutenções são realizadas com mão de obra própria da concessionária prestadora de serviço de saneamento, no caso da Saneago, o que dificulta o registro e levantamento dos custos por não ser um serviço contratado, não possuindo registro de faturas e boletins de medição de quantitativos de serviço executados. Para a análise da viabilidade considerou-se, a cada 10 anos no fluxo de caixa, um custo de manutenção estimado em 5% do custo de implantação do reservatório em concreto moldado no local.
- As recomendações de tempo de vida útil de projeto (VUP) para estruturas correntes são de no mínimo 50 anos, baseando-se nas normas utilizadas na Inglaterra (BS 7543:1992) e em Portugal (NP EN 206-1: 2007). A norma brasileira NBR 15.575:2013 também estabelece que a VUP para elementos estruturais usuais deva ser de 50 anos, no mínimo. Sendo assim, esse valor de 50 anos foi adotado na análise desta pesquisa como sendo a vida útil mínima da estrutura do reservatório de concreto moldado no local.
- O prazo de execução da estrutura dos reservatórios apoiados, executados em concreto moldado no local, foi estimado com base nos índices de produtividade de cada atividade necessária para sua construção, conforme valores do SINAPI.

A análise de viabilidade do sistema construtivo em concreto pré-moldado se baseou nas seguintes premissas para compor o fluxo de caixa do projeto:

- Os valores de investimento inicial foram obtidos através de contato com empresa brasileira (localizada na região sudeste do país) que forneceu os preços de fabricação, transporte e montagem dos painéis de concreto pré-moldado pretendido para execução dos reservatórios circulares apoiados (volumes de 2.000 m<sup>3</sup>, 5.000 m<sup>3</sup> e 10.000 m<sup>3</sup>). Foram utilizados para a análise de viabilidade tanto o valor de investimento com o custo de transporte dos painéis até a cidade de Goiânia quanto o valor de investimento inicial sem o custo desse transporte no preço de aquisição. A distância entre a unidade de fabricação dos painéis e o local hipotético da obra (Goiânia) é de 1.400 km.
- No catálogo da empresa que forneceu a proposta comercial é divulgada que uma das vantagens de se utilizar o sistema desenvolvido é justamente a ausência de manutenções. No entanto, devido à falta de exemplares e dados disponíveis para comprovar que na prática não serão necessárias despesas com manutenções, considerou-se o custo de manutenção igual a 0,50% do valor de aquisição, a cada 15 anos no fluxo de caixa do projeto.
- O fabricante do sistema de painéis pré-moldados pretendidos divulgou a informação de que a vida útil da estrutura é maior em relação aos sistemas convencionais, sendo a vida útil de projeto, no mínimo, 70 anos. Para avaliar a viabilidade da aplicação do sistema, foi adotado, então, um prazo mínimo de duração de 70 anos de projeto no fluxo de caixa.
- Os prazos de fabricação e montagem da estrutura dos reservatórios, construídos em sistema de painéis pré-moldados, foram informados na proposta comercial da empresa fabricante dos painéis.
- Para avaliação do impacto do lucro operacional antecipado, no início do fluxo de caixa, considerou-se um valor de lucro unitário igual a R\$10 por residência atendida na área de influência dos reservatórios analisados.

Para os dois sistemas construtivos não foram considerados os custos indiretos com o canteiro de obras, pois se partiu da premissa de que, independente da conclusão da obra do reservatório, tal canteiro de obras deveria permanecer instalado para administração de demais obras do sistema de saneamento básico a ser implantado, como obras lineares de instalação de adutoras e ramais de ligação.

É importante deixar claro que os custos indiretos dependem do prazo de execução da obra. Portanto, os gastos com canteiro de obras são variáveis conforme tal prazo. Esses custos indiretos são gastos com administração do canteiro de obras (engenheiro responsável, medicina e segurança do trabalho, mestre de obras e encarregados, manutenção de equipamentos, consumo de energia elétrica, água, serviços de telefonia,

guarda patrimonial, etc.) e custos com locações e infraestrutura das instalações dos canteiros, como aluguel de equipamentos e alojamentos para os empregados. Os custos indiretos são computados na planilha de orçamento de forma independente da composição dos custos unitários, por se tratarem de custos que dependem basicamente do prazo de execução da obra e não da quantidade de serviços. Devido ao fato de se configurarem como custos peculiares da estrutura de cada construtora e o porte das obras, devem ser levados em consideração numa análise de concepção e viabilidade quando o prazo de execução das alternativas for tão discrepante que pode resultar num acréscimo significativo do preço da obra e alterar a viabilidade econômico-financeira do projeto.

Com relação ao estudo de viabilidade, a Taxa Mínima de Atratividade (TMA) adotada na análise do fluxo de caixa descontado foi de 10% ao ano, baseada na WACC (Weighted Average Capital Cost) ou custo médio ponderado de capital. Cada empresa de saneamento básico possui um valor de WACC (taxa de desconto), pois esse valor depende das características financeiras da empresa. No entanto, a taxa anual adotada (10%) se aproxima do valor real da maioria das Companhias Estaduais de Saneamento Básico e foi utilizada para o cálculo do Valor Presente Líquido (VPL) e, posteriormente, para o valor do Custo Anual Equivalente (CAE). Apesar de parecer, a princípio, uma taxa mínima de atratividade baixa (em comparação a outros tipos de investimentos), deve-se considerar o aspecto social e ambiental do saneamento básico. Por isso, empresas públicas deste setor, com ajuda de recursos não onerosos da União, buscam investir em empreendimentos mesmo que tenham baixas expectativas de retornos financeiros (taxas e período de retorno do investimento).

Na análise do cenário 2 foi considerada a relevância dos prazos de execução do reservatório pelo sistema construtivo em concreto pré-moldado e a antecipação do lucro operacional com o sistema de abastecimento de água pela empresa na região das unidades consumidoras (residências) próximas ao reservatório, utilizando-se o concreto pré-moldado na execução da estrutura.

A diferença entre a receita tarifária de água (receita operacional) e a despesa de exploração do serviço (despesas com pessoal, energia elétrica, produtos químicos e demais insumos para o tratamento de água bruta, entre outros relativos à operação e manutenção do sistema) resulta no lucro operacional da concessionária de saneamento. Tal lucro, evidentemente, pode variar muito para cada município ou localidade, já que as despesas dependem das unidades de tratamento de água necessárias para disponibilizar água dentro dos padrões de potabilidade para consumo humano, além de depender do consumo de energia elétrica do sistema de abastecimento, de gastos com troca de materiais hidráulicos e/ou elétricos das unidades instaladas. Já as receitas dependem do adensamento urbano da região (número de ligações por metro de rede instalada), do consumo de água (volume de

água consumida) e da tarifa cobrada pela prestação do serviço público de abastecimento de água.

O lucro operacional mensal foi estimado com base na população da área de influência de abastecimento de cada volume de reservatório (2.000 m<sup>3</sup>, 5.000 m<sup>3</sup> e 10.000 m<sup>3</sup>), conforme critérios de projetos de abastecimento de água. A partir da equação (4), apresentada no capítulo 3, foram calculados os valores da população abastecida por cada reservatório, considerando o volume de reservação citado anteriormente, o consumo per capita de 150 L/(hab. dia), o coeficiente de maior consumo diário igual a 1,2 e o índice de perdas na distribuição igual a 25%. Com o valor da população e considerando uma taxa de ocupação de 3 habitantes por moradia, foi possível estimar o número de residências, e os valores de lucro operacional mensal para cada volume de reservatório, considerando um lucro mensal por residência de R\$ 10 (dez reais). Dessa forma, os meses antecipados com a construção do reservatório em concreto pré-moldado e início de operação do sistema resultariam no acúmulo de lucro operacional, que foi adicionado ao fluxo de caixa da segunda análise de viabilidade econômico-financeira.

Com os dados de entrada definidos, foram então calculados os valores de CAE para cada situação (estrutura construída em concreto moldado no local e estrutura de painéis de concreto pré-moldado) e cada volume (capacidades de 2.000 m<sup>3</sup>, 5.000 m<sup>3</sup> e 10.000 m<sup>3</sup>). É importante destacar que, no caso do concreto pré-moldado, foram feitas as análises de consideração dos custos do transporte dos painéis a uma distância de 1.400 km e análises desconsiderando os custos com o transporte, na intenção de se avaliar o impacto desse item na análise de viabilidade para a utilização do sistema na cidade de Goiânia.

As variáveis consideradas na análise de sensibilidade para avaliação dos riscos foram diferentes para cada cenário:

**Cenário 1:** Análise de sensibilidade das variáveis **vida útil** do reservatório e **custos com manutenções**.

**Cenário 2:** Análise de sensibilidade das variáveis **custos com transportes** dos painéis pré-fabricados, **diferença entre os prazos de construção** do reservatório pelos dois sistemas construtivos e **lucro por residência** gerado pela antecipação da operação do sistema com uso do reservatório em concreto pré-moldado.

Deve-se ressaltar que, tanto para a estimativa do prazo quanto estimativa do custo de execução, foram utilizadas como referência somente as etapas de execução após a fundação, já que esta é uma etapa comum em ambos os sistemas construtivos. Não se avaliou, no entanto, a possibilidade de redução de cargas e custo da fundação com o uso dos painéis pré-moldados, pois deveria ser executada a sondagem do solo local, o dimensionamento e projeto da fundação a ser implantada para sustentar o reservatório e isso pode variar significativamente para cada solo e região de implantação.

## **4.3 ESTUDO DOS SISTEMAS CONSTRUTIVOS PARA O RESERVATÓRIO CIRCULAR APOIADO DE CONCRETO**

### **4.3.1 SISTEMA CONSTRUTIVO DE CONCRETO MOLDADO NO LOCAL**

#### **ESTIMATIVA DE PRAZOS E CUSTOS**

Segundo Souza (2017, p. 14), o responsável por realizar a programação da sequência de execução de atividades da construção deve possuir um conhecimento prático do dia a dia de uma obra. Além disso, em muitos casos o gestor de obras deve tomar decisões com base na intuição pessoal, que é melhorada conforme a repetição do mesmo problema em obras anteriores.

Um indicador de grande importância para estimativa de prazos e custos de uma obra, e também para a tomada de decisão de qual sistema construtivo ser utilizado, é a produtividade. Em sua definição “[...] produtividade é a eficiência em transformar recursos em produtos. Tem-se uma melhor produtividade sempre que se demanda menos esforço para se obter um determinado resultado.” (SOUZA, 2017,p.18).

No caso específico de medição de produtividade de mão-de-obra, utiliza-se a Razão Unitária de Produção (RUP), que é a razão entre o esforço e o total de serviço executado. O esforço ou trabalho é representado pelo produto da quantidade recursos humano (homens) e a duração do serviço executado por esse recurso (horas), resultando na unidade Hh (lê-se “homem hora”). Já o total de serviço executado é representado pela quantidade de produto que o esforço gerou, expresso na unidade de medição desse produto (unidade de área, volume, massa,etc).

Outro indicador, utilizado para o orçamento da obra, é o consumo unitário de materiais, que apresenta a razão entre a quantidade de materiais adquiridos e a quantidade de serviços executados. Nos levantamentos de materiais adquiridos já são consideradas as quantidades de materiais realmente utilizados no serviço e as perdas de materiais, sejam perdas por quebras de materiais estocados, utilização de concreto acima do calculado (teórico), furtos/roubos de materiais estocados no canteiro, etc.

Nessa pesquisa, foram utilizadas fontes para a previsão da produtividade e consumo unitário de materiais, por exemplo, consumos indicados no SINAPI (Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil), que é a referência de custos para obras financiadas com recursos públicos e é atualizado pela CAIXA ECONÔMICA FEDERAL (CEF) e o IBGE. No entanto, por se tratar de um setor muito específico da construção civil, as empresas prestadoras de serviços públicos de saneamento básico costumam levantar seus próprios indicadores e elaborar sua composição de custos unitários, através de dados de obras anteriores e equipe técnica especializada para trabalhar com esses dados.

Para realizar o levantamento dos quantitativos de projeto (volume de concreto, área de fôrma, peso de aço e demais insumos) e das atividades necessárias para a construção do reservatório em concreto convencional, foi utilizado como referência detalhes do projeto padrão da Saneago (ver Anexos da pesquisa).

A NBR 14.931 (2004) descreve procedimentos de referências para uma boa execução da estrutura de concreto armado moldado no local. No processo de cura da estrutura de concreto armado, a norma preconiza que enquanto não for atingido o endurecimento satisfatório, deve ocorrer a cura e proteção do concreto para evitar ou minimizar a ação de agentes prejudiciais, evitando a perda de água pela superfície exposta, garantindo uma superfície com resistência adequada, além de garantir a formação de uma capa superficial durável.

Quanto à retirada das fôrmas e do escoramento da estrutura, há uma recomendação da NBR 14.931 (2004) de que estes devem seguir um plano de desforma definido previamente, sempre se devem considerar ações que não comprometam a segurança e o desempenho em serviço da estrutura. Deve-se considerar ainda que na remoção ocorrerá sobrecarga de execução, movimentação de operários e materiais sobre o elemento estrutural, além de necessitar a permanência de alguns escoramentos localizados. Os escoramentos e fôrmas devem ser mantidos até que a estrutura de concreto adquira resistência necessária para suportar cargas transmitidas ao elemento estrutural, para evitar deformações superiores às tolerâncias especificadas e para resistir aos danos que possam ser causados na superfície durante a remoção dos mesmos. O projeto de fôrmas e escoramentos deve ditar qual o prazo mínimo para retirada do escoramento, sendo que nessa pesquisa foi adotado no mínimo 28 dias após a concretagem da laje.

A NBR 6118(2014) preconiza que, para o controle da resistência do concreto no ato da protensão, deve-se verificar a resistência característica do concreto ( $f_{ckj}$ ) correspondente à idade fictícia  $j$  (em dias), que deve constar no projeto.

Com relação ao escoramento e fôrma de fundo da laje do reservatório, considerou-se o sistema de fôrmas convencionalmente utilizado para a execução de estruturas de concreto armado moldado no local. Consultando catálogo de um fornecedor (SH Formas®) desse sistema de fôrmas, foram obtidas algumas especificações técnicas e a ilustração na Figura 40, como seguem:

**Material:** Painéis de chassi de alumínio, forrados com chapas de madeira (compensado plastificado).

**Reescoramento:** DropHead – um cabeçal preso à escora que torna possível a desforma da laje sem que, em nenhum momento, a escora perca o contato com o concreto. Permite a retirada segura dos painéis em cerca de três dias.

**Acabamento:** Permite a montagem de lajes, sem a necessidade de cortes, pregos e emendas, e ainda dispensa revestimento de teto.

**Aplicação:** Segundo o fabricante, este sistema de forma é ideal para lajes planas e protendidas, também pode ser combinado com cubas de polipropileno para a execução de lajes nervuradas. Acoplados sobre as torres de carga, também pode ser usado em pés-direitos altos.

**Montagem:** O sistema é formado por duas peças básicas (painel e escora) montadas sem necessidade de ferramenta especial. Dispensa mão de obra especializada. Índice de mão de obra: 0,3 Hh/m<sup>2</sup>.

**Figura 40. Sistema de fôrma e escoramento de fundo de laje para o CML**



Fonte: Catálogo SH Fôrmas

A Tabela 2 foi elaborada para representar a equipe básica de cada atividade utilizada na execução da estrutura de concreto moldado no local. A equipe básica pode ser interpretada como a equipe mínima para executar o serviço com a RUP indicada. Dessa forma, para reduzir o tempo de duração do serviço, é necessário aumentar a equipe da frente de serviço, sempre na razão da equipe básica (oficiais e ajudantes).

Tabela 2. RUP dos serviços em concreto moldado no local

DADOS GERAIS DE PRODUTIVIDADE						
SERVIÇOS	Unidade	FONTE DOS DADOS	EQUIPE BÁSICA		RUP (Hh/Unid)	
			OFICIAL	AJUDANTE	OFICIAL	AJUDANTE
Andaime	m <sup>3</sup>	Empresa <sup>1</sup>	1	2	0,08	0,16
Armação	Kg	Empresa <sup>1</sup>	1	1	0,08	0,08
Fôrma (Painéis Laterais)	m <sup>2</sup>	Fornecedor	1	1	0,31	0,22
Concretagem	m <sup>3</sup>	Empresa <sup>1</sup>	1	1	1,62	1,62
Protensão dos cabos/ Injeção nata	Kg	Fornecedor	1	1	0,11	0,11
Colocação Neoprenes	un	Empresa <sup>1</sup>	1	0	0,20	0
Fôrma Laje (Painel Fundo/Escoras)	m <sup>2</sup>	Fornecedor	1	1	0,30	0,3
Demontagem da Forma e Cimbramento	m <sup>2</sup>	Fornecedor	1	1	0,1	0,1
Jateamento para Limpeza	m <sup>2</sup>	Empresa <sup>1</sup>	0	1	0	0,1
Tratamento Armadura Exposta	m <sup>2</sup>	Empresa <sup>1</sup>	2	1	0,8	0,4

<sup>1</sup> Dados da Companhia de Saneamento Básico de Goiás

Fonte: Elaborado pelo autor.

Para melhor compreensão do cronograma, foi elaborada uma Estrutura Analítica do Projeto (EAP) de forma sequencial das atividades, conforme apresentado na Quadro 2.

Quadro 2. Estrutura Analítica de Projeto (EAP) para execução em concreto moldado no local

EAP	ATIVIDADES
1	Andaime (Parede)
2	Armação (Parede)
3	Fôrma em Painéis (Parede)
4	Concretagem (Parede)
5	Desmontagem Andaime (Parede)
6	Tempo espera para protensão dos cabos
7	Protensão Cabos / Injeção da nata
8	Colocação dos Neoprenes
9	Fôrma (Pilar)
10	Armação (Pilar)
11	Concretagem (Pilar)
12	Escoramento (Viga e Laje)
13	Fôrma(Viga e Laje)
14	Armação (Viga/Laje)
15	Concretagem (Viga/Laje)
16	Tempo de permanência de escoramentos
17	Demontagem da Forma e escoramento
18	Jateamento para Limpeza
19	Tratamento Armadura Exposta

Fonte: Elaborado pelo autor.

A partir dos dados de duração das atividades, da utilização da Estrutura Analítica de Projeto (EAP) e das vinculações entre as atividades (rede de precedência), foi elaborado um cronograma de Gantt para visualização da estimativa de prazo de construção do reservatório através do software denominado *WBS Schedule*. Nessa modelagem adotou-se que, hipoteticamente, o início da execução do reservatório seria em janeiro de 2019. É importante destacar que os quantitativos de insumos necessários e o orçamento da estrutura do reservatório em concreto moldado no local, para cada volume de reservatório, estão detalhados nas tabelas demonstradas nos Apêndices da pesquisa.

### **PRAZO E CUSTO DO RESERVATÓRIO DE 2.000 M<sup>3</sup>**

A Tabela 3 apresenta a previsão de duração por atividade para construção do reservatório apoiado de 2.000 m<sup>3</sup> (26m de diâmetro e 4m de altura) em concreto moldado no local com protensão posterior das paredes, conforme equipes definidas para cada serviço e tempos de espera definidos em projeto.

**Tabela 3. Quantitativos e duração dos serviços para reservatório 2.000 m<sup>3</sup>**

<b>RESERVATÓRIO CIRCULAR APOIADO (2.000 m<sup>3</sup>)</b>								
<b>ITEM</b>	<b>ATIVIDADE</b>	<b>QUANTIDADE</b>	<b>UNIDADE</b>	<b>ÍNDICE DA EQUIPE</b>	<b>DURAÇÃO (dias)</b>	<b>RECURSOS</b>		
						<b>OFICIAL</b>	<b>AJUDANTE</b>	
1	Andaime	1.306	m <sup>3</sup>	0,08 Hh/m <sup>3</sup>	14 d	1	2	
2	Armação	18.345	Kg	0,08 Hh/Kg	65 d	3	3	
3	Fôrma Parede (Painéis)	723,85	m <sup>2</sup>	0,31 Hh/m <sup>2</sup>	19 d	2	2	
4	Concretagem da Parede	81,68	m <sup>3</sup>	1,62 Hh/m <sup>3</sup>	5 d	3	3	
5	Tempo espera para protensão <sup>1</sup>				21 d			
6	Protensão Cabos/ Injeção nata	788	Kg	0,11 Hh/Kg	11 d	1	1	
7	Colocação Neoprenes	100	Un	0,20 Hh/und	3 d	1	0	
8	Fôrma Laje e escoramento	531	m <sup>2</sup>	0,30 Hh/m <sup>2</sup>	20 d	1	1	
9	Concretagem (laje/viga/ pilar)	111,42	m <sup>3</sup>	1,62 Hh/m <sup>3</sup>	5 d	5	5	
10	Permanência de escoramentos <sup>1</sup>				28 d	-	-	
11	Retirar fôrma e escoramento	531	m <sup>2</sup>	0,10 Hh/m <sup>3</sup>	7 d	1	1	
12	Jateamento para Limpeza	492	m <sup>2</sup>	0,10 Hh/m <sup>2</sup>	3,5 d	0	2	
13	Tratamento Armadura Exposta	15	m <sup>2</sup>	0,40 Hh/m <sup>2</sup>	1 d	2	1	

<sup>1</sup> Prazos de espera definidos em projetos (consomem tempo, mas não recursos humanos)

Fonte: Elaborado pelo autor.

A divisão das atividades foi estruturada da maneira mais elucidativa com relação ao processo de execução da obra, assim sendo, por exemplo, a atividade de fôrma foi dividida em fôrma para a parede, fôrma para o pilar e fôrma para viga e laje e a soma dos prazos de

cada etapa resulta no prazo geral para o item fôrma. A Tabela 4 apresenta a rede de precedência, com as vinculações entre as atividades (utilizada no software *WBS Schedule*) e as datas estimadas de início e término de cada atividade na simulação do reservatório de 2.000 m<sup>3</sup>.

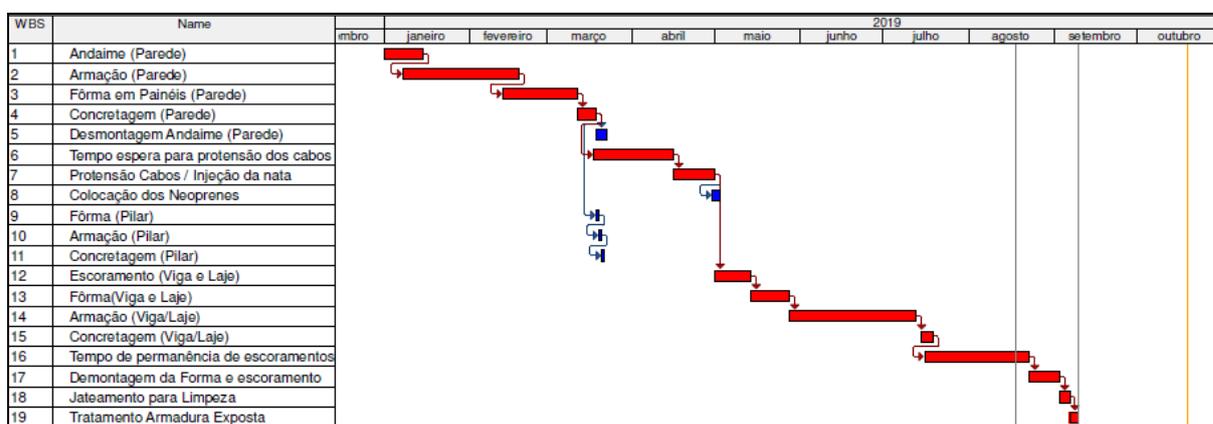
**Tabela 4. Rede de precedência e prazo de execução do reservatório 2.000 m<sup>3</sup>**

	ATIVIDADE	PREDECESSOR	DURAÇÃO	INÍCIO	TÉRMINO
1	Andaime (Parede)	-	10	01/01/2019	14/01/2019
2	Armação (Parede)	1TI- 5d	30	08/01/2019	18/02/2019
3	Fôrma em Painéis (Parede)	2TI -4d	19	13/02/2019	11/03/2019
4	Concretagem (Parede)	3TI	5	12/03/2019	18/03/2019
5	Desmontagem Andaime (Parede)	4TI	4	19/03/2019	22/03/2019
6	Tempo espera para protensão dos cabos	4TI -1d	21	18/03/2019	15/04/2019
7	Protensão Cabos / Injeção da nata	6TI	11	16/04/2019	30/04/2019
8	Colocação dos Neoprenes	7TI -1d	3	30/04/2019	02/05/2019
9	Fôrma (Pilar)	4TI	1	19/03/2019	19/03/2019
10	Armação (Pilar)	9TI	1	20/03/2019	20/03/2019
11	Concretagem (Pilar)	10TI	1	21/03/2019	21/03/2019
12	Escoramento (Viga e Laje)	7TI	9	01/05/2019	13/05/2019
13	Fôrma (Viga e Laje)	12TI	10	14/05/2019	27/05/2019
14	Armação (Viga/Laje)	13TI	34	28/05/2019	12/07/2019
15	Concretagem (Viga/Laje)	14TI	4	15/07/2019	18/07/2019
16	Tempo de permanência de escoramentos	15TI-3d	28	16/07/2019	22/08/2019
17	Desmontagem da Forma e escoramento	16TI	7	23/08/2019	02/09/2019
18	Jateamento para Limpeza	17TI	3,5	03/09/2019	06/09/2019
19	Tratamento Armadura Exposta	18TI	1	06/09/2019	09/09/2019

Fonte: Elaborado pelo autor.

A Figura 41 mostra uma simulação do cronograma de execução do reservatório de 2.000 m<sup>3</sup> em concreto moldado no local, através do gráfico de Gantt elaborado no *WBS Schedule*.

**Figura 41. Cronograma do reservatório de 2.000 m<sup>3</sup> (Gráfico de Gantt)**



Fonte: Elaborado pelo autor.

Para estimativa do orçamento do reservatório em concreto moldado no local foi levantado o quantitativo de materiais para sua execução e multiplicado o quantitativo de cada item pelo custo unitário referencial (SINAPI), incluindo a mão de obra, equipamentos, materiais, encargos sociais e Benefícios e Despesas Indiretas, considerando um lucro da empresa construtora.

Por fim, o **prazo estimado** de execução da obra desse reservatório de 2.000 m<sup>3</sup>, em sistema construtivo convencional, seria de **180 dias úteis** e o **custo estimado** para execução dessa obra é de **R\$ 411.604,68**.

#### **PRAZO E CUSTO DO RESERVATÓRIO DE 5.000 M<sup>3</sup>**

A Tabela 5 apresenta a previsão de duração por atividade para construção do reservatório apoiado de 5.000 m<sup>3</sup> (36,40 m de diâmetro e 5,80m de altura) em concreto moldado no local com protensão posterior das paredes, conforme equipes definidas para cada serviço e tempos de espera definidos em projeto.

**Tabela 5. Quantitativos e duração dos serviços para reservatório 5.000 m<sup>3</sup>**

RESERVATÓRIO APOIADO (5.000 m <sup>3</sup> )								
ITEM	ATIVIDADE	QUANTIDADE	UNIDADE	ÍNDICE DA EQUIPE	DURAÇÃO (dias)	RECURSOS		
						OFICIAL	AJUDANTE	
1	Andaime	2.492	m <sup>3</sup>	0,08 Hh/m <sup>3</sup>	20	1	2	
2	Armação	42.654	Kg	0,08 Hh/Kg	120	4	4	
3	Fôrma Parede (Painéis)	1.456,3	m <sup>2</sup>	0,31 Hh/m <sup>2</sup>	38	2	2	
4	Concretagem da Parede	162,85	m <sup>3</sup>	1,62 Hh/m <sup>3</sup>	8	4	4	
5	Tempo espera para protensão <sup>1</sup>				21	-	-	
6	Protensão Cabos/ Injeção nata	1.572	Kg	0,11 Hh/Kg	12	2	2	
7	Colocação Neoprenes	250	Un	0,20 Hh/und	3	2	0	
8	Fôrma Laje e escoramento	1.041	m <sup>2</sup>	0,30 Hh/m <sup>2</sup>	20	2	2	
9	Concretagem (laje/viga/ pilar)	278,45	m <sup>3</sup>	1,62 Hh/m <sup>3</sup>	5	11	11	
10	Permanência de escoramentos <sup>1</sup>				28	-	-	
11	Retirar fôrma e escoramento	1.041	m <sup>2</sup>	0,10 Hh/m <sup>3</sup>	7	2	2	
12	Jateamento para Limpeza	990	m <sup>2</sup>	0,10 Hh/m <sup>2</sup>	7	0	3	
13	Tratamento Armadura Exposta	34	m <sup>2</sup>	0,40 Hh/m <sup>2</sup>	2	4	2	

<sup>1</sup> Prazos de espera definidos em projetos (consomem tempo, mas não recursos humanos)

Fonte: Elaborado pelo autor

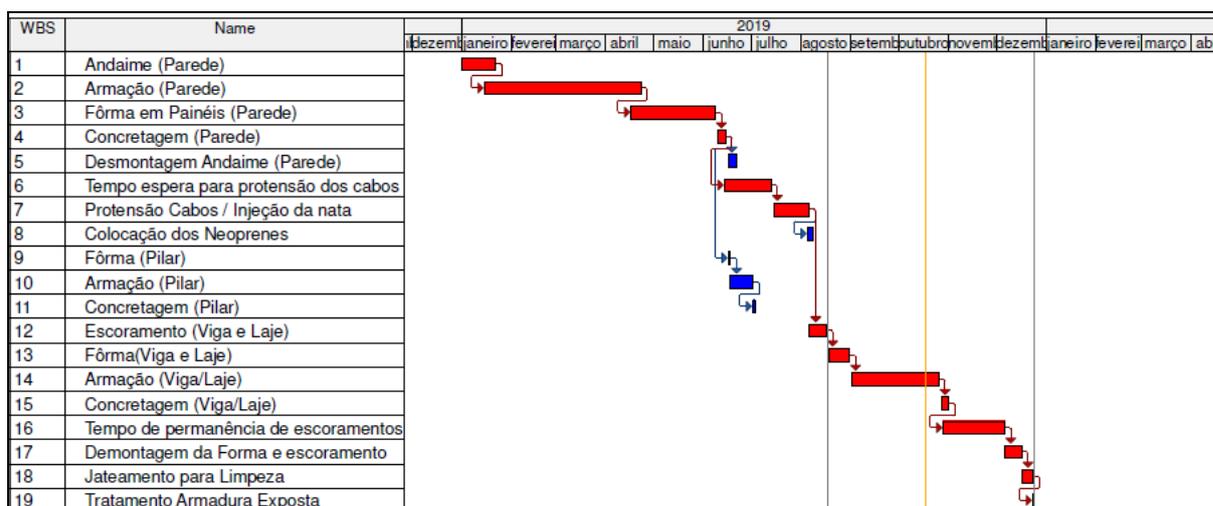
A Tabela 6 apresenta a rede de precedência, com as vinculações entre as atividades (utilizada no software *WBS Schedule*) e as datas estimadas de início e término de cada atividade na simulação do reservatório de 5.000 m<sup>3</sup>.

Tabela 6. Rede de precedência e prazo de execução do reservatório 5.000 m<sup>3</sup>

	ATIVIDADE	PREDECESSOR	DURAÇÃO	INÍCIO	TÉRMINO
1	Andaime (Parede)	-	15	01/01/2019	21/01/2019
2	Armação (Parede)	1TI- 5d	54	15/01/2019	29/03/2019
3	Fôrma em Painéis (Parede)	2TI -4d	38	26/03/2019	16/05/2019
4	Concretagem (Parede)	3TI	5	17/05/2019	23/05/2019
5	Desmontagem Andaime (Parede)	4TI	5	24/05/2019	30/05/2019
6	Tempo espera para protensão dos cabos	4TI -1d	21	23/05/2019	20/06/2019
7	Protensão Cabos / Injeção da nata	6TI	12	21/06/2019	08/07/2019
8	Colocação dos Neoprenes	7TI -1d	3	08/07/2019	10/07/2019
9	Fôrma (Pilar)	4TI	1	24/05/2019	24/05/2019
10	Armação (Pilar)	9TI	5	27/05/2019	31/05/2019
11	Concretagem (Pilar)	10TI	1	03/06/2019	03/06/2019
12	Escoramento (Viga e Laje)	7TI	9	09/07/2019	19/07/2019
13	Fôrma (Viga e Laje)	12TI	10	22/07/2019	02/08/2019
14	Armação (Viga/Laje)	13TI	61	05/08/2019	28/10/2019
15	Concretagem (Viga/Laje)	14TI	4	29/10/2019	01/11/2019
16	Tempo de permanência de escoramentos	15TI-3d	28	30/10/2019	06/12/2019
17	Desmontagem da Forma e escoramento	16TI	7	09/12/2019	17/12/2019
18	Jateamento para Limpeza	17TI	7	18/12/2019	26/12/2019
19	Tratamento Armadura Exposta	18TI	2	27/12/2019	30/12/2019

Fonte: Elaborado pelo autor

A Figura 42 mostra uma simulação do cronograma de execução do reservatório de 5.000 m<sup>3</sup> em concreto moldado no local, através do gráfico de Gantt elaborado no *WBS Schedule*.

Figura 42. Cronograma do reservatório de 5.000 m<sup>3</sup> (Gráfico de Gantt)

Fonte: Elaborado pelo autor.

O **prazo estimado** de execução da obra desse reservatório de 5.000 m<sup>3</sup>, em sistema construtivo convencional, seria de **260 dias úteis** e o **custo estimado** para execução dessa obra é de **R\$ 877.478,71**.

#### **PRAZO E CUSTO DO RESERVATÓRIO DE 10.000 M<sup>3</sup>**

A Tabela 7 apresenta a previsão de duração por atividade para construção do reservatório apoiado de 10.000 m<sup>3</sup> (48 m de diâmetro e 6 m de altura) em concreto moldado no local com protensão posterior das paredes, conforme equipes definidas para cada serviço e tempos de espera definidos em projeto.

**Tabela 7. Quantitativos e duração dos serviços para reservatório 10.000 m<sup>3</sup>**

RESERVATÓRIO APOIADO (10.000 m <sup>3</sup> )								
ITEM	ATIVIDADE	QUANTIDADE	UNIDADE	ÍNDICE DA EQUIPE	DURAÇÃO (dias)	RECURSOS		
						OFICIAL	AJUDANTE	
1	Andaime	3.617	m <sup>3</sup>	0,08 Hh/m <sup>3</sup>	20	2	4	
2	Armação	68.765	Kg	0,08 Hh/Kg	171	4	4	
3	Fôrma Parede (Painéis)	2.009,5	m <sup>2</sup>	0,31 Hh/m <sup>2</sup>	27	3	3	
4	Concretagem da Parede	226,20	m <sup>3</sup>	1,62 Hh/m <sup>3</sup>	8	6	6	
5	Tempo espera para protensão <sup>1</sup>				21			
6	Protensão Cabos/ Injeção nata	2.182	Kg	0,11 Hh/Kg	16	2	2	
7	Colocação Neoprenes	332	Un	0,20 Hh/und	4	2	0	
8	Fôrma Laje e escoramento	1.809	m <sup>2</sup>	0,30 Hh/m <sup>2</sup>	23	3	3	
9	Concretagem (laje/viga/ pilar)	490,10	m <sup>3</sup>	1,62 Hh/m <sup>3</sup>	5	20	20	
10	Permanência de escoramentos <sup>1</sup>				28			
11	Retirar fôrma e escoramento	1.809	m <sup>2</sup>	0,10 Hh/m <sup>3</sup>	8	3	3	
12	Jateamento para Limpeza	1.366	m <sup>2</sup>	0,10 Hh/m <sup>2</sup>	9	0	2	
13	Tratamento Armadura Exposta	54	m <sup>2</sup>	0,40 Hh/m <sup>2</sup>	3	2	1	

<sup>1</sup> Prazos de espera definidos em projetos (consomem tempo, mas não recursos humanos)

Fonte: Elaborado pelo autor

A Tabela 8 apresenta a rede de precedência, com as vinculações entre as atividades (utilizada no software *WBS Schedule*) e as datas estimadas de início e término de cada atividade na simulação do reservatório de 10.000 m<sup>3</sup>.

**Tabela 8. Rede de precedência e prazo de execução do reservatório 10.000 m<sup>3</sup>**

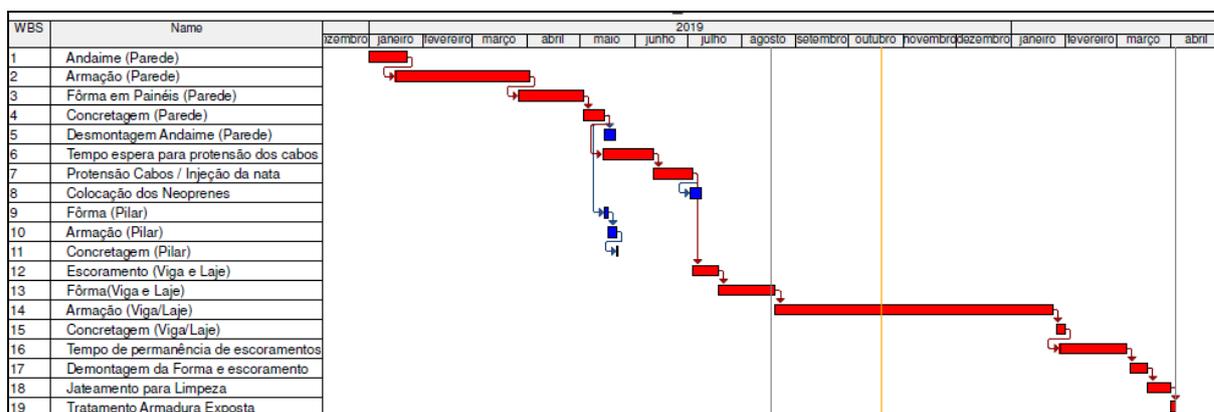
ATIVIDADE	PREDECESSOR	DURAÇÃO	INÍCIO	TÉRMINO
1 Andaime (Parede)	-	16	01/01/2019	22/01/2019
2 Armação (Parede)	1TI- 5d	54	16/01/2019	01/04/2019

	ATIVIDADE	PREDECESSOR	DURAÇÃO	INÍCIO	TÉRMINO
3	Fôrma em Painéis (Parede)	2TI -4d	27	27/03/2019	02/05/2019
4	Concretagem (Parede)	3TI	8	03/05/2019	14/05/2019
5	Desmontagem Andaime (Parede)	4TI	4	15/05/2019	20/05/2019
6	Tempo espera para protensão dos cabos	4TI -1d	21	14/05/2019	11/06/2019
7	Protensão Cabos / Injeção da nata	6TI	16	12/06/2019	03/07/2019
8	Colocação dos Neoprenes	7TI -1d	4	03/07/2019	08/07/2019
9	Fôrma (Pilar)	4TI	2	15/05/2019	16/05/2019
10	Armação (Pilar)	9TI	3	17/05/2019	21/05/2019
11	Concretagem (Pilar)	10TI	1	22/05/2019	22/05/2019
12	Escoramento (Viga e Laje)	7TI	11	04/07/2019	18/07/2019
13	Fôrma (Viga e Laje)	12TI	22	19/07/2019	19/08/2019
14	Armação (Viga/Laje)	13TI	114	20/08/2019	24/01/2020
15	Concretagem (Viga/Laje)	14TI	5	27/01/2020	31/01/2020
16	Tempo de permanência de escoramentos	15TI-3d	28	29/01/2020	06/03/2020
17	Desmontagem da Forma e escoramento	16TI	8	09/03/2020	18/03/2020
18	Jateamento para Limpeza	17TI	9	19/03/2020	31/03/2020
19	Tratamento Armadura Exposta	18TI	3	01/04/2020	03/04/2020

Fonte: Elaborado pelo autor

A Figura 43 mostra uma simulação do cronograma de execução do reservatório de 5.000 m<sup>3</sup> em concreto moldado no local, através do gráfico de Gantt elaborado no *WBS Schedule*.

**Figura 43. Cronograma do reservatório de 10.000 m<sup>3</sup> (Gráfico de Gantt)**



Fonte: Elaborado pelo autor

O **prazo estimado** de execução da obra desse reservatório de 10.000 m<sup>3</sup>, em sistema construtivo convencional, seria de **329 dias úteis** e o **custo estimado** para execução dessa obra é de **R\$ 1.405.747,51**.

#### 4.3.2 SISTEMA CONSTRUTIVO EM CONCRETO PRÉ-MOLDADO

O prazo e custo para execução do reservatório de 2.000 m<sup>3</sup>, 5.000 m<sup>3</sup> e 10.000 m<sup>3</sup> em concreto pré-fabricado estão contemplados na proposta comercial que a empresa brasileira fabricante encaminhou em novembro de 2018. As informações para cada volume de reservatórios estão apresentadas na Quadro 3 ao Quadro 5.

**Quadro 3. Proposta comercial para reservatório de 2.000 m<sup>3</sup>**

DIÂMETRO ( m )	ALTURA DO COSTADO ( m )	ALTURA DA ÁGUA ( m )	VOLUME DE ÁGUA ( m <sup>3</sup> )
21,86	6,00	5,50	2.080,00
DIÂMETRO DA BASE DE FUNDO ( MÍNIMO )=			23,20 m
VALOR TOTAL COM COBERTURA	CONFEÇÃO %	TRANSPORTE %	MONTAGEM %
R\$ 1.029.038,56	41	29	30
PRAZO CONFEÇÃO E MONTAGEM:			60 DIAS

**Quadro 4. Proposta comercial para reservatório de 5.000 m<sup>3</sup>**

DIÂMETRO ( m )	ALTURA DO COSTADO ( m )	ALTURA DA ÁGUA ( m )	VOLUME DE ÁGUA ( m <sup>3</sup> )
29,37	8,00	7,50	5.093,00
DIÂMETRO DA BASE DE FUNDO ( MÍNIMO )=			31,07 m
VALOR TOTAL COM COBERTURA	CONFEÇÃO %	TRANSPORTE %	MONTAGEM %
R\$ 1.681.045,06	43	27	30
PRAZO CONFEÇÃO E MONTAGEM:			70 DIAS

**Quadro 5. Proposta comercial para reservatório de 10.000 m<sup>3</sup>**

DIÂMETRO ( m )	ALTURA DO COSTADO ( m )	ALTURA DA ÁGUA ( m )	VOLUME DE ÁGUA ( m <sup>3</sup> )
40,13	8,50	8,00	10.130,00
DIÂMETRO DA BASE DE FUNDO ( MÍNIMO )=			41,80 m
VALOR TOTAL COM COBERTURA	CONFEÇÃO %	TRANSPORTE %	MONTAGEM %
R\$ 2.829.600,39	41	26	33
PRAZO CONFEÇÃO E MONTAGEM:			100 DIAS

O orçamento realizado nessa proposta comercial foi considerado para uma distância de 1.400 km entre o município onde os painéis pré-moldados são fabricados e o município onde, hipoteticamente, seriam aplicados para execução do reservatório (Goiânia). Por se tratar de uma aplicação prática, buscou-se fazer tal comparação somente pelo motivo do orçamento em concreto moldado no local ter sido considerado para o mesmo lugar de aplicação, ou seja, com valores da tabela SINAPI para este local.

#### 4.4 RESUMO DOS DADOS DOS SISTEMAS CONSTRUTIVOS

Como já explicitado, a determinação da vida útil de projeto (VUP) da estrutura é de elevada complexidade, por isso foram adotadas como premissas para a análise de viabilidade econômico-financeira das estruturas de reservatórios em concreto convencional e concreto pré-moldado. A VUP para reservatório em estrutura de concreto convencional foi adotada como 50 anos e a VUP para estrutura de concreto pré-moldado foi adotada como 70 anos, conforme resume a Quadro 6.

**Quadro 6. Vida útil dos sistemas construtivos**

<b>Estrutura do Reservatório</b>	<b>Vida Útil de Projeto</b>
Concreto Armado Convencional	50 anos
Concreto Pré-Moldado	70 anos

Fonte: Elaborado pelo autor

Os valores de custo de manutenção da estrutura dos reservatórios foram distribuídos ao longo do prazo de vida útil de cada tipo de estrutura, conforme características de custos e premissas de ciclos de manutenção para cada sistema construtivo adotadas na análise da pesquisa. Para o reservatório construído em concreto armado convencional, foram previstas manutenções significativas a cada 10 anos com custo estimado em 5% do custo de implantação do reservatório. Já para estruturas em concreto pré-fabricado, somente a cada 15 anos foi previsto uma manutenção, sendo que o custo de manutenção previsto foi de 0,5% do custo de implantação do reservatório pré-moldado (fabricação e montagem). O Quadro 7 apresenta tais informações resumidamente.

**Quadro 7. Despesas com manutenção dos reservatórios**

<b>Estrutura do Reservatório</b>	<b>Despesas com Manutenção</b>	<b>Período entre manutenções</b>
Concreto Armado Convencional	5% investimento	A cada 10 anos
Concreto Pré-Moldado	0,5% investimento	A cada 15 anos

Fonte: Elaborado pelo autor

O método do Custo Anual Equivalente é uma forma de representar o Valor Presente Líquido do projeto de investimento de modo uniformemente distribuído ao longo de sua vida útil, ou seja, calcula-se um valor de custo anual cujo Valor Presente Líquido seja igual ao VPL dos custos com o projeto (investimento inicial somado aos custos de manutenção), considerando uma taxa de desconto de 10% ao ano nas duas situações. Dessa forma, a comparação entre alternativas com diferentes valores de vida útil torna-se mais eficiente, já

que independente do prazo do fluxo de caixa, aquele que apresentar menor custo anual equivalente terá a tendência de ser escolhido como melhor alternativa mais viável economicamente e financeiramente. Isso só ocorre assumindo-se como premissa que após a implantação do reservatório, tanto no concreto convencional como no concreto pré-moldado, as receitas operacionais e despesas operacionais com o sistema de abastecimento de água não serão diferentes em ambos os casos.

As informações obtidas de prazo e custo (orçamento) do sistema construtivo em concreto moldado no local e para o sistema construtivo em concreto pré-moldado (desconsiderando o custo variável de transporte dos painéis), na construção do reservatório circular apoiado para os volumes analisados na pesquisa, foram compiladas e resumidas na Tabela 9 e Tabela 10.

**Tabela 9. Prazos e custos dos reservatórios em concreto moldado no local**

<b>Reservatório em Concreto Moldado no Local</b>	<b>Valor Total Base 2018 (R\$)</b>	<b>Prazo de execução (dias)</b>
2.000 m <sup>3</sup>	411.604,68	180
5.000 m <sup>3</sup>	877.478,71	260
10.000 m <sup>3</sup>	1.405.747,51	329

Fonte: Elaborado pelo autor

**Tabela 10. Prazos e custos dos reservatórios em concreto pré-moldado**

<b>Reservatório em Concreto Pré-moldado</b>	<b>Valor de Fabricação e Montagem Base 2018 (R\$)</b>	<b>Prazo Fabricação e Montagem (dias)</b>
2.000 m <sup>3</sup>	730.617,38	60
5.000 m <sup>3</sup>	1.227.162,89	70
10.000 m <sup>3</sup>	2.093.904,29	100

Fonte: Elaborado pelo autor

Deve-se ressaltar que os prazos de execução são baseados em estimativas de duração, sendo que nos dois métodos executivos podem ocorrer variações de prazos devido aos imprevistos durante a execução. No Quadro 8 são apresentados alguns dos imprevistos que podem ser causa de atraso na execução das estruturas de obras tanto em concreto moldado no local quanto em concreto pré-moldado.

**Quadro 8. Relação de imprevistos na execução dos sistemas construtivos**

ESTRUTURA	PRINCIPAIS IMPREVISTOS DURANTE A EXECUÇÃO
<p style="text-align: center;">CONCRETO MOLDADO NO LOCAL</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Atraso na entrega dos materiais pelos fornecedores;</li> <li>• Retrabalho devido ao baixo controle de qualidade;</li> <li>• Baixa produtividade da mão de obra;</li> <li>• Variações climáticas e retração;</li> <li>• Ação de agentes deletérios como mudanças bruscas de temperatura, secagem, chuva forte, água torrencial, congelamento, agentes químicos, bem como choques e vibrações de intensidade tal que possam produzir fissuras na massa de concreto ou prejudicar a sua aderência à armadura.</li> <li>• Má execução da cura do concreto no canteiro, resultando em abertura de fissuras;</li> <li>• Falhas no controle de recebimento dos insumos ou no controle de estoque dos mesmos;</li> <li>• Perda/furto de aço cortado e dobrado no canteiro de obras, gerando novos pedidos e esperas;</li> <li>• Maior risco do concreto utilizado não obter a resistência característica (<math>f_{ck}</math>).</li> </ul>
<p style="text-align: center;">CONCRETO PRÉ- MOLDADO</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Defeitos nos guindastes;</li> <li>• Incompatibilidade dimensional dos painéis;</li> <li>• Ocorrência de danos nos painéis durante o transporte;</li> <li>• Distância entre a fábrica e o local da obra;</li> <li>• Falta de espaço no canteiro para estoque dos painéis.</li> </ul>

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

## 5. RESULTADOS E ANÁLISES

### 5.1 CUSTO ANUAL EQUIVALENTE DO CENÁRIO 1

Neste cenário, os fluxos de caixa dos projetos de investimento do reservatório em concreto moldado no local e do concreto pré-moldado iniciam no mesmo instante (mês e ano de saída do caixa). Assim, o que diferencia entre os dois projetos é o investimento inicial (custo de execução do reservatório), além das despesas e quantidade de manutenções da obra ao longo do ciclo de vida.

Para cada volume de reservatório (2.000 m<sup>3</sup>, 5.000 m<sup>3</sup> e 10.000 m<sup>3</sup>) foram consideradas três situações de investimento inicial: primeira situação considerando os valores de investimento e custos de manutenção para execução dos reservatórios em estruturas de Concreto Moldado no Local (C.M.L.) e para a segunda e terceira situação, os reservatórios seriam construídos em estruturas de Concreto Pré-Moldado (C.P.M.), porém no caso do C.P.M. <sup>(1)</sup> o valor de investimento inicial é maior, já que considera as despesas com transporte dos painéis pré-moldados até o local de aplicação (distante 1.400 km) e no caso do C.P.M. <sup>(2)</sup> não foi considerada a despesa com o transporte, de forma que permite avaliar o impacto dessa variável na análise de viabilidade do sistema construtivo pré-moldado.

A Tabela 11 apresenta, para cada volume de reservatório, os dados de entrada dessa análise (investimento inicial e custo de manutenção) e os valores calculados para cada volume e situação (Valor Presente Líquido- VPL e Custo Anual Equivalente – CAE) do cenário 1, para os valores de vida útil e taxa de desconto (10% ao ano) dos sistemas construtivos. Além disso, são apresentados os gráficos de coluna com os valores do CAE para cada situação e volume de reservatório. Os gráficos apresentados entre a Figura 44 e a Figura 46 demonstram os valores do CAE para cada sistema construtivo e cada volume de reservatório.

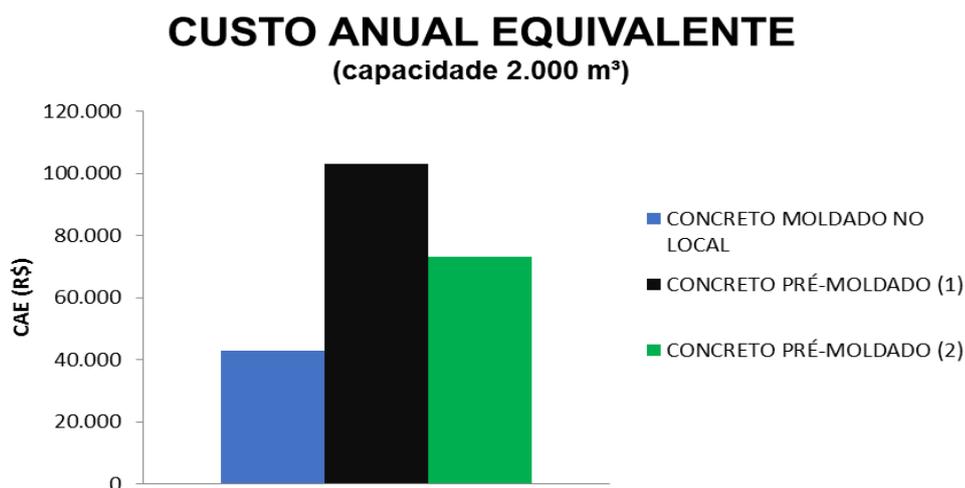
---

<sup>1</sup> Considera as despesas com transporte dos painéis de concreto pré-moldado (1.400 km).

<sup>2</sup> Desconsidera as despesas com transporte dos painéis de concreto pré-moldado.

Tabela 11. Cenário 1 - Custo Anual Equivalente

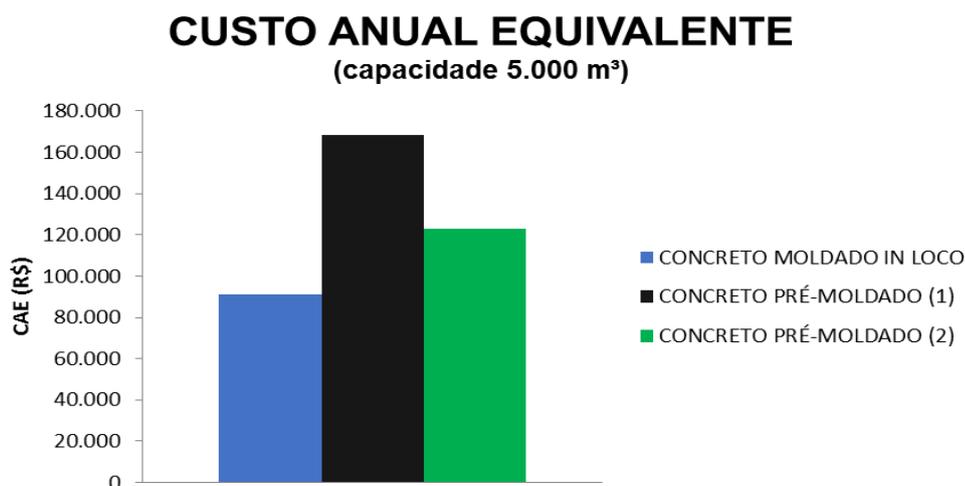
Volume (m <sup>3</sup> )	Sistema Construtivo	Investimento Inicial (R\$)	Manutenção (R\$)	Valor Presente Líquido (R\$)	CAE (R\$)
2.000	C.M.L.	411.604,68	20.580,23	424.232,51	-42.787,74
	C.P.M. <sup>(1)</sup>	1.029.038,56	3.653,09	1.030.184,55	-103.149,07
	C.P.M. <sup>(2)</sup>	730.617,38	3.653,09	731.763,37	-73.269,11
5.000	C.M.L.	877.478,72	43.873,94	904.399,35	-91.216,97
	C.P.M. <sup>(1)</sup>	1.681.045,06	6.135,81	1.682.969,89	-168.510,36
	C.P.M. <sup>(2)</sup>	1.227.162,89	6.135,81	1.229.087,72	-123.064,60
10.000	C.M.L.	1.405.747,51	70.287,38	1.448.875,17	-146.132,35
	C.P.M. <sup>(1)</sup>	2.829.600,39	10.469,52	2.832.884,72	-283.647,63
	C.P.M. <sup>(2)</sup>	2.093.904,29	10.469,52	2.097.188,62	-209.984,75

Figura 44. Gráficos do CAE para volume de 2.000 m<sup>3</sup>

(1) Considerando o custo com transporte (1.400 km de distância)

(2) Desconsiderando o custo com transporte

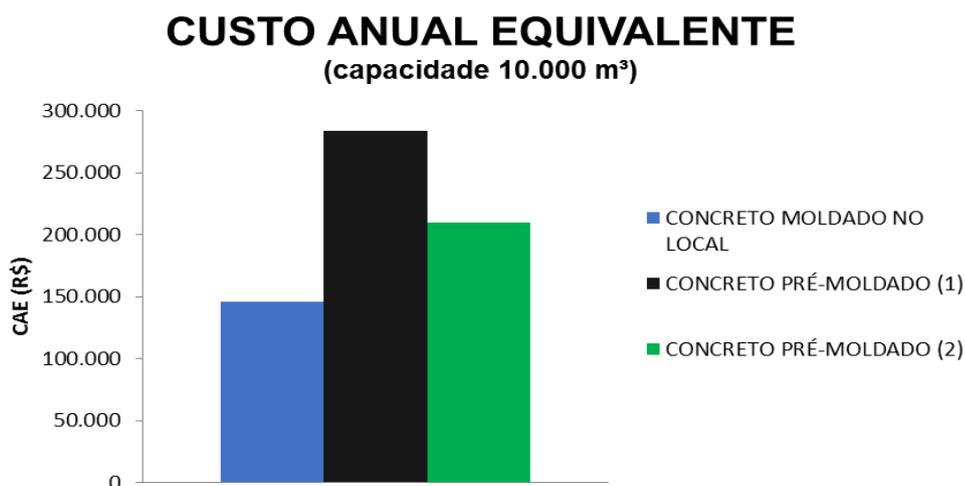
Figura 45. Gráficos do CAE para volume de 5.000 m<sup>3</sup>



(1) Considerando o custo com transporte (1.400 km de distância)

(2) Desconsiderando o custo com transporte

Figura 46. Gráficos do CAE para volume de 10.000 m<sup>3</sup>



(1) Considerando o custo com transporte (1.400 km de distância)

(2) Desconsiderando o custo com transporte

Diante dos resultados apresentados, evidencia-se que, dentro das condições supostas nesta análise, para o reservatório circular apoiado de 2.000 m<sup>3</sup>, o CAE da estrutura em concreto pré-moldado é superior ao CAE da estrutura construída em concreto moldado no local, sendo que considerando os custos com transporte dos painéis, numa distância de 1.400 km, o CAE é 2,41 vezes o CAE do reservatório em concreto moldado no local. Já para o caso de não considerar esse custo com transporte (reduzindo o equivalente a 29% do preço final), O CAE do reservatório em concreto pré-moldado ainda é 71% superior ao custo anual do reservatório em concreto convencional.

O mesmo ocorre para os reservatórios circulares apoiados com volumes de 5.000 m<sup>3</sup> e 10.000 m<sup>3</sup>, nesse cenário. Para o volume de 5.000 m<sup>3</sup>, considerando os custos de transporte dos painéis, o CAE do concreto pré-moldo é 85% superior ao do concreto moldado no local, enquanto no caso de não considerar os custos com o transporte, o CAE do pré-moldado apresentou-se próximo de 35% superior ao do concreto moldado no local. No caso do reservatório de 10.000 m<sup>3</sup>, o CAE do concreto pré-moldado com transporte é 94% superior ao da estrutura em concreto moldado no local e, quando se desconsidera esse custo de transporte, o CAE do reservatório em concreto pré-moldado ainda é aproximadamente 44% superior ao da estrutura em concreto moldado no local.

Utilizando-se as premissas do cenário 1 e o método do Custo Anual Equivalente, pode-se afirmar que, do ponto de vista econômico-financeiro, não há viabilidade para utilização do sistema construtivo em concreto pré-moldado na construção do reservatório circular apoiado em nenhum dos volumes analisados (2.000 m<sup>3</sup>, 5.000 m<sup>3</sup> e 10.000 m<sup>3</sup>), pois independente do sistema construtivo adotado, o início de operação e faturamento com o sistema de abastecimento ocorre no mesmo momento. Além disso, o que causa o maior impacto no Custo Anual Equivalente é o fato do investimento inicial no sistema pré-moldado ser superior de 50% a 80% em relação ao preço do sistema concreto moldado no local (desconsiderando os custos com transporte), uma vez que nesse cenário não ocorre benefício financeiro (antecipação do lucro) com a utilização do sistema de maior custo. Isso ocorre mesmo que para o sistema em concreto pré-moldado os valores dos custos com manutenção sejam muito inferiores e o valor de vida útil seja superior ao valor da estrutura em concreto moldado no local.

## **5.2 CUSTO ANUAL EQUIVALENTE DO CENÁRIO 2**

Neste cenário, os fluxos de caixa dos projetos de investimento do reservatório em concreto moldado no local e do concreto pré-moldado não iniciam no mesmo instante (mês e ano de saída do caixa). Assim, é considerada na análise a diferença no prazo de execução entre os dois sistemas construtivos, uma vez que inaugurando a obra do reservatório e do sistema de abastecimento de água, a empresa de saneamento passaria a faturar com o consumo de água da população abastecida na área de influência do reservatório. Com isso, ocorreria uma antecipação do lucro operacional, logo no início do fluxo de caixa do reservatório construído em concreto pré-moldado, pois este apresenta menor prazo de execução.

A intenção de considerar este cenário é avaliar qual o impacto desse lucro operacional no fluxo de caixa e, conseqüentemente, na análise de viabilidade econômico-financeira do uso do concreto pré-moldado.

Para cada volume de reservatório (2.000 m<sup>3</sup>, 5.000 m<sup>3</sup> e 10.000 m<sup>3</sup>) foram consideradas as mesmas três situações de investimento inicial do cenário anterior, ou seja, primeira situação considerando os valores de investimento e custos de manutenção para execução dos reservatórios em estruturas de Concreto Moldado no Local (C.M.L.) e para a segunda e terceira situação considera a construção dos reservatórios em estruturas de Concreto Pré-Moldado (C.P.M.), em que no caso do C.P.M. <sup>(3)</sup> considera as despesas com transporte dos painéis pré-moldados até o local de aplicação (distante 1.400 km) e no caso do C.P.M. <sup>(4)</sup> não foi considerada a despesa com o transporte. Deve-se ressaltar, no entanto, que a grande diferença neste cenário 2 é a consideração do lucro operacional antecipado com o início da operação do sistema de abastecimento de água devido à construção do reservatório em concreto pré-moldado. A Tabela 12 demonstra as diferenças no prazo de execução dos reservatórios com a utilização dos dois sistemas construtivos (CML e CPM) utilizadas na análise de viabilidade do Cenário 2.

**Tabela 12. Diferença no prazo de execução dos reservatórios**

Volume (m <sup>3</sup> )	Prazo de execução do reservatório		Diferença no prazo de execução
	C.P.M.	C.M.L.	
2.000	60 dias	180 dias	6 meses
5.000	70 dias	260 dias	9 meses
10.000	100 dias	329 dias	10 meses

Para a previsão do lucro operacional antecipado a partir do início de operação do abastecimento de água conforme o prazo da obra do reservatório, foi estimado o número de unidades habitacionais que poderiam ser abastecidas com o novo reservatório.

No caso do reservatório apoiado com capacidade de 2.000 m<sup>3</sup>, a estimativa é de que, no final de plano do projeto, essa unidade seja responsável pelo abastecimento de 8.333 residências. A antecipação de receita operacional depende da existência de consumidores (população) que estarão instalados na área de influência a ser abastecida pelo reservatório assim que o sistema de abastecimento público de água iniciar sua operação. Nessa

<sup>3</sup> Considera a antecipação do lucro operacional e as despesas com transporte dos painéis de concreto pré-moldado (1.400 km).

<sup>4</sup> Considera a antecipação do lucro operacional e desconsidera as despesas com transporte dos painéis de concreto pré-moldado.

pesquisa foi adotada a premissa de que, no momento de início da operação, existiam pelo menos 50% dessas unidades habitacionais com pessoas instaladas para o consumo de água, ou seja, 4.166 unidades consumidoras.

Partindo-se desse mesmo princípio, o reservatório de 5.000 m<sup>3</sup> seria responsável pelo abastecimento de 10.417 residências no início de operação do sistema, ou seja, no momento de sua implantação. Já o reservatório de 10.000 m<sup>3</sup> abasteceria 20.833 residências.

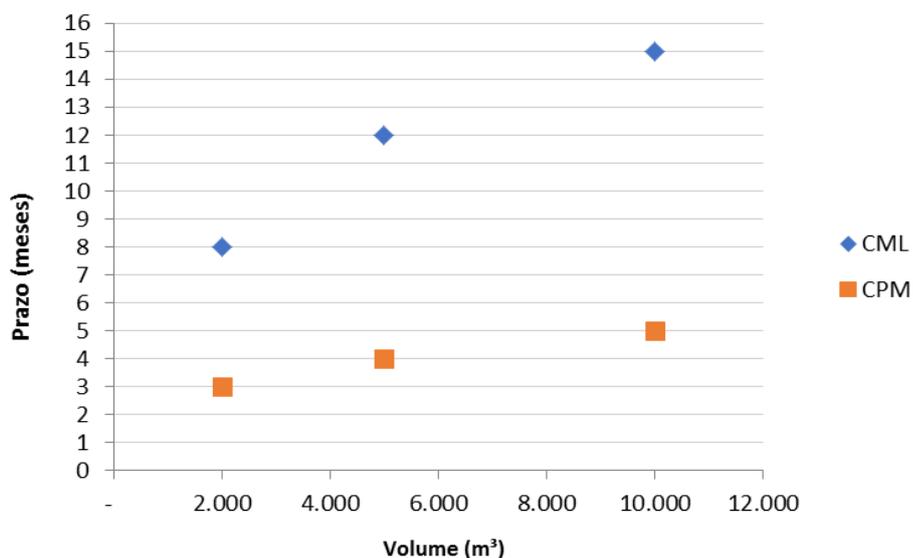
Com base nas informações mensais de receitas tarifárias e despesas médias por unidades habitacionais, foi possível estimar o lucro operacional médio que uma empresa pode obter por cada mês que o prazo de execução da obra for antecipado e o lucro operacional para cada volume (Tabela 13) com a diferença de prazos de execução apresentados na Tabela 12.

**Tabela 13. Lucro operacional antecipado para cada volume**

<b>Volume (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Residências atendidas (unidades)</b>	<b>Lucro Antecipado (R\$)</b>
2.000	4.166	249.990,00
5.000	10.417	937.500,00
10.000	20.833	2.083.333,33

A análise da antecipação do lucro operacional é importante tendo em vista que a alteração do fluxo de caixa pode gerar resultados diferentes para a viabilidade econômica do projeto. Obviamente que para cada volume de reservatório a antecipação é diferente, pois a diferença entre o prazo de execução utilizando o concreto pré-moldado e o concreto moldado no local não segue a mesma proporção em relação ao acréscimo de volume reservado, conforme Figura 47, e sendo assim quanto maior a diferença entre o prazo de execução dos dois métodos construtivos, maior é o impacto da antecipação do lucro no fluxo de caixa.

**Figura 47. Relação entre o volume do reservatório e prazo de execução da estrutura para os sistemas construtivos**

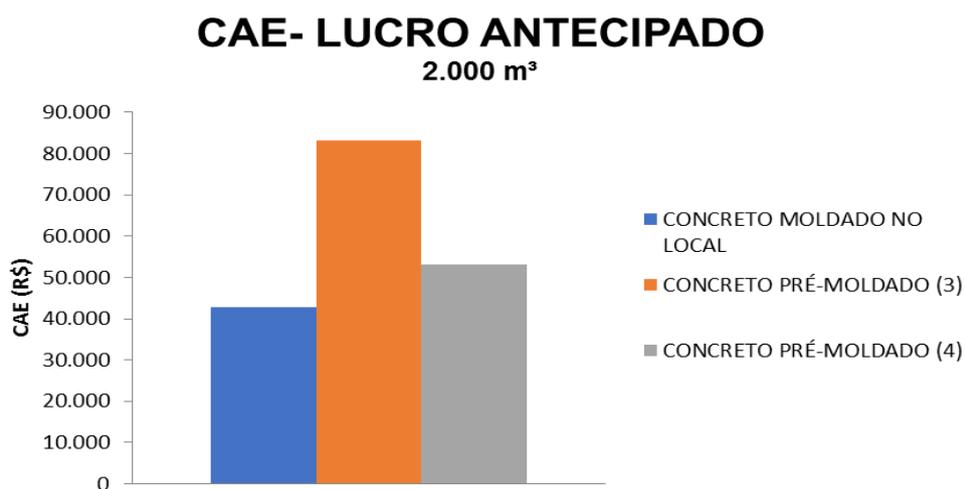


Analisando o gráfico da Figura 47, nota-se que o prazo de execução da estrutura do reservatório utilizando o concreto pré-moldado é sempre inferior ao prazo de execução utilizando o concreto convencional, assim como a razão de aumento de prazo de execução pelo aumento de volume reservado é maior no reservatório construído em concreto moldado no local.

A Tabela 14 apresenta, para cada volume de reservatório, os dados de entrada dessa análise (investimento inicial e custo de manutenção) e os valores calculados para cada volume e situação (Valor Presente Líquido- VPL e Custo Anual Equivalente – CAE) do cenário 2, para os valores de vida útil e taxa de desconto (10% ao ano) dos sistemas construtivos. Além disso, são apresentados os gráficos de coluna com os valores do CAE para cada situação e volume de reservatório. Os gráficos apresentados entre a Figura 48 e a Figura 50 demonstram os valores do CAE para cada sistema construtivo e cada volume de reservatório, considerando o lucro antecipado para o reservatório em concreto pré-moldado.

Tabela 14. Cenário 2 - Custo Anual Equivalente

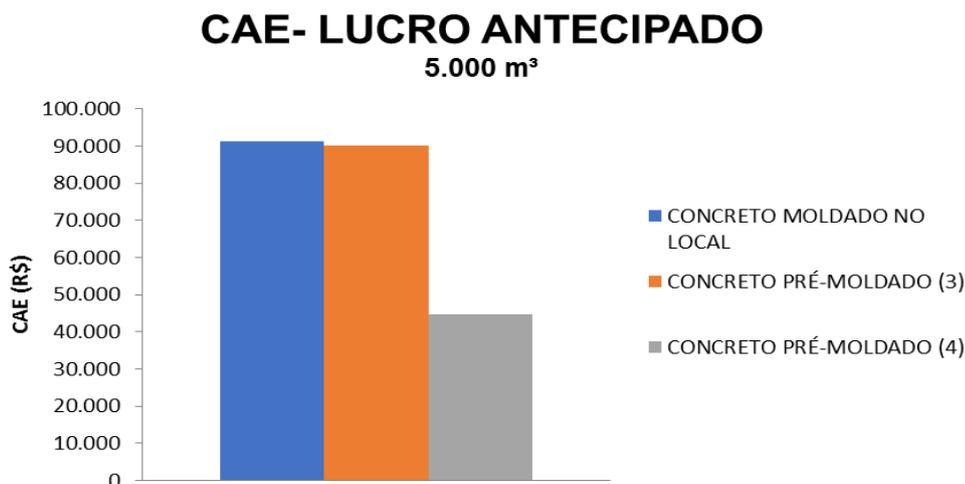
Volume (m <sup>3</sup> )	Sistema Construtivo	Investimento Inicial (R\$)	Lucro Antecipado (R\$)	Valor Presente Líquido (R\$)	CAE (R\$)
2.000	C.M.L.	411.604,68	-	424.232,51	-42.787,74
	C.P.M. <sup>(3)</sup>	1.029.038,56	249.990,00	791.828,44	-79.283,23
	C.P.M. <sup>(4)</sup>	730.617,38	249.990,00	493.407,25	-49.403,28
5.000	C.M.L.	877.478,72	-	904.399,35	-91.216,97
	C.P.M. <sup>(3)</sup>	1.681.045,06	937.500,00	810.145,72	-81.117,29
	C.P.M. <sup>(4)</sup>	1.227.162,89	937.500,00	356.263,56	-35.628,94
10.000	C.M.L.	1.405.747,51	-	1.448.875,17	-146.132,35
	C.P.M. <sup>(3)</sup>	2.829.600,39	2.083.333,33	908.619,82	-90.977,18
	C.P.M. <sup>(4)</sup>	2.093.904,29	2.083.333,33	172.923,72	-17.314,30

Figura 48. Gráficos do CAE considerando lucro antecipado (2.000 m<sup>3</sup>)

(3) Considerando a antecipação do lucro operacional e o custo com transporte (1.400 km de distância)

(4) Considerando a antecipação do lucro operacional e desconsiderando o custo com transporte

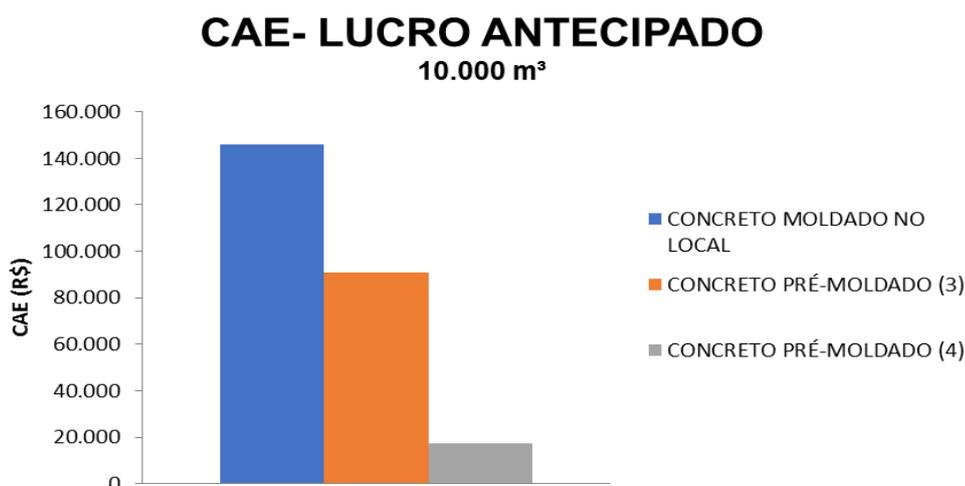
**Figura 49. Gráficos do CAE considerando lucro antecipado (5.000 m<sup>3</sup>)**



(3) Considerando a antecipação do lucro operacional e o custo com transporte (1.400 km de distância)

(4) Considerando a antecipação do lucro operacional e desconsiderando o custo com transporte

**Figura 50. Gráficos do CAE considerando lucro antecipado (10.000 m<sup>3</sup>)**



(3) Considerando a antecipação do lucro operacional e o custo com transporte (1.400 km de distância)

(4) Considerando a antecipação do lucro operacional e desconsiderando o custo com transporte

Os resultados obtidos com esse cenário demonstram que a antecipação no lucro operacional, causada pela rapidez na construção do reservatório em concreto pré-moldado, reduz o impacto do investimento inicial nesse sistema construtivo. Com a redução do Valor Presente Líquido (VPL) dos custos, ocorre a diminuição do Custo Anual Equivalente (CAE) ao longo da vida útil do reservatório em concreto pré-moldado.

Nesse novo cenário, somente o reservatório com capacidade de 2.000 m<sup>3</sup> obteve resultados de CAE do sistema pré-moldado superior ao CAE do sistema em concreto moldado no local, sendo que na consideração dos custos com transporte obteve uma

margem superior a 85% de custo anual e, desconsiderando o custo de transporte, um custo anual 15% superior em relação ao custo anual do sistema convencional.

Para os reservatórios com capacidade de 5.000 m<sup>3</sup> e 10.000 m<sup>3</sup> foram obtidos resultados que comprovam a viabilidade econômico-financeira da aplicação do sistema construtivo em concreto pré-moldado. Nesse cenário de antecipação do lucro operacional, mesmo considerando o transporte dos painéis de concreto pré-moldado por uma distância de 1.400 km da fábrica até o local de aplicação, as análises de viabilidade demonstraram que os Custos Anuais Equivalentes dos reservatórios de concreto pré-moldado com 5.000 m<sup>3</sup> e 10.000 m<sup>3</sup> são inferiores ao Custo Anual do reservatório construído em concreto moldado no local.

Na avaliação da situação de 1.400 km de transporte dos painéis, o CAE do reservatório pré-moldado de 5.000 m<sup>3</sup> apresentou um valor 11,07% inferior ao CAE do reservatório em concreto moldado no local, enquanto que o reservatório de 10.000 m<sup>3</sup> em concreto pré-moldado apresentou um CAE com valor 37,74% inferior.

Quando se desconsidera os custos com transporte dos painéis pré-moldados, o Custo Anual Equivalente da estrutura do reservatório apresentou um valor 60,94% inferior ao CAE da estrutura do reservatório em concreto moldado no local para o reservatório com capacidade de 5.000 m<sup>3</sup> e um valor 88,15% inferior do CAE em concreto pré-moldado em relação ao CAE do concreto moldado no local para reservatório com capacidade de 10.000 m<sup>3</sup>, o que significa que há uma grande margem para utilização do concreto pré-moldado quando ocorre essa antecipação do lucro, mesmo com a necessidade de transporte dos painéis.

Deve-se atentar, porém, que a viabilidade da aplicação do reservatório em concreto pré-moldado, nos reservatórios de 5.000 m<sup>3</sup> e 10.000 m<sup>3</sup>, foi condicionada à redução do prazo de execução do reservatório apoiado utilizando tal sistema construtivo, de forma que com a conclusão desta obra seria possível inaugurar o início de operação do sistema de abastecimento de água. Acontece que, caso ocorram imprevistos e atrasos na execução do reservatório ou das demais obras do sistema aumentaria o risco de não iniciar o faturamento e o lucro operacional antecipadamente, o que comprometeria o fluxo de caixa e a viabilidade do projeto. Portanto, deve ser realizada uma análise e gestão dos riscos envolvidos em todas as obras necessárias para a funcionalidade e operação do fornecimento de água na região de abastecimento do reservatório, de forma que sejam adotadas medidas mitigadoras do risco de atrasar o cronograma das obras.

### 5.3 ANÁLISE DE SENSIBILIDADE DO CENÁRIO 1

A análise de sensibilidade foi realizada com a utilização do software Microsoft Office Excel®, através da entrada de dados das variáveis, calculando os valores de CAE e apresentando-os nas células de uma matriz, onde as colunas representam o custo de manutenção e as linhas representam os valores de vida útil do projeto. Dessa forma, cada célula da matriz corresponde a um cenário com vida útil na linha da célula e custo de manutenção na coluna. A célula em destaque de cada matriz representa o resultado de CAE da Tabela 11.

Os resultados das análises de sensibilidade do cenário 1 são apresentados nas tabelas a seguir (Tabela 15 até Tabela 23), onde células com números destacados em vermelho significam que o CAE do concreto pré-moldado é superior ao CAE do concreto moldado no local:

**Tabela 15. Análise de sensibilidade - Reservatório 2.000 m<sup>3</sup> em CML no Cenário 1**

Concreto Moldado no Local							
Variáveis	Custo com manutenção						
	15.000	20.580	30.000	40.000	50.000	60.000	
VIDA ÚTIL DE PROJETO (VUP)	40	- 43.032	- 43.382	- 43.973	- 44.600	- 45.228	- 45.855
	50	- 42.442	- 42.788	- 43.371	- 43.990	- 44.608	- 45.227
	60	- 42.220	- 42.563	- 43.143	- 43.759	- 44.374	- 44.990
	70	- 42.134	- 42.477	- 43.056	- 43.670	- 44.284	- 44.899
	75	- 42.114	- 42.457	- 43.035	- 43.649	- 44.263	- 44.877
	80	- 42.101	- 42.444	- 43.022	- 43.636	- 44.250	- 44.864
	85	- 42.094	- 42.436	- 43.014	- 43.628	- 44.242	- 44.856
	90	- 42.089	- 42.431	- 43.009	- 43.623	- 44.237	- 44.850
	95	- 42.086	- 42.428	- 43.006	- 43.620	- 44.234	- 44.847
	100	- 42.084	- 42.426	- 43.004	- 43.618	- 44.232	- 44.845

**Tabela 16. Análise de sensibilidade – Reservatório 2.000 m³ em CPM com transporte no Cenário 1**

Concreto Pré-Moldado com Transporte								
Variáveis		Custo com manutenção						
		1.000	2.000	3.653	5.000	8.000	10.000	
VIDA ÚTIL DE PROJETO (VUP)	40	- 105.261	- 105.293	- 105.346	- 105.389	- 105.486	- 105.550	
	50	- 103.820	- 103.851	- 103.904	- 103.946	- 104.041	- 104.104	
	60	- 103.274	- 103.306	- 103.358	- 103.400	- 103.495	- 103.558	
	70	- 103.066	- 103.097	- 103.149	- 103.191	- 103.286	- 103.348	
	75	- 103.016	- 103.048	- 103.100	- 103.142	- 103.236	- 103.299	
	80	- 102.986	- 103.017	- 103.069	- 103.111	- 103.205	- 103.268	
	85	- 102.966	- 102.998	- 103.050	- 103.092	- 103.186	- 103.249	
	90	- 102.955	- 102.986	- 103.038	- 103.080	- 103.174	- 103.237	
	95	- 102.947	- 102.979	- 103.030	- 103.073	- 103.167	- 103.230	
	100	- 102.943	- 102.974	- 103.026	- 103.068	- 103.162	- 103.225	

**Tabela 17. Análise de sensibilidade – Reservatório 2.000 m³ em CPM sem transporte no Cenário 1**

Concreto Pré-Moldado sem Transporte								
Variáveis		Custo com manutenção						
		1.000	2.000	3.653	5.000	8.000	10.000	
VIDA ÚTIL DE PROJETO (VUP)	40	- 74.745	- 74.777	- 74.830	- 74.873	- 74.969	- 75.033	
	50	- 73.721	- 73.753	- 73.805	- 73.848	- 73.943	- 74.006	
	60	- 73.334	- 73.365	- 73.417	- 73.460	- 73.554	- 73.617	
	70	- 73.186	- 73.217	- 73.269	- 73.311	- 73.406	- 73.468	
	75	- 73.151	- 73.182	- 73.234	- 73.276	- 73.370	- 73.433	
	80	- 73.129	- 73.160	- 73.212	- 73.254	- 73.349	- 73.411	
	85	- 73.115	- 73.147	- 73.199	- 73.241	- 73.335	- 73.398	
	90	- 73.107	- 73.138	- 73.190	- 73.232	- 73.327	- 73.389	
	95	- 73.102	- 73.133	- 73.185	- 73.227	- 73.321	- 73.384	
	100	- 73.098	- 73.130	- 73.182	- 73.224	- 73.318	- 73.381	

Tabela 18. Análise de sensibilidade – Reservatório 5.000 m³ em CML no Cenário 1

Concreto Moldado no Local								
Variáveis		Custo com manutenção						
		15.000	30.000	43.874	60.000	75.000	90.000	
VIDA ÚTIL DE PROJETO (VUP)	40	- 90.672	- 91.613	- 92.483	- 93.495	- 94.436	- 95.378	
	50	- 89.430	- 90.358	- 91.217	- 92.215	- 93.143	- 94.072	
	60	- 88.960	- 89.884	- 90.738	- 91.731	- 92.654	- 93.578	
	70	- 88.781	- 89.702	- 90.555	- 91.545	- 92.467	- 93.388	
	75	- 88.738	- 89.659	- 90.511	- 91.501	- 92.422	- 93.344	
	80	- 88.712	- 89.632	- 90.484	- 91.474	- 92.395	- 93.316	
	85	- 88.695	- 89.616	- 90.467	- 91.457	- 92.378	- 93.298	
	90	- 88.685	- 89.606	- 90.457	- 91.447	- 92.367	- 93.288	
	95	- 88.679	- 89.599	- 90.451	- 91.440	- 92.361	- 93.281	
	100	- 88.675	- 89.595	- 90.446	- 91.436	- 92.357	- 93.277	

Tabela 19. Análise de sensibilidade – Reservatório 5.000 m³ em CPM com transporte no Cenário 1

Concreto Pré-Moldado com Transporte								
Variáveis		Custo com manutenção						
		4.000	6.136	8.000	10.000	12.000	14.000	
VIDA ÚTIL DE PROJETO (VUP)	40	- 172.031	- 172.100	- 172.159	- 172.223	- 172.288	- 172.352	
	50	- 169.675	- 169.743	- 169.802	- 169.865	- 169.928	- 169.992	
	60	- 168.784	- 168.852	- 168.910	- 168.973	- 169.036	- 169.099	
	70	- 168.443	- 168.510	- 168.569	- 168.632	- 168.695	- 168.757	
	75	- 168.362	- 168.429	- 168.488	- 168.551	- 168.614	- 168.676	
	80	- 168.312	- 168.379	- 168.438	- 168.500	- 168.563	- 168.626	
	85	- 168.281	- 168.348	- 168.407	- 168.469	- 168.532	- 168.595	
	90	- 168.262	- 168.329	- 168.387	- 168.450	- 168.513	- 168.575	
	95	- 168.250	- 168.317	- 168.375	- 168.438	- 168.501	- 168.563	
	100	- 168.242	- 168.309	- 168.368	- 168.430	- 168.493	- 168.556	

Tabela 20. Análise de sensibilidade – Reservatório 5.000 m<sup>3</sup> em CPM sem transporte no Cenário 1

Concreto Pré-Moldado sem Transporte							
Variáveis	Custo com manutenção						
	4.000	6.136	8.000	10.000	12.000	14.000	
VIDA ÚTIL DE PROJETO (VUP)	40	- 125.617	- 125.686	- 125.746	- 125.810	- 125.874	- 125.938
	50	- 123.897	- 123.965	- 124.024	- 124.087	- 124.150	- 124.214
	60	- 123.247	- 123.314	- 123.372	- 123.435	- 123.498	- 123.561
	70	- 122.998	- 123.065	- 123.123	- 123.186	- 123.249	- 123.312
	75	- 122.938	- 123.005	- 123.064	- 123.127	- 123.190	- 123.252
	80	- 122.902	- 122.969	- 123.027	- 123.090	- 123.153	- 123.216
	85	- 122.879	- 122.946	- 123.005	- 123.067	- 123.130	- 123.193
	90	- 122.865	- 122.932	- 122.990	- 123.053	- 123.116	- 123.179
	95	- 122.856	- 122.923	- 122.982	- 123.044	- 123.107	- 123.170
	100	- 122.851	- 122.918	- 122.976	- 123.039	- 123.102	- 123.164

Tabela 21. Análise de sensibilidade – Reservatório 10.000 m<sup>3</sup> em CML no Cenário 1

Concreto Moldado no Local							
Variáveis	Custo com manutenção						
	10.000	30.000	50.000	70.287	90.000	110.000	
VIDA ÚTIL DE PROJETO (VUP)	40	- 144.378	- 145.633	- 146.888	- 148.161	- 149.416	- 150.671
	50	- 142.401	- 143.639	- 144.877	- 146.132	- 147.370	- 148.608
	60	- 141.654	- 142.885	- 144.116	- 145.365	- 146.596	- 147.827
	70	- 141.367	- 142.596	- 143.825	- 145.071	- 146.300	- 147.529
	75	- 141.299	- 142.528	- 143.756	- 145.002	- 146.230	- 147.458
	80	- 141.257	- 142.485	- 143.713	- 144.958	- 146.186	- 147.414
	85	- 141.231	- 142.459	- 143.686	- 144.931	- 146.159	- 147.387
	90	- 141.215	- 142.442	- 143.670	- 144.915	- 146.142	- 147.370
	95	- 141.205	- 142.432	- 143.659	- 144.904	- 146.132	- 147.359
	100	- 141.199	- 142.426	- 143.653	- 144.898	- 146.125	- 147.353

**Tabela 22. Análise de sensibilidade – Reservatório 10.000 m<sup>3</sup> em CPM com transporte no Cenário 1**

Concreto Pré-Moldado com Transporte									
Variáveis		Custo com manutenção							
		6.000	8.000	10.470	12.000	14.000	16.000		
VIDA ÚTIL DE PROJETO (VUP)	40	- 289.546	- 289.610	- 289.689	- 289.753	- 289.817	- 289.867		
	50	- 285.581	- 285.644	- 285.722	- 285.786	- 285.849	- 285.897		
	60	- 284.081	- 284.144	- 284.222	- 284.285	- 284.348	- 284.396		
	70	- 283.507	- 283.570	- 283.648	- 283.710	- 283.773	- 283.821		
	75	- 283.371	- 283.434	- 283.511	- 283.574	- 283.637	- 283.685		
	80	- 283.287	- 283.349	- 283.427	- 283.490	- 283.552	- 283.600		
	85	- 283.234	- 283.297	- 283.374	- 283.437	- 283.500	- 283.548		
	90	- 283.202	- 283.264	- 283.342	- 283.405	- 283.467	- 283.515		
	95	- 283.181	- 283.244	- 283.322	- 283.384	- 283.447	- 283.495		
	100	- 283.169	- 283.232	- 283.309	- 283.372	- 283.435	- 283.483		

**Tabela 23. Análise de sensibilidade – Reservatório 10.000 m<sup>3</sup> em CPM sem transporte no Cenário 1**

Concreto Pré-Moldado sem Transporte									
Variáveis		Custo com manutenção							
		6.000	8.000	10.470	12.000	14.000	16.000		
VIDA ÚTIL DE PROJETO (VUP)	40	- 214.314	- 214.378	- 214.457	- 214.521	- 214.586	- 214.635		
	50	- 211.379	- 211.443	- 211.521	- 211.584	- 211.647	- 211.696		
	60	- 210.269	- 210.332	- 210.410	- 210.473	- 210.536	- 210.584		
	70	- 209.844	- 209.907	- 209.985	- 210.048	- 210.110	- 210.158		
	75	- 209.744	- 209.806	- 209.884	- 209.947	- 210.009	- 210.058		
	80	- 209.681	- 209.744	- 209.821	- 209.884	- 209.947	- 209.995		
	85	- 209.642	- 209.705	- 209.782	- 209.845	- 209.908	- 209.956		
	90	- 209.618	- 209.681	- 209.758	- 209.821	- 209.884	- 209.932		
	95	- 209.603	- 209.666	- 209.743	- 209.806	- 209.869	- 209.917		
	100	- 209.594	- 209.657	- 209.734	- 209.797	- 209.860	- 209.908		

Fixando o valor de custo de manutenção (coluna) e variando os valores de vida útil de projeto entre 40 anos e 100 anos (linhas) em qualquer volume de reservatório, é possível concluir que a variação da VUP não impacta de modo significativo o Custo Anual Equivalente (CAE) no estudo de viabilidade econômico-financeira, tendo em vista que o CAE é uma distribuição do valor presente líquido dos custos, e este não sofre alteração significativa no seu valor, resultando num desvio de somente 0,84% para os reservatórios em concreto moldado no local e 0,12% para os reservatórios em concreto pré-moldado em relação aos resultados apresentados com as premissas adotadas no cenário 1. Isso ocorre

devido ao fato de o aumento da vida útil provocar um distanciamento das saídas em relação ao início do fluxo de caixa e, assim, resulta num valor presente líquido relativamente baixo em comparação ao investimento inicial.

Por outro lado, na avaliação do impacto da variação do custo de manutenção dos reservatórios no valor do CAE, percebe-se que o sistema em concreto moldado no local apresenta uma correlação maior entre as variáveis.

Analisando os dados, ao triplicar o custo estimado com a manutenção dos reservatórios, mantendo a vida útil em 50 anos para CML e 70 anos para CPM, a variação do CAE para o concreto moldado no local, em relação aos resultados de CAE das premissas do cenário 1, foi de 5,70% para o reservatório com 2.000 m<sup>3</sup>, 3,13% para o reservatório com 5.000 m<sup>3</sup> e 1,69% para o reservatório com 10.000 m<sup>3</sup>, enquanto para o concreto pré-moldado a variação do CAE foi de 0,23%, 0,17% e 0,07% para os respectivos volumes de reservatórios. A justificativa para esse fato é justamente o valor estimado do custo com manutenção para o reservatório em concreto moldado no local ser superior ao custo com manutenção no reservatório em concreto pré-moldado, já que neste sistema construtivo há um maior potencial para utilização de materiais com melhor qualidade (maior controle de produção na fábrica) e com propriedades superiores ao do concreto moldado no local, que se caracteriza como um sistema construtivo tradicional.

Para o caso do cenário 1, que considera os valores de investimento inicial e custos com manutenção dos reservatórios, a análise de sensibilidade demonstrou que, mesmo que as variáveis vida útil e custos com manutenção do reservatório influenciem mais o CAE do sistema em concreto moldado no local do que o sistema em concreto pré-moldado, ainda assim os valores dos CAE's dos reservatórios em concreto moldado no local são inferiores aos valores dos CAE's dos reservatórios em concreto pré-moldado para os volumes de reservação avaliados (com ou sem consideração dos custos com transportes). O fato do investimento inicial no sistema pré-moldado ser superior (entre 50% e 80% a mais em relação aos investimentos em concreto convencional) ainda é o fator de maior impacto no CAE neste cenário 1, já que tal investimento adicional não é beneficiado com entrada no fluxo de caixa do projeto. Neste cenário 1 não houve necessidade de se avaliar o impacto do custo do transporte na viabilidade econômico-financeira, já que mesmo sem considerar o transporte dos painéis pré-moldados, o Custo Anual Equivalente do concreto pré-moldado se apresentou superior ao do concreto moldado no local.

Uma ressalva que se faz nesta análise econômico-financeira é que, uma vez utilizando o sistema convencional em concreto moldado no local, ainda devem considerar outros fatores que podem influenciar no estudo econômico, como a má qualidade de projetos executivos para o sistema convencional, muitas vezes com falhas de detalhes construtivos, o que impacta diretamente no quantitativo de materiais e mão de obra,

resultando em aditivos no orçamento inicial do contrato. Outro exemplo que ocorre com frequência é a estimativa incorreta de custos diretos e indiretos para a execução da obra por parte da empresa contratada, que pode resultar no abandono do contrato pela empreiteira (por subestimativa dos recursos necessários) e obras paralisadas (incompletas). Este acontecimento, além de causar atraso na conclusão da obra e implantação do sistema de saneamento, ainda pode causar custos adicionais para a empresa contratante, como a perda de materiais de construção já adquiridos e estocados, e a deterioração precoce do concreto armado (despassivação por ação de cloretos na armadura exposta, carbonatação, lixiviação, reação álcali-agregado ou expansão por sulfatos).

#### **5.4 ANÁLISE DE SENSIBILIDADE DO CENÁRIO 2**

A análise de sensibilidade deste cenário foi realizada com a utilização do software Microsoft Office Excel®, através da entrada de dados das variáveis para a estrutura de concreto pré-moldado, calculado os valores de CAE e apresenta-os em forma de matriz, onde as colunas representam os meses de antecipação da execução do reservatório em concreto pré-moldado em relação ao reservatório em concreto moldado no local e as linhas representam as variáveis de lucro operacional por unidade consumidora (residência). As células em destaque (fundo cinza) representam os valores de CAE da Tabela 14 e, em cada tabela, foi apresentado o CAE do reservatório em concreto moldado no local (canto superior esquerdo da tabela) como referência de comparação com os resultados de CAE do concreto pré-moldado na situação de antecipação do lucro operacional. Os valores de CAE do concreto pré-moldado que estão destacados em vermelho são aqueles que resultaram em Custo Anual Equivalente superior ao do concreto moldado no local, enquanto que os valores destacados em azul são aqueles que resultaram em Custo Anual Equivalente inferior ao do concreto moldado no local.

Os resultados das análises de sensibilidade do cenário 2, para cada volume de reservatório, são apresentados nas tabelas a seguir (Tabela 24 até Tabela 29):

Tabela 24. Análise de sensibilidade – Reservatório 2.000 m³ em CPM com transporte no Cenário 2

Concreto Pré-Moldado (com Transporte e antecipação no Lucro)							
CML	-42.787,74	Antecipação do prazo de implantação					
		1	2	3	4	5	6
Lucro por residência (R\$/moradia)	1	- 102.735	- 102.328	- 101.927	- 101.533	- 101.144	- 100.762
	3	- 101.907	- 100.685	- 99.483	- 98.299	- 97.135	- 95.989
	5	- 101.080	- 99.043	- 97.039	- 95.066	- 93.126	- 91.216
	8	- 99.838	- 96.579	- 93.373	- 90.217	- 87.112	- 84.056
	9	- 99.424	- 95.758	- 92.150	- 88.600	- 85.107	- 81.670
	10	- 99.010	- 94.937	- 90.928	- 86.984	- 83.102	- 79.283
	11	- 98.596	- 94.116	- 89.706	- 85.367	- 81.098	- 76.897
	12	- 98.183	- 93.295	- 88.484	- 83.751	- 79.093	- 74.510
	13	- 97.769	- 92.473	- 87.262	- 82.134	- 77.088	- 72.123
	14	- 97.355	- 91.652	- 86.040	- 80.518	- 75.084	- 69.737
	15	- 96.941	- 90.831	- 84.818	- 78.901	- 73.079	- 67.350

Tabela 25. Análise de sensibilidade – Reservatório 2.000 m³ em CPM sem transporte no Cenário 2

Concreto Pré-Moldado (sem Transporte e com antecipação no Lucro)							
CML	-42.787,74	Antecipação do prazo de implantação					
		1	2	3	4	5	6
Lucro por residência (R\$/moradia)	1	- 72.855,23	- 72.447,90	- 72.047,05	- 71.652,58	- 71.264,43	- 70.882,53
	3	- 72.027,48	- 70.805,49	- 69.602,91	- 68.419,52	- 67.255,08	- 66.109,36
	5	- 71.199,72	- 69.163,07	- 67.158,78	- 65.186,46	- 63.245,72	- 61.336,20
	8	- 69.958,09	- 66.699,45	- 63.492,58	- 60.336,86	- 57.231,69	- 54.176,45
	9	- 69.544,21	- 65.878,25	- 62.270,52	- 58.720,33	- 55.227,01	- 51.789,86
	10	- 69.130,33	- 65.057,04	- 61.048,45	- 57.103,80	- 53.222,33	- 49.403,28
	11	- 68.716,45	- 64.235,83	- 59.826,38	- 55.487,27	- 51.217,65	- 47.016,70
	12	- 68.302,58	- 63.414,62	- 58.604,32	- 53.870,74	- 49.212,97	- 44.630,11
	13	- 67.888,70	- 62.593,42	- 57.382,25	- 52.254,21	- 47.208,29	- 42.243,53
	14	- 67.474,82	- 61.772,21	- 56.160,19	- 50.637,68	- 45.203,61	- 39.856,95
	15	- 67.060,94	- 60.951,00	- 54.938,12	- 49.021,14	- 43.198,94	- 37.470,37

**Tabela 26. Análise de sensibilidade – Reservatório 5.000 m³ em CPM com transporte no Cenário 2**

Concreto Pré-Moldado (com Transporte e antecipação no Lucro)										
Antecipação do prazo de implantação										
CML - 91.216,97		1	2	3	4	5	6	7	8	9
Lucro por residência (R\$/moradia)	1	167.476	166.457	-165.455	-164.469	-163.498	-162.544	-161.604	-160.680	-159.771
	3	-165.406	-162.351	-159.344	-156.386	-153.475	-150.610	-147.792	-145.020	-142.292
	5	-163.337	-158.245	-153.234	-148.303	-143.451	-138.677	-133.980	-129.359	-124.814
	8	-160.232	-152.086	-144.068	-136.178	-128.415	-120.777	-113.262	-105.869	-98.596
	9	-159.198	-150.032	-141.013	-132.137	-123.403	-114.810	-106.356	-98.038	-89.857
	10	-158.163	-147.979	-137.957	-128.095	-118.391	-108.843	-99.450	-90.208	-81.117
	11	-157.128	-145.926	-134.902	-124.054	-113.380	-102.877	-92.544	-82.378	-72.378
	12	-156.094	-143.873	-131.847	-120.012	-108.368	-96.910	-85.637	-74.548	-63.639
	13	-155.059	-141.820	-128.792	-115.971	-103.356	-90.943	-78.731	-66.718	-54.899
	14	-154.024	-139.767	-125.736	-111.930	-98.344	-84.977	-71.825	-58.887	-46.160
	15	-152.989	-137.714	-122.681	-107.888	-93.332	-79.010	-64.919	-51.057	-37.421

**Tabela 27. Análise de sensibilidade – Reservatório 5.000 m³ em CPM sem transporte no Cenário 2**

Concreto Pré-Moldado (sem Transporte e com antecipação no Lucro)										
Antecipação do prazo de implantação										
CML - 91.216,97		1	2	3	4	5	6	7	8	9
Lucro por residência (R\$/moradia)	1	-121.884	-120.867	-119.866	-118.881	-117.912	-116.958	-116.020	-115.097	-114.189
	3	-119.817	-116.766	-113.763	-110.808	-107.900	-105.039	-102.224	-99.455	-96.731
	5	-117.750	-112.664	-107.659	-102.734	-97.888	-93.120	-88.429	-83.813	-79.273
	8	-114.650	-106.512	-98.505	-90.624	-82.870	-75.241	-67.735	-60.351	-53.087
	9	-113.616	-104.462	-95.453	-86.588	-77.864	-69.282	-60.837	-52.530	-44.358
	10	-112.583	-102.411	-92.401	-82.551	-72.859	-63.322	-53.939	-44.709	-35.629
	11	-111.549	-100.361	-89.350	-78.514	-67.853	-57.362	-47.042	-36.888	-26.900
	12	-110.516	-98.310	-86.298	-74.478	-62.847	-51.403	-40.144	-29.067	-18.171
	13	-109.482	-96.259	-83.246	-70.441	-57.841	-45.443	-33.246	-21.246	-9.442
	14	-108.449	-94.209	-80.195	-66.404	-52.835	-39.484	-26.348	-13.425	-713
	15	-107.415	-92.158	-77.143	-62.368	-47.829	-33.524	-19.450	-5.605	8.015

**Tabela 28. Análise de sensibilidade – Reservatório 10.000 m³ em CPM com transporte no Cenário 2**

Concreto Pré-Moldado (com Transporte e antecipação no Lucro)											
Antecipação do prazo de implantação											
CML -146.132,35		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Lucro por residência (R\$/moradia)	1	281.578	279.541	277.537	275.565	273.624	271.714	269.835	267.987	266.169	264.381
	3	277.439	271.329	265.316	259.399	253.576	247.847	242.211	236.666	231.212	225.846
	5	273.300	263.117	253.095	243.233	233.529	223.981	214.587	205.345	196.255	187.312
	8	267.092	250.798	234.763	218.984	203.457	188.180	173.150	158.364	143.819	129.511
	9	265.022	246.692	228.652	210.901	193.433	176.247	159.338	142.704	126.340	110.244
	10	262.953	242.586	222.542	202.818	183.410	164.314	145.526	127.043	108.861	90.977
	11	260.883	238.479	216.431	194.735	173.386	152.380	131.714	111.383	91.383	71.710
	12	258.814	234.373	210.321	186.652	163.362	140.447	117.902	95.722	73.904	52.443
	13	256.744	230.267	204.210	178.569	153.338	128.514	104.090	80.062	56.426	33.176
	14	254.675	226.161	198.100	170.486	143.315	116.580	90.278	64.402	38.947	13.909
	15	252.606	222.055	191.989	162.403	133.291	104.647	76.465	48.741	21.468	5.358

**Tabela 29. Análise de sensibilidade – Reservatório 10.000 m<sup>3</sup> em CPM sem transporte no Cenário 2**

Concreto Pré-Moldado (sem Transporte e com antecipação no Lucro)											
Antecipação do prazo de implantação											
CML	-146.132,35	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Lucro por residência (R\$/moradia)	1	- 207.915	- 205.879	- 203.874	- 201.902	- 199.961	- 198.051	- 196.173	- 194.324	- 192.506	- 190.718
	3	- 203.776	- 197.666	- 191.653	- 185.736	- 179.913	- 174.185	- 168.548	- 163.003	- 157.549	- 152.184
	5	- 199.637	- 189.454	- 179.432	- 169.570	- 159.866	- 150.318	- 140.924	- 131.683	- 122.592	- 113.650
	8	- 193.429	- 177.135	- 161.100	- 145.321	- 129.794	- 114.518	- 99.488	- 84.701	- 70.156	- 55.848
	9	- 191.359	- 173.029	- 154.990	- 137.238	- 119.771	- 102.584	- 85.675	- 69.041	- 52.677	- 36.581
	10	- 189.290	- 168.923	- 148.879	- 129.155	- 109.747	- 90.651	- 71.863	- 53.380	- 35.199	- 17.314
	11	- 187.221	- 164.817	- 142.768	- 121.072	- 99.723	- 78.717	- 58.051	- 37.720	- 17.720	1.953
	12	- 185.151	- 160.710	- 136.658	- 112.989	- 89.699	- 66.784	- 44.239	- 22.060	- 241	21.220
	13	- 183.082	- 156.604	- 130.547	- 104.906	- 79.675	- 54.851	- 30.427	- 6.399	17.237	40.487
	14	- 181.012	- 152.498	- 124.437	- 96.823	- 69.652	- 42.917	- 16.615	9.261	34.716	59.754
	15	- 178.943	- 148.392	- 118.326	- 88.740	- 59.628	- 30.984	- 2.802	24.922	52.194	79.021

A análise de sensibilidade desse cenário demonstrou que, considerando como variáveis a diferença entre o prazo de execução dos dois sistemas construtivos e o lucro por residência pela prestação do serviço de abastecimento de água, ocorre um impacto significativo no Custo Anual Equivalente do sistema construtivo em concreto pré-moldado.

Analisando o impacto no CAE com a alteração do lucro por residência e mantendo o prazo de antecipação da premissa do cenário 2, ocorreram variações de grande magnitude, aumentando conforme maior o volume do reservatório. Este aumento da variação do CAE em relação ao lucro e volume de reservatório ocorre devido ao número de residências ser proporcional ao volume reservado, ou seja, a área de influência do abastecimento de água do volume de reservatório de 10.000 m<sup>3</sup> é maior que o de 5.000 m<sup>3</sup> e de 2.000 m<sup>3</sup>. Por esse motivo, o aumento no lucro por residência teve maior impacto no CAE do reservatório de maior dimensão, aumentando de 1,43 vezes (reservatório de 2.000 m<sup>3</sup>) até 11 vezes (reservatório de 10.000 m<sup>3</sup>) o valor do CAE do concreto pré-moldado das premissas do cenário 2 para a situação que desconsidera o custo com transporte, que está em destaque nas tabelas anteriores.

Quando se avalia os dados variando a antecipação do prazo de implantação do reservatório em concreto pré-moldado e mantendo o lucro por residência em R\$10, observa-se que o impacto maior na variação do CAE do concreto pré-moldado também ocorre com volumes maiores de reservatórios. Esta influência da antecipação do prazo é mais significativa para os maiores volumes de reservatório devido ao aumento na diferença de prazo de execução entre os dois sistemas (CPM e CML), conforme os dados levantados para o cenário 2, ou seja, a diferença de prazo de execução entre os dois sistemas foi estimada em 6 meses, 9 meses e 10 meses respectivamente para os volumes de reservatórios de 2.000 m<sup>3</sup>, 5.000 m<sup>3</sup> e 10.000 m<sup>3</sup>. O impacto da variação do CAE em relação à variação do prazo de implantação do reservatório em concreto pré-moldado foi semelhante ao impacto da variação do lucro sobre o CAE, ou seja, um aumento do CAE em

aproximadamente 1,40 vezes o valor do CAE do cenário 2 da Tabela 14 para reservatório de 2.000 m<sup>3</sup>, aproximadamente 3,20 vezes para o reservatório de 5.000 m<sup>3</sup> e aumento de quase 11 vezes para o reservatório de 10.000 m<sup>3</sup>.

Essa volatilidade do Custo Anual Equivalente para o reservatório em concreto pré-moldado nas condições de antecipação do lucro operacional demonstra que há um maior risco intrínseco à análise de viabilidade econômico-financeira com as premissas adotadas, ou seja, o acompanhamento dessas premissas durante a execução do projeto deve ser rigoroso, pois uma alteração nessas variáveis pode inviabilizar um projeto de investimento que preliminarmente era viável.

A Tabela 30 apresenta os valores de probabilidade de o Custo Anual Equivalente (CAE) de o concreto pré-moldado ser inferior ao valor do Custo Anual Equivalente do reservatório em concreto moldado no local, considerando o espaço amostral das matrizes de resultados de cada volume de reservatório apresentados na análise de sensibilidade do cenário 2 (quando há antecipação do lucro operacional do sistema com uso do concreto pré-moldado) para a situação de inclusão do custo com transporte dos painéis pré-moldados à distância de 1.400 km, em relação à Goiânia, e para situação de exclusão desse custo de transporte.

**Tabela 30. Probabilidade de viabilidade do CPM no cenário 2**

<b>Volume (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Custo com transportes</b>	<b>Probabilidade CAE (CPM) &lt; CAE (CML)</b>
2.000	incluído	0%
2.000	excluído	4,5%
5.000	incluído	20,2%
5.000	excluído	56,6%
10.000	incluído	31,8%
10.000	excluído	59,1%

Avaliando-se estes dados de probabilidade, pode-se concluir que, dentro das variações consideradas do lucro e da antecipação do prazo de implantação do sistema de abastecimento nas análises de sensibilidade, o reservatório de 2.000 m<sup>3</sup> construído em concreto pré-moldado não apresenta nenhuma situação de viabilidade econômico-financeira quando se considera o custo com transporte de 1.400 km e, mesmo quando se desconsidera tal custo, a probabilidade de apresentar Custo Anual inferior ao reservatório em concreto moldado no local é muito reduzida. Sendo assim, o valor de investimento inicial (custo da implantação do sistema pré-moldado), nas condições atuais de mercado, ainda se apresenta como fator determinante da não aplicação do sistema pré-moldado estudado

(painéis planos de concreto pré-fabricado) para volumes de reservatórios iguais ou inferiores a 2.000 m<sup>3</sup>.

Para os volumes de reservatórios de 5.000 m<sup>3</sup> e 10.000 m<sup>3</sup>, mesmo considerando o custo com transporte de 1.400 km ainda há situações de viabilidade do emprego do concreto pré-moldado, porém há um significativo aumento da probabilidade do Custo Anual Equivalente do concreto pré-moldado ser inferior ao do concreto moldado no local quando se exclui o custo com transporte dos painéis (quase triplica o valor da probabilidade para o reservatório de 5.000 m<sup>3</sup> e para o reservatório de 10.000 m<sup>3</sup> a probabilidade é quase o dobro).

Com a finalidade de verificar o impacto do custo de transporte no CAE do reservatório em concreto pré-moldado para o cenário 2, foi então realizada a análise de sensibilidade apresentada na Tabela 31, mantendo os valores da premissa do cenário 2 e variando o custo de transporte dos painéis pré-moldados para cada volume de reservatório. Os resultados do CAE do concreto pré-moldado foram destacados em azul quando são valores inferiores ao CAE do concreto moldado no local, e destacados em vermelho quando apresentam custos superiores ao do concreto moldado no local.

Esta análise de sensibilidade realizada demonstrou que, para os reservatórios com volumes de 5.000 m<sup>3</sup> e 10.000 m<sup>3</sup>, quando foram atribuídos diferentes valores para as variáveis de custos de transporte, mantendo fixas as demais variáveis (custo de manutenção, vida útil do reservatório, taxa de desconto do fluxo de caixa, lucro operacional e prazo de execução), em muitas situações ainda permanecia a viabilidade econômico-financeira da utilização da estrutura em concreto pré-moldado, desde que houvesse a antecipação do lucro operacional e as premissas adotadas na metodologia dessa pesquisa para o cenário 2. Dessa forma, vale ressaltar que esses resultados podem ser diferentes e podem inviabilizar o projeto de investimento, caso a antecipação da construção do reservatório em concreto pré-moldado em relação ao reservatório em concreto moldado no local não garanta o início de operação do sistema de abastecimento e, por consequência, não inicie o faturamento da tarifa do serviço pela empresa concessionária. Além disso, os valores de CAE do concreto pré-moldado podem alterar conforme características de cada empresa, como o custo de capital (taxa de desconto) e o lucro médio por residência.

**Tabela 31. Análise de sensibilidade do CAE do concreto pré-moldado em relação ao custo de transporte**

Volume do Reservatório	Custo do CPM (R\$)	Custo Transporte (R\$)	Custo Total (R\$)	CAE (CPM) (R\$)
2.000 m <sup>3</sup>	730.617,38	0,00	730.617,38	-R\$ 49.403,28
	730.617,38	50.000,00	780.617,38	-R\$ 54.409,62
	730.617,38	100.000,00	830.617,38	-R\$ 59.415,96
	730.617,38	150.000,00	880.617,38	-R\$ 64.422,30
	730.617,38	200.000,00	930.617,38	-R\$ 69.428,64
	730.617,38	250.000,00	980.617,38	-R\$ 74.434,98
	730.617,38	298.421,18	1.029.038,56	-R\$ 79.283,23
5.000 m <sup>3</sup>	1.227.162,89	50.000,00	1.277.162,89	- 40.677,86
	1.227.162,89	100.000,00	1.327.162,89	- 45.684,20
	1.227.162,89	150.000,00	1.377.162,89	- 50.690,54
	1.227.162,89	200.000,00	1.427.162,89	- 55.696,88
	1.227.162,89	250.000,00	1.477.162,89	- 60.703,22
	1.227.162,89	300.000,00	1.527.162,89	- 65.709,56
	1.227.162,89	350.000,00	1.577.162,89	- 70.715,90
	1.227.162,89	400.000,00	1.627.162,89	- 75.722,24
	1.227.162,89	453.882,17	1.681.045,06	- 81.117,29
	1.227.162,89	500.000,00	1.727.162,89	- 85.734,92
	1.227.162,89	550.000,00	1.777.162,89	- 90.741,25
	1.227.162,89	600.000,00	1.827.162,89	-R\$ 95.747,59
	10.000 m <sup>3</sup>	2.093.904,29	100.000,00	2.193.904,29
2.093.904,29		200.000,00	2.293.904,29	- 37.339,65
2.093.904,29		300.000,00	2.393.904,29	- 47.352,33
2.093.904,29		400.000,00	2.493.904,29	- 57.365,01
2.093.904,29		500.000,00	2.593.904,29	- 67.377,69
2.093.904,29		600.000,00	2.693.904,29	- 77.390,37
2.093.904,29		700.000,00	2.793.904,29	- 87.403,04
2.093.904,29		735.696,10	2.843.904,29	- 90.977,18
2.093.904,29		800.000,00	2.893.904,29	- 97.415,72
2.093.904,29		900.000,00	2.993.904,29	- 107.428,40
2.093.904,29		1.000.000,00	3.093.904,29	- 117.441,08
2.093.904,29		1.100.000,00	3.193.904,29	- 127.453,76
2.093.904,29		1.200.000,00	3.293.904,29	- 137.466,44
2.093.904,29		1.250.000,00	3.343.904,29	- 142.472,77
2.093.904,29		1.300.000,00	3.393.904,29	-R\$ 147.479,11
2.093.904,29		1.350.000,00	3.443.904,29	-R\$ 152.485,45
2.093.904,29		1.400.000,00	3.493.904,29	-R\$ 157.491,79
2.093.904,29		1.450.000,00	3.543.904,29	-R\$ 162.498,13
2.093.904,29	1.500.000,00	3.593.904,29	-R\$ 167.504,47	

Com a necessidade de universalização dos sistemas de saneamento básico, o estudo de tecnologias e técnicas inovadoras é crucial para o atendimento de obras em curtos e médios prazos estabelecidos em metas governamentais. Assim, o incentivo do governo para o aumento da produtividade da construção civil, redução da carga tributária do concreto pré-moldado, entre outras ações, podem potencializar o aumento de escala e reduzir os preços do concreto pré-moldado, podendo apresentar viabilidade econômico-financeira sem a necessidade de condicionantes. No entanto, a agilidade na execução de obras, que é uma característica intrínseca ao concreto pré-moldado, demonstra que há como se obter benefícios econômicos e financeiros (cenário 2) com a utilização deste sistema para obras de infraestrutura sanitária, além de fornecer em menor prazo, obviamente, o benefício social que se consolida na melhoria da qualidade de vida da população com acesso aos serviços de saneamento básico.

Com relação à construção de reservatórios para o setor de saneamento básico, para aproveitar o potencial que o sistema construtivo em concreto pré-moldado pode ofertar, necessita-se de uma maior dedicação em relação ao item crucial para a gestão de projetos, que é a fase de planejamento e controle, pois conforme os resultados apresentados na simulação do cenário 2 desta pesquisa, não adianta utilizar um sistema construtivo que apresenta rapidez na construção para uma unidade do sistema de abastecimento (reservatório), se as demais unidades não concluírem sua construção de forma sincronizada e de forma que permita o início de operação do sistema. Sendo assim, o planejamento e controle de todas as obras do sistema é fator determinante para utilização do concreto pré-moldado, com elaboração de cronogramas físico-financeiros, compatibilização de projetos e resolução antecipada de interferências de diversas disciplinas na execução das obras.

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante do exposto nesta pesquisa, com base nas premissas adotadas, foi possível analisar a viabilidade econômico-financeira da aplicação do concreto pré-moldado na construção de reservatórios circulares apoiados (capacidades de 2.000 m<sup>3</sup>, 5.000 m<sup>3</sup> e 10.000 m<sup>3</sup>) na infraestrutura sanitária em comparação com a utilização do concreto armado moldado no local com protensão posterior sem aderência.

Cabe destacar que não foram considerados nesta pesquisa os custos indiretos, que dependem da estrutura administrativa do canteiro de obras e do prazo de execução do objeto. Deve-se considerar o impacto dessa variável na análise de viabilidade numa situação particular de custos indiretos quando, por exemplo, tais custos estão apropriados exclusivamente na execução do objeto, no caso o reservatório. Para o concreto moldado no local, a diferença no prazo de execução do objeto (maior prazo em relação ao concreto pré-moldado) pode causar um aumento significativo do investimento necessário com aumento dos custos indiretos e alterar o fluxo de caixa do projeto desse sistema construtivo.

A utilização do método de análise de viabilidade do Custo Anual Equivalente (CAE) apresentou-se como um indicador eficiente de comparação direta entre os diferentes sistemas construtivos, no aspecto econômico e financeiro, de modo que, independente da vida útil de cada sistema, foram encontrados valores de custos anuais que poderiam ser comparados entre si, para cada situação avaliada.

No primeiro cenário analisado não houve viabilidade econômico-financeira da aplicação do concreto pré-moldado para construção dos reservatórios circulares apoiados com os volumes avaliados na pesquisa. Neste cenário considerou-se que a construção da estrutura do reservatório não pertencia ao caminho crítico do cronograma de implantação do sistema de abastecimento de água, ou seja, quando o prazo de execução do reservatório não é tão importante, pois há outras obras com maiores prazos de execução e que irão condicionar a funcionalidade da operação do sistema. Para este caso, do ponto de vista econômico e financeiro, o maior investimento na aquisição da estrutura em concreto pré-moldado (50% a 80% superior ao investimento inicial com concreto moldado no local) resultou em benefício de aumento da vida útil e redução dos custos de manutenção, porém as matrizes de análise de sensibilidade desenvolvidas demonstraram que em nenhuma das situações o Custo Anual Equivalente do reservatório em concreto pré-moldado foi inferior ao Custo Anual Equivalente do concreto moldado no local.

Por outro lado, a análise do segundo cenário resultou em uma gama de possibilidades de viabilidade econômico-financeira da aplicação do concreto pré-moldado na construção dos reservatórios apoiados com volumes de 5.000 m<sup>3</sup> e 10.000 m<sup>3</sup>, porém não

houve muitas situações de viabilidade para a utilização do concreto pré-moldado em reservatórios com volume de 2.000 m<sup>3</sup>. Neste cenário, considerou-se que o cronograma de início da operação do abastecimento de água continha a construção do reservatório em seu caminho crítico, ou seja, quando o menor prazo de execução do reservatório implica na antecipação da operação do fornecimento de água aos consumidores. Neste caso, o diferencial foi o incremento de lucro operacional no início do fluxo de caixa quando comparado com o projeto da construção do reservatório em concreto moldado no local, o que apresentou Custos Anuais Equivalentes do concreto pré-moldado inferiores ao do concreto moldado no local, mesmo com algumas variações do lucro por residência (característica da empresa concessionária), variação da diferença entre os prazos de execução do reservatório em concreto pré-moldado e concreto moldado no local e até mesmo na variação dos custos com transporte dos painéis (que se alteram de acordo com a distância entre a fábrica e o canteiro de obras e depende dos tributos estaduais). Este fato somente não ocorreu para o reservatório em concreto pré-moldado com volume de 2.000 m<sup>3</sup>, o que significa que o impacto da antecipação do lucro operacional no fluxo de caixa da análise não foi suficiente para viabilizar o uso do concreto pré-moldado com este volume de reservação em relação ao concreto moldado no local, que obteve, a princípio, menor Custo Anual Equivalente ao longo da vida útil do reservatório.

Deve-se ressaltar que os resultados obtidos nesta pesquisa não são definitivos e inflexíveis, uma vez que em outros cenários econômicos e de mercado podem ocorrer alterações dos custos e valores de investimentos na tecnologia do concreto pré-moldado ou do concreto moldado no local. Além do mais, em muitos casos, um gestor de projetos não toma a decisão de escolha do sistema construtivo somente baseado no aspecto econômico e financeiro, pois há outros fatores que devem ser ponderados na análise de projetos de saneamento básico, como o aspecto de sustentabilidade ambiental, benefícios sociais com a implantação do projeto, o risco de não cumprimento de prazos contratuais, estratégias de marketing empresarial, a facilidade de gestão de custos e de projetos, a disponibilidade de mão de obra e/ou de empresas especializadas na região do empreendimento, durabilidade e desempenho estrutural, entre outros a serem avaliados.

Como sugestão para trabalhos futuros podem ser desenvolvidas análises de viabilidade da aplicação do concreto pré-moldado para a construção de unidades de tratamento de esgoto doméstico (Tanques de reator UASB- Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente), tendo em vista a elevada demanda por construção e ampliação de Estações de Tratamento de Esgoto (ETE's) para aumentar o índice de atendimento de esgotamento sanitário no Brasil, além de permitir a padronização de projetos, facilitando a construção, operação e manutenção das unidades pela empresa concessionária de saneamento.

# REFERÊNCIAS

ABETONG. **Technical Data: Abetong Tank C14**. Suécia. Disponível em: <https://www.abetong.se/en>. Acesso em: 17 jul. 2019.

ACKER, A. V. **Manual de sistemas pré-fabricados de concreto**: FIB,2002. Tradução de Marcelo de Araújo Ferreira: ABCIC,2003.

ADDOR, M. Para presidente da ASBEA, maior industrialização [...]. **Revista Industrializa rem Concreto**, São Paulo. n. 8, p. 6-9, ago. 2016. Disponível em: <http://www.industrializaremconcreto.com.br/Edicoes/Edicao/547>. Acesso em: 15 fev. 2019.

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. Committee 350. **Code Requirements for Environmental Engineering Concrete Structures (ACI 350-01) and Commentary (ACI 350R-01)**. Detroit, 2001, 387 p.

ARAFAT, M.Z. **Design and construction of Giant precast prestressed LNG storage tanks at Staten Island**. PCI Journal, Chicago, Estados Unidos, mai./jun. 1975. Disponível em: [https://www.pci.org/PCI/Publications/PCI\\_Journal/Issues/1975/May-June/Giant\\_precast\\_prestressed\\_LNG\\_storage\\_tanks\\_at\\_Staten\\_Island.aspx?WebsiteKey=5a7b2064-98c2-4c8e-9b4b-18c80973da1e](https://www.pci.org/PCI/Publications/PCI_Journal/Issues/1975/May-June/Giant_precast_prestressed_LNG_storage_tanks_at_Staten_Island.aspx?WebsiteKey=5a7b2064-98c2-4c8e-9b4b-18c80973da1e). Acesso em: 23 ago. 2018.

ASAM, C. **Recycling prefabricated concrete components**: a contribution to sustainable construction. Rotterdam (Netherlands). 2007. Disponível em: [http://www.bbsr.bund.de/BBSR/EN/Publications/CompletedSeries/IEMB/2006\\_2007/DL\\_3\\_2\\_007.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=2](http://www.bbsr.bund.de/BBSR/EN/Publications/CompletedSeries/IEMB/2006_2007/DL_3_2_007.pdf?__blob=publicationFile&v=2). Acesso em: 20 nov. 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA CONSTRUÇÃO INDUSTRIALIZADA DE CONCRETO (ABCIC). **ANUÁRIO ABCIC 2011**. Edição especial – comemorativa de 10 anos. São Paulo, p. 32- 33, 2011. Disponível em: <http://www.abcic.org.br/Publicacoes/Anuario>. Acesso em: 14 jun. 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA CONSTRUÇÃO INDUSTRIALIZADA DE CONCRETO (ABCIC). **ANUÁRIO ABCIC 2016**. São Paulo, 2016. Disponível em: <http://www.abcic.org.br/Publicacoes/Anuario>. Acesso em: 20 jun. 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 14931**: Execução de estruturas de concreto: procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15575**: Edifícios Habitacionais – Desempenho –Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro: ABNT, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto: procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 9062**: Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

BARBOSA, C. *et al.* **Gerenciamento de custos em projetos**. 5. ed. Rio de Janeiro: Editora FGV, 2014. 166 p.

BOTTEON, C. **Comissão Econômica para a América Latina e o Caribe**. Curso de avaliação socioeconômica de projetos: indicadores de rentabilidade. Brasília, DF – 2009.

BRASIL. Ministério da Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. **Portaria nº 557**, de 11 de novembro de 2016. Brasília-DF, 2016.

BRASIL. Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2007/lei/11445.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/11445.htm). Acesso em: 10 out. 2019.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. **Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2018**. Brasília, dezembro de 2019. Disponível em: <http://www.snis.gov.br/diagnostico-anual-agua-e-esgotos/diagnostico-dos-servicos-de-agua-e-esgotos-2018>. Acesso em: 15 jan. 2020.

BRASIL. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. **Síntese dos indicadores sociais: uma análise [...]**. Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv91983.pdf>. Acesso em: 30 jun. 2019.

BRITISH STANDARD INSTITUTION (BSI). Guide to Durability of Buildings and Building Element, Products and Components. **BS 7543**. London, 2003.

CARMONA, T.G.; CARMONA, T.G.; FILHO, A.C. **Reservatórios protendidos**. Concreto e Construções, IBRACON, São Paulo, ano 78, p. 64-68., abr./jun. 2015.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE- CONAMA. **Resolução CONAMA nº 001**, de 23 de janeiro de 1986.

DONIAK, I.L.O. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA CONSTRUÇÃO INDUSTRIALIZADA DE CONCRETO (ABCIC). **ANUÁRIO ABCIC 2011**. Edição especial – comemorativa de 10 anos. São Paulo, p. 06-10, 2011.

DONIAK, I.L.O. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA CONSTRUÇÃO INDUSTRIALIZADA DE CONCRETO (ABCIC). **ANUÁRIO ABCIC 2014**. São Paulo, p. 65, 2014.

DUARTE, C. C. M. **Análise do sucesso em gerenciamento de projetos de tecnologia da informação a partir da abordagem de capacidades dinâmicas**. Revista Brasileira de Ciência, Tecnologia e Inovação, v.2, n.2., p.93-102. 2017.

DUARTE, E.L.; ELMIR, J.C.J.; PITOL, A. P. **As principais vantagens e desvantagens da utilização de elementos pré-fabricados de concreto e seus processos de fabricação**. Revista Construindo, Belo Horizonte, v.8. ed.1, p. 29-35, 2017.

DUTCHLAND INCORPORATED. **Precast Pos-tensioned Concrete Structures**. Pensilvânia, Estados Unidos. Disponível em: <https://www.dutchlandinc.com/pdf/PrecastPostensionedConcreteStructures.pdf> . Acesso em: 02 fev. 2019.

EL DEBS, M. K. **Concreto pré-moldado: fundamentos e aplicações**. 2ª edição, São Paulo: Oficina de Textos, 2017. 438 p.

EI DEBS, M. K. **Contribuição ao emprego de pré-moldado de concreto em infraestrutura urbana e estradas**. 252 f. Tese de livre docência. Escola de Engenharia de São Carlos- EESC. São Carlos. 1991.

FILHA, C. M. et al. Construção Civil no Brasil: investimentos e desafios. In: TORRES, E.; MEIRELLES B.; PUGA, F. (org.). **Perspectivas do investimento 2010- 2013**. 2. ed. BNDES, Rio de Janeiro, 2009. P. 301-327.

GITMAN, Lawrence J. **Princípios de Administração Financeira**. 12ª Ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2015.

GOMES, J.O.; LACERDA, J.F.S.B. **Uma visão mais sustentável dos sistemas construtivos no Brasil**. E-Tech: Tecnologias para Competitividade Industrial, Florianópolis, v. 7, n. 2, 2014.

HAZZAN, Samuel; POMPEO, José Nicolau. **Matemática Financeira**. 7ª ed. São Paulo: SARAIVA, 2014.

HELD, S. Don't Waste a great opportunity: recycle. **National Precast Concrete Association**. 2019. Disponível em: <https://precast.org/2019/07/dont-waste-a-great-opportunity-recycle/>. Acesso em: 20 nov. 2019.

HELENE, P. **Sustentabilidade e Pré-Fabricado**: Harmonia Perfeita. ANUÁRIO ABCIC 2013. São Paulo, 2013.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – **IBGE**. 2020. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados.html?view=municipio>. Acesso em: 15 jan. 2020.

INSTITUTO PORTUGUES DE QUALIDADE (IPQ). Versão portuguesa da Norma Europeia EN206-1. **NP EN 206 -1**. Betão Parte 1: Especificação, desempenho, produção e conformidade. Portugal, ed. 2, jun- 2007

ISHIKAWA, G. Planejamento estratégico. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA CONSTRUÇÃO INDUSTRIALIZADA DE CONCRETO (ABCIC). **ANUÁRIO ABCIC 2016**. São Paulo, p. 23-26, 2016.

LEAL, M.L.C.M. et al. **Manual da construção industrializada**: ABDI, vol.1, Brasília, 2015.

LENNEN, R.; MILLER, G.; PRUSACK, C. **Precast prestressed concrete**: solution of choice for Lincoln Heights Water Tanks. PCI Journal, Chicago, Estados Unidos, jan./fev. 1996. Disponível em: [https://www.pci.org/PCI/Publications/PCI\\_Journal/Issues/1996/January-February/Precast\\_Prestressed\\_Concrete\\_Solution\\_of\\_Choice\\_for\\_Lincoln\\_Heights\\_Water\\_Tanks.aspx?WebsiteKey=5a7b2064-98c2-4c8e-9b4b-18c80973da1e](https://www.pci.org/PCI/Publications/PCI_Journal/Issues/1996/January-February/Precast_Prestressed_Concrete_Solution_of_Choice_for_Lincoln_Heights_Water_Tanks.aspx?WebsiteKey=5a7b2064-98c2-4c8e-9b4b-18c80973da1e). Acesso em: 30 ago. 2018

LIMMER, C. V. Planejamento, orçamentação e controle de projetos e obras. Rio de Janeiro: LTC. 1997

MACHADO, E. L. et al. **Seleção de sistemas construtivos utilizando BIM e método de tomada de decisão multicritério**. Revista ALCONPAT, v.8, n. 2, p. 209 – 223, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.21041/ra.v8i2.246>.

MADUREIRA, O. M. **Metodologia do projeto: planejamento, execução e gerenciamento**. São Paulo: Blucher, 2010. 359 p.

MATTOS, A. D. **Planejamento e controle de obras**. São Paulo: Editora Pini, 2010. 420 p.

MEDEIROS, M.H.F.; ANDRADE, J.J.O.; HELENE, P. **Durabilidade e Vida Útil das Estruturas de Concreto**. IBRACON, São Paulo, 2011.

NETO, A. A.; LIMA, F. G.; ARAÚJO, A. M. P. **Uma proposta metodológica para o cálculo do custo de capital no Brasil**. Revista de Administração-RAUSP, São Paulo, vol.43, n.1, fev./marc, 2008. Disponível em : <https://www.redalyc.org/pdf/2234/223417484006.pdf>. Acessado: 19/01/20.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). **Água potável e saneamento**. Disponível em: <https://nacoesunidas.org/pos2015/ods6/>. Acesso em: 30 jul. 2018.

PRATT, S.P. *Cost of capital: estimation and applications*. New York: John Wiley & Sons, 1998.

RAYMOND, R.E.; PRUSACK, C. **Design and construction of Glenaire Water Tank n 2**. . PCI Journal, Chicago, Estados Unidos, jan./fev. 1993. Disponível em: [https://www.pci.org/PCI/Publications/PCI\\_Journal/Issues/1993/January-February/Design-Construction\\_of\\_Glenaire\\_Water\\_Tank\\_No.2.aspx?WebsiteKey=5a7b2064-98c2-4c8e-9b4b-18c80973da1e](https://www.pci.org/PCI/Publications/PCI_Journal/Issues/1993/January-February/Design-Construction_of_Glenaire_Water_Tank_No.2.aspx?WebsiteKey=5a7b2064-98c2-4c8e-9b4b-18c80973da1e). Acesso em: 25 ago. 2018.

ROBSON, R.J. e; BULL, A.D. **Precast Concrete in Reservoir Engineering: New Construction Techniques in Water Retaining Design**. Dams: Engineering in a Social & Environmental Context. Thomas Telford, London, 2012.

ROGNE, V.C.; HARRISON, D.L. **Design and Construction feature: Precast prestressed wall system used for water storage reservoir**. PCI Journal, Chicago, Estados Unidos, nov./dez. 1980.

ROLNIK, R. e; KLINK, J. **Crescimento econômico e desenvolvimento urbano: Por que nossas cidades continuam tão precárias?**. São Paulo, 2011.

SANCHES, A. L. *et al.* **Análise de sensibilidade na avaliação de investimentos por “DOE” simulado**. [S. l.]. Disponível em: [https://www.aedb.br/seget/arquivos/artigos06/425\\_SEGeT2006AS.pdf](https://www.aedb.br/seget/arquivos/artigos06/425_SEGeT2006AS.pdf). Acesso em: 20 jan. 2020.

SISTEMA NACIONAL DE PESQUISA DE CUSTOS E ÍNDICES DA CONSTRUÇÃO CIVIL (**SINAPI**). Disponível em: <http://www.caixa.gov.br/poder-publico/apoio-poder-publico/sinapi/referencias-precos-insumos/Paginas/default.aspx>. Acesso em: 23 mai. 2019.

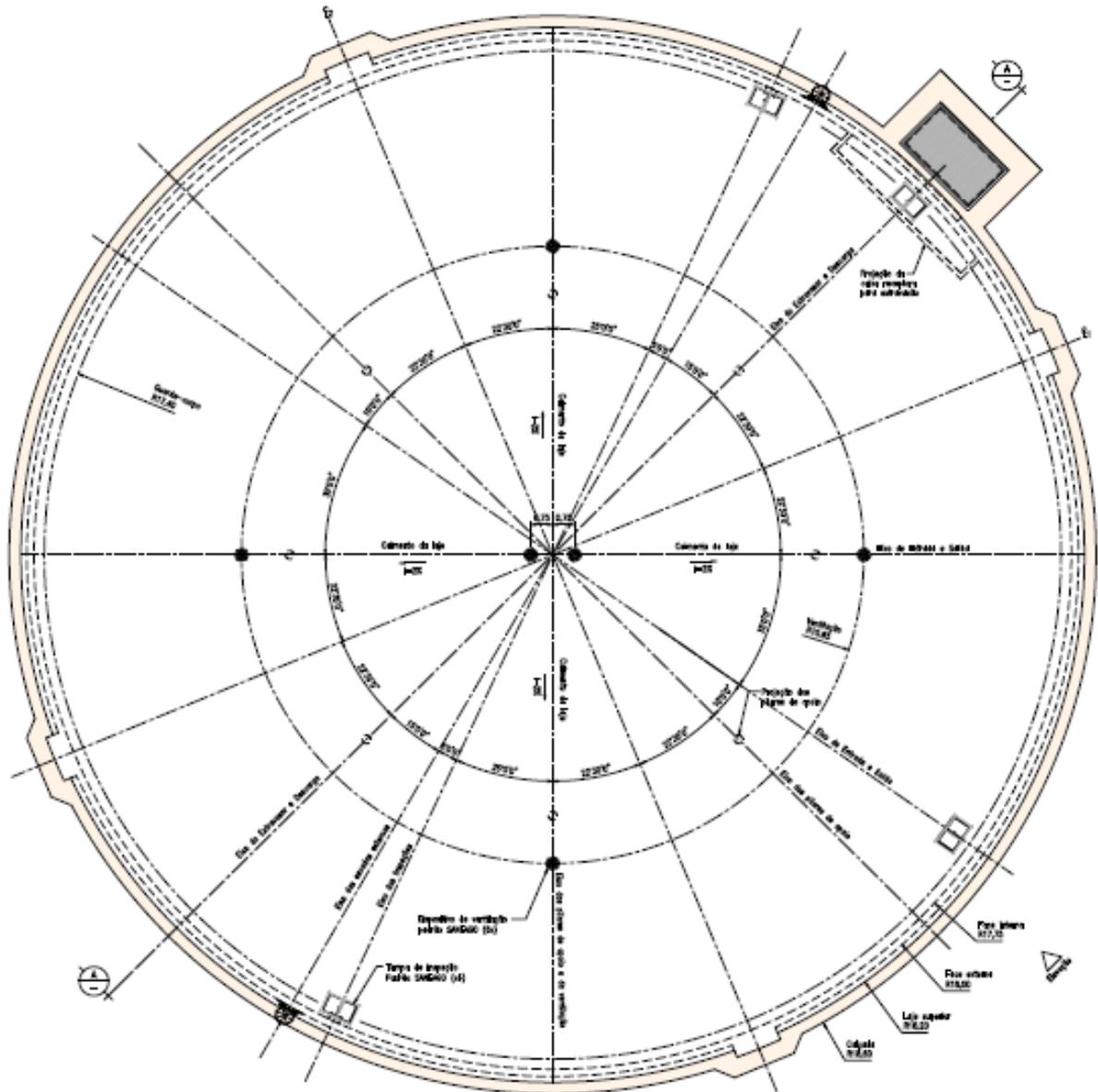
SOPLACAS. **Catálogo SoplacasTank SoplacasBioTank**. São Domingos de Rana, Portugal. Disponível em: <http://www.soplacas.com>. Acesso em: 15 jan. 2019.

SOUZA, U.E.L. MORASCO, F.G. RIBEIRO, G.N.B. **Manual básico de indicadores de produtividade na construção civil**. Brasília, DF: CBIC, 2017. 92 p.

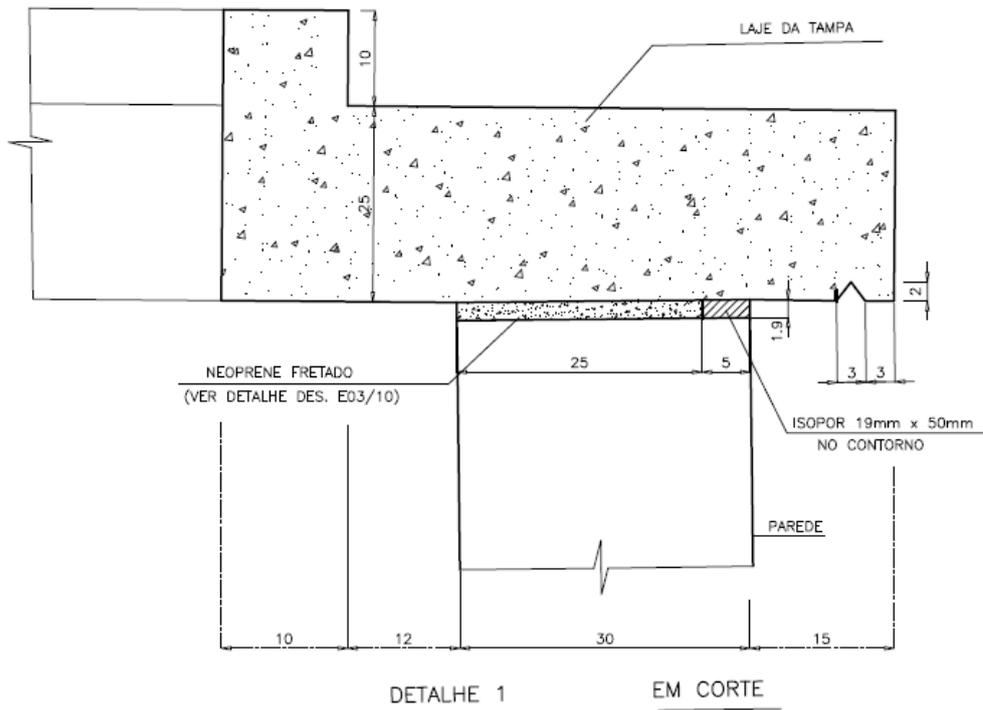
TOKUDOME, M. **A sustentabilidade da indústria de pré-fabricados: 1º ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA-PROJETO-PRODUÇÃO EM CONCRETO PRÉMOLDADO**. São Carlos, 2005.

# ANEXO

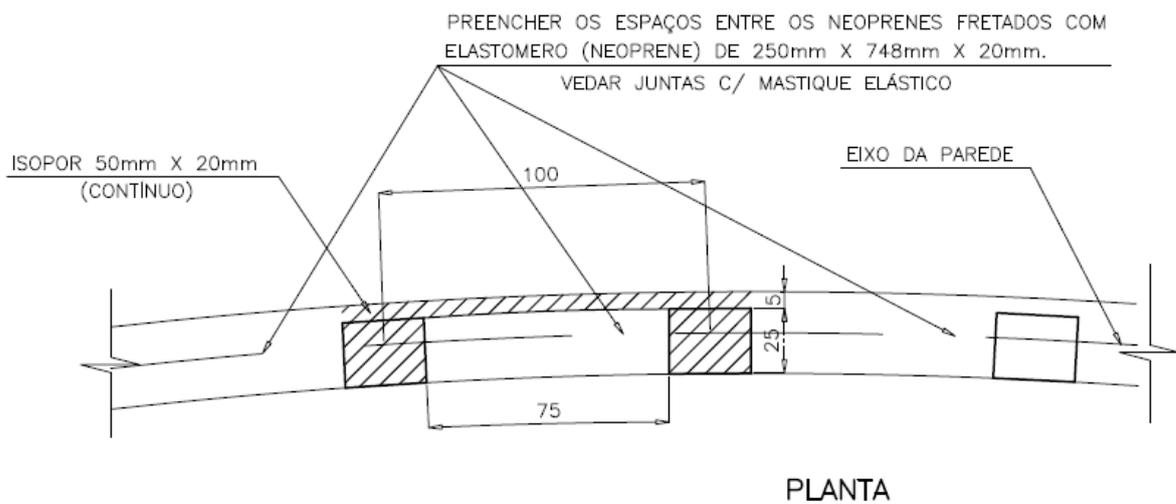
## Detalhes do projeto estrutural do reservatório convencional



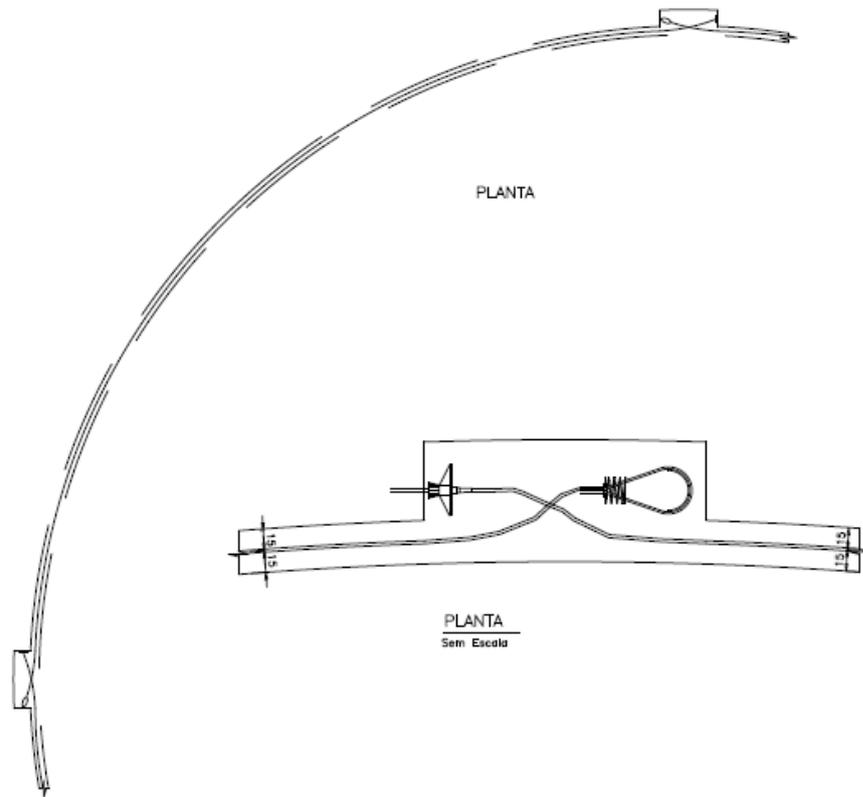
Planta da cobertura do reservatório apoiado



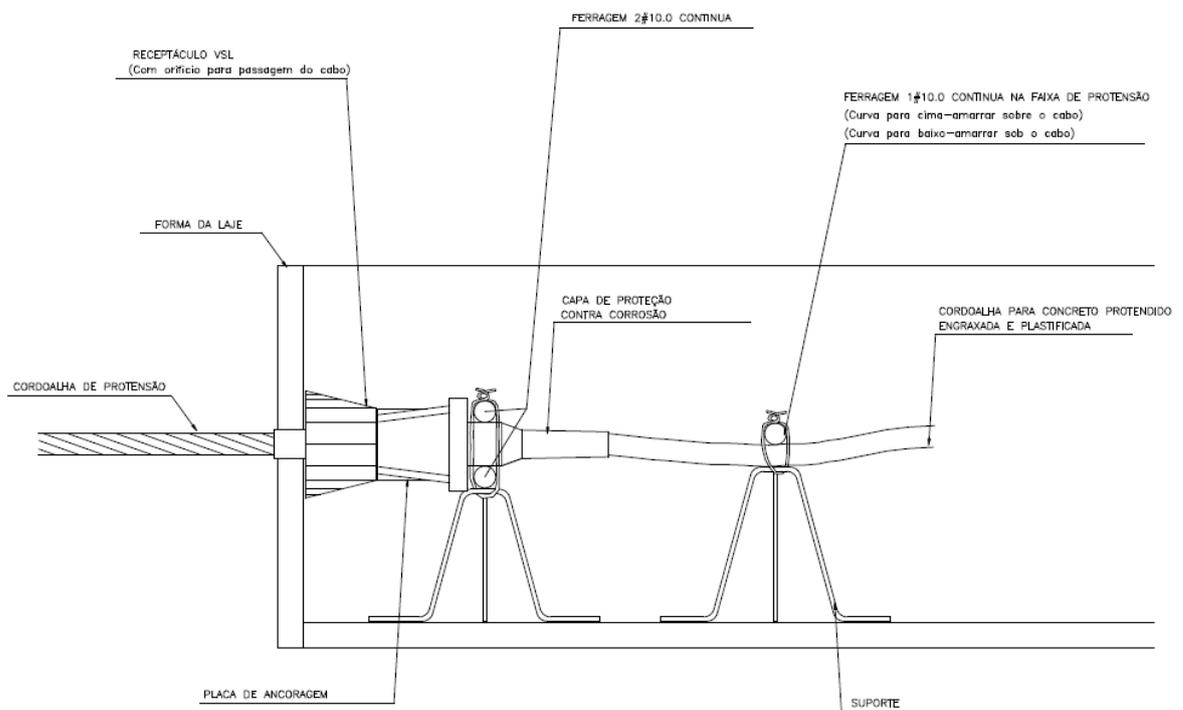
Detalhe do apoio da laje de cobertura sobre a parede



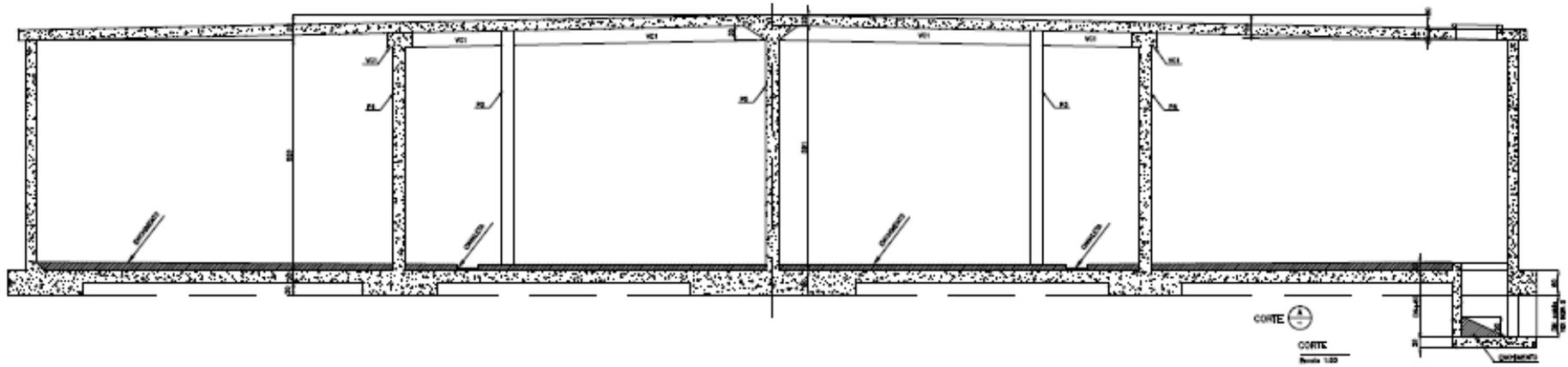
Distribuição dos neoprenes



Detalhe da ancoragem da armadura ativa



Detalhe da ancoragem ativa das cordoalhas



Corte – Reservatório apoiado sobre o terreno

## APÊNDICE – Orçamento dos reservatórios (CML)

<b>Reservatório de Concreto Armado Circular Apoiado - CAP. 2.000 m<sup>3</sup></b>				<b>R\$ 411.604,68</b>
<b>DESCRIÇÃO</b>	<b>UN</b>	<b>QTD</b>	<b>PÇ UNITÁRIO</b>	<b>TOTAL (R\$)</b>
<b>Estruturas de Concreto Armado</b>				
CONCRETO ESTRUTURAL USINADO BOMBEADO Fck= 40MPa, com adição de 8 a 10% de Microsílica (incluindo lançamento, aplicação e adensamento)	M <sup>3</sup>	193,1	584,25	112.818,68
FORMA C/ CHAPA COMPENSADA RESINADA (E=12MM)- REAPROVEITAMENTO DE 2 VEZES	M <sup>2</sup>	288,2	108,59	31.297,45
ANDAIME TUBULAR	M <sup>3</sup>	1306	23,24	30.357,02
LOCAÇÃO, MONTAGEM E DESMONTAGEM DE FORMA METÁLICA PAINEL TOPEC (H=1,8M) PARA RESRVATÓRIOS DE CONCRETO DE 5000M <sup>3</sup> , (incluindo cimbramento metálico e andaimes	M <sup>2</sup>	530,9	89,81	47.681,93
Armadura de aço em barras)	KG	1834	8,33	152.813,85
SERVIÇO DE PROTENSÃO P/ CORDOALHAS ENGRAXADAS, COM CAPACIDADE P/ PROTENSÃO ATÉ 25 TSAA-	KG	788,2	9,47	7.464,37
<b>ISOLAMENTOS E LIMPEZAS</b>				
ELASTOMERO NEOPRENE NÃO FRETADO 250 X 470 X 20 MM	UN	1	102,14	102,14
ELASTOMERO NEOPRENE NÃO FRETADO 250 X 748 X 20 MM	UN	79	162,55	12.841,45
APOIO DE NEOPRENE PURO 190, 250X200X19MM, FRETADO C/ DUAS CHAPAS DE AÇO	UN	100	104,65	10.465,00
PLACA DE ISOPOR 50 X 20 MM	UN	80	4,28	342,40
TRATAMENTO DE FERRAGENS EXPOSTAS(ESCARIFICAÇÃO E TRATAMENTO ANTI-CORROSIVO)	M <sup>2</sup>	15	84,14	1.262,10
JATEAMENTO HIDRO ALTA PRESSÃO PARA LIMPEZA DE SUPERFÍCIES	M <sup>2</sup>	492	1,63	801,96
LIMPEZA/PREPARO DE SUPERFÍCIE DE CONCRETO PARA PINTURA	M <sup>2</sup>	328	8,61	2.824,08

<b>Reservatório de Concreto Armado Circular Apoiado - CAP. 5.000 m<sup>3</sup></b>				<b>R\$ 877.478,71</b>
<b>DESCRIÇÃO</b>	<b>UN</b>	<b>QTD</b>	<b>PÇ UNITÁRIO</b>	<b>TOTAL (R\$)</b>
<b>Estruturas de Concreto Armado</b>				
CONCRETO ESTRUTURAL USINADO BOMBEADO Fck= 40MPa, com adição de 8 a 10% de Microsílica (incluindo lançamento, aplicação e adensamento)	M <sup>3</sup>	441,3	584,25	257.829,53
FORMA C/ CHAPA COMPENSADA RESINADA (E=12MM)- REAPROVEITAMENTO DE 2 VEZES	M <sup>2</sup>	505	108,59	54.837,95
ANDAIME TUBULAR	M <sup>3</sup>	2492	23,24	57.906,01
LOCAÇÃO, MONTAGEM E DESMONTAGEM DE FORMA METÁLICA PAINEL TOPEC (H=1,8M) PARA RESRVATÓRIOS DE CONCRETO DE 5000M <sup>3</sup> , (incluindo cimbramento metálico e andaimes	M <sup>2</sup>	1040,6	89,81	93.456,29
Armadura de aço em barras	KG	42654	8,33	355.307,82
SERVIÇO DE PROTENSÃO P/ CORDOALHAS ENGRAXADAS, COM CAPACIDADE P/ PROTENSÃO ATÉ 25 TSAA-	KG	1.572,	9,47	14.886,84
<b>ISOLAMENTOS E LIMPEZAS</b>				
ELASTOMERO NEOPRENE NÃO FRETADO 250 X 470 X 20 MM	UN	1	102,14	102,14
ELASTOMERO NEOPRENE NÃO FRETADO 250 X 748 X 20 MM	UN	110	162,55	17.880,50
APOIO DE NEOPRENE PURO 190, 250X200X19MM, FRETADO C/ DUAS CHAPAS DE AÇO	UN	140	104,65	14.651,00
PLACA DE ISOPOR 50 X 20 MM	UN	112	4,28	479,36
TRATAMENTO DE FERRAGENS EXPOSTAS(ESCARIFICAÇÃO E TRATAMENTO ANTI-CORROSIVO)	M <sup>2</sup>	34,02	84,14	2.862,44
JATEAMENTO HIDRO ALTA PRESSÃO PARA LIMPEZA DE SUPERFÍCIES	M <sup>2</sup>	989,8	1,63	1.613,37
LIMPEZA/PREPARO DE SUPERFÍCIE DE CONCRETO PARA PINTURA	M <sup>2</sup>	658,0	8,61	5.665,47

<b>Reservatório de Concreto Armado Circular Apoiado - CAP. 10.000 m<sup>3</sup></b>				<b>R\$ 1.405.747</b>
<b>DESCRIÇÃO</b>	<b>UN</b>	<b>QTD</b>	<b>PÇ UNITÁRIO</b>	<b>TOTAL (R\$)</b>
<b>Estruturas de Concreto Armado</b>				
CONCRETO ESTRUTURAL USINADO BOMBEADO Fck= 40MPa, com adição de 8 a 10% de Microssílica (incluindo lançamento, aplicação e adensamento)	M <sup>3</sup>	716,3	584,25	418.498,28
FORMA C/ CHAPA COMPENSADA RESINADA (E=12MM)- REAPROVEITAMENTO DE 2 VEZES	M <sup>2</sup>	803,1 66666 7	108,59	87.215,87
ANDAIME TUBULAR	M <sup>3</sup>	3617	23,24	84.065,59
LOCAÇÃO, MONTAGEM E DESMONTAGEM DE FORMA METÁLICA PAINEL TOPEC (H=1,8M) PARA RESRVATÓRIOS DE CONCRETO DE 5000M <sup>3</sup> , (incluindo cimbramento metálico e andaimes	M <sup>2</sup>	1809	89,81	162.466,29
Armadura de aço em barras	KG	68764 ,8	8,33	572.810,78
SERVIÇO DE PROTENSÃO P/ CORDOALHAS ENGRAXADAS, COM CAPACIDADE P/ PROTENSÃO ATÉ 25 TSAA-	KG	2.182, 83	9,47	20.671,40
<b>ISOLAMENTOS E LIMPEZAS</b>				
ELASTOMERO NEOPRENE NÃO FRETADO 250 X 470 X 20 MM	UN	1	102,14	102,14
ELASTOMERO NEOPRENE NÃO FRETADO 250 X 748 X 20 MM	UN	146	162,55	23732,3
APOIO DE NEOPRENE PURO 190, 250X200X19MM, FRETADO C/ DUAS CHAPAS DE AÇO	UN	185	104,65	19360,25
PLACA DE ISOPOR 50 X 20 MM	UN	148	4,28	633,44
TRATAMENTO DE FERRAGENS EXPOSTAS(ESCARIFICAÇÃO E TRATAMENTO ANTI-CORROSIVO)	M <sup>2</sup>	54,85	84,14	4614,7
JATEAMENTO HIDRO ALTA PRESSÃO PARA LIMPEZA DE SUPERFÍCIES	M <sup>2</sup>	1574, 21	1,63	2566,0
LIMPEZA/PREPARO DE SUPERFÍCIE DE CONCRETO PARA PINTURA	M <sup>2</sup>	1046, 52	8,61	9010,5

