

**UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL
ÁREA DE CONHECIMENTO DAS CIÊNCIAS EXATAS E ENGENHARIAS
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL**

NATÁLIA DA CUNHA

**PROJETO DE UMA PLANTA DE TRATAMENTO ANAERÓBIO DE RESÍDUOS
VÍNICOS COM APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DO BIOGÁS GERADO**

**CAXIAS DO SUL
2018**

NATÁLIA DA CUNHA

**PROJETO DE UMA PLANTA DE TRATAMENTO ANAERÓBIO DE RESÍDUOS
VÍNICOS COM APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DO BIOGÁS GERADO**

Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia Ambiental apresentado como parte dos requisitos necessários para aprovação na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II.

Orientador Prof. Me. Taison Bortolin
Coordenação Profa. Me. Tiago Panizzon

**CAXIAS DO SUL
2018**

NATÁLIA DA CUNHA

**PROJETO DE UMA PLANTA DE TRATAMENTO ANAERÓBIO DE RESÍDUOS
VÍNICOS COM APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DO BIOGÁS GERADO**

Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia Ambiental apresentado como parte dos requisitos necessários para aprovação na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II.

Aprovada em ___/___/___

Banca Examinadora:

Prof.

Prof.

Prof.

Dedico este trabalho a minha mãe Eloí, constante e fiel companheira, que nunca mediu esforços para me proporcionar uma educação de qualidade. Mulher de força que foi e sempre será um exemplo pra mim. E ao meu pai Francisco, que me deixou, mas que com certeza de onde estiver estará me guiando e torcendo por mim.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por me dar forças em todos os momentos de minha vida, pela sabedoria durante minha jornada acadêmica, em especial no desenvolvimento deste trabalho.

Aos meus pais, pelo amor, carinho, dedicação e preocupação com meu bem estar durante toda minha vida. E principalmente pelo apoio e incentivo aos estudos.

Aos meus irmãos Eraldo e Gabriele simplesmente por existirem, me aconselharem, apoiarem e me fazerem feliz.

Ao meu namorado Tiago, por todo apoio, paciência e compreensão. E por estar sempre ao meu lado, incentivando e acreditando que tudo daria certo.

Ao meu mestre e orientador, Taison Bortolin, que esteve ao meu lado neste momento tão importante, não medindo esforços para me ajudar e aconselhar.

A todos os professores que passaram em minha formação, pelo conhecimento, exemplo e por despertarem em mim tantos sonhos profissionais. Em especial ao professor Geraldo Reichert por também ter me auxiliado neste projeto.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Localização do Município de Flores da Cunha.....	24
Figura 2 – Localização das vinícolas.....	26
Figura 3 – Fluxograma simplificado do processo de vinificação.....	27
Figura 4 – Colheita da uva	27
Figura 5 – Recebimento e pesagem da uva.....	28
Figura 6 – Desengaçadeira-esmagadora	28
Figura 7 – Tanques de fermentação	29
Figura 8 - Engarrafamento	30
Figura 9 - Fluxograma simplificado da produção de vinhos tintos e brancos com a indicação dos pontos de geração de resíduos	32
Figura 10 – Aspecto visual do bagaço	33
Figura 11 – Aspecto visual da borra de vinho	35
Figura 12 – Etapas da digestão anaeróbia.....	41
Figura 13 – Faixas de temperatura do crescimento microbiano.....	44
Figura 14 – CSTR bifásico	50
Figura 15 – Representação do sistema de garagem.....	54
Figura 16 – Preparação e purificação do biogás.....	55
Figura 17 – Litros de vinho produzidos por ano no município de Flores da Cunha...	60
Figura 18 – Fluxograma do sistema	64
Figura 19 – Gráfico do fluxo de caixa do cenário 1	89
Figura 20 – Gráfico do saldo de caixa do cenário 1	89
Figura 22 – Gráfico do fluxo de caixa do cenário 2	92
Figura 23 – Gráfico do saldo de caixa do cenário 2	92

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Subdivisão do processo de digestão anaeróbia pelo teor de sólidos	42
Tabela 2 – Composição aproximada do biogás	46
Tabela 3 – Relação comparativa do biogás com outros energéticos	47
Tabela 4 – Eficiência das principais tecnologias para a geração de energia elétrica utilizando biogás.....	58
Tabela 5 - Características dos resíduos sólidos.....	66
Tabela 6 – Quantidades estimadas de cada subproduto	67
Tabela 7 – Rendimento de biogás.....	76
Tabela 8 – Produção de biogás estimada	77
Tabela 9 – Receitas geradas.....	87
Tabela 10 – Fluxo de caixa do cenário 1	88
Tabela 11 - Fluxo de caixa do cenário 2	91

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Vantagens e desvantagens dos sistemas de geração de biogás	53
Quadro 2 – Critérios considerados adequados para a escolha do local para a instalação da planta de biogás	62
Quadro 3 – Priorização dos critérios de seleção	63
Quadro 4 – Peso das prioridades dos critérios.....	63
Quadro 5 - Avaliação e pontuação das áreas	64

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 ASPECTOS LEGAIS	15
2.1 ÂMBITO FEDERAL.....	16
2.2 ÂMBITO ESTADUAL	21
2.3 ÂMBITO MUNICIPAL.....	22
3 CARACTERIZAÇÃO DO MUNICÍPIO	24
3.1 A INDÚSTRIA VITIVINÍCOLA NO MUNICÍPIO.....	25
3.2 LOCALIZAÇÃO DAS VINÍCOLAS.....	25
3.3 PROCESSO E PRODUTOS	25
3.4 RESÍDUOS DA VINIFICAÇÃO.....	31
4 TECNOLOGIAS PARA TRATAMENTO DE RESÍDUOS ORGÂNICOS DA VINIFICAÇÃO	37
4.1 COMPOSTAGEM.....	37
4.2 VERMICOMPOSTAGEM.....	38
4.3 ALIMENTAÇÃO ANIMAL	38
4.4 INDÚSTRIA FARMACÊUTICA, ALIMENTÍCIOS E COSMÉTICOS.....	39
4.5 DIGESTÃO ANAERÓBIA.....	39
5 DIGESTÃO ANAERÓBIA	40
5.1 SISTEMAS DE DIGESTÃO ANAERÓBIA	42
5.2 FATORES QUE INFLUENCIAM NO PROCESSO DE DIGESTÃO ANAERÓBIA 43	
5.2.1 pH.....	43
5.2.2 Temperatura	43
5.2.3 Nutrientes	44
5.2.4 Tempo de retenção.....	45
5.2.5 Teor de umidade e concentração de sólidos totais.....	45
5.3 BIOGÁS	46
5.4 SISTEMAS DE GERAÇÃO DE BIOGÁS	48
5.4.1 Reatores de mistura contínua (CSTR)	49

5.4.2	Reatores de metanização seca – processo contínuo	51
5.4.3	Reatores de metanização seca – processo descontínuo	51
5.5	SISTEMA ADOTADO.....	52
5.6	ENSILAGEM.....	53
5.7	TECNOLOGIAS PARA O APROVEITAMENTO DO BIOGÁS	55
5.7.1	Motores de cogeração CHP	55
5.7.2	Caldeiras de biogás	56
5.7.3	Biometano como substituto ao gás natural	57
5.8	APROVEITAMENTO DO BIOGÁS PARA ENERGIA ELÉTRICA	57
5.9	DIGESTATO	58
6	ESTUDO DE CASO	60
6.1	ÁREA DE IMPLANTAÇÃO	61
6.2	CONCEPÇÃO DO SISTEMA	64
6.2.1	Recebimento e armazenamento dos resíduos	65
6.2.2	Digestores modelo garagem	65
6.2.3	Armazenamento do biogás	65
6.2.4	Condicionamento do biogás	65
6.2.5	Armazenamento do composto	66
6.2.6	Gerador de energia elétrica	66
6.3	CARACTERIZAÇÃO DO SUBSTRATO	66
6.4	DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA.....	67
6.4.1	Estimativa da quantidade de substrato	67
6.4.2	Estimativa do teor de sólidos	67
6.4.3	Volume dos subprodutos	68
6.4.4	Dimensões dos reatores tipo garagem	69
6.4.5	Estimativa da geração de lixiviado	70
6.4.6	Dimensionamento das tubulações de recirculação do lixiviado	72
6.4.7	Dimensões do tanque de armazenamento de lixiviado	73
6.4.8	Dimensões da área de ensilagem	74
6.4.9	Dimensões da área de armazenamento do composto	75
6.5	PRODUÇÃO E ARMAZENAMENTO DO BIOGÁS.....	76
6.6	POTENCIAL DE PRODUÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA	78

7 ORÇAMENTOS	80
8 ANÁLISE DE VIABILIDADE TÉCNICA, ECONÔMICA E AMBIENTAL	83
8.1 CUSTO DE IMPLANTAÇÃO	83
8.2 CUSTO DE OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO	83
8.3 CENÁRIO 1: VENDA DE ENERGIA ELÉTRICA E COMPOSTO ORGÂNICO....	83
8.3.1 Benefícios tangíveis	84
8.3.2 Benefícios intangíveis	84
8.4 CENÁRIO 2: VENDA APENAS DA ENERGIA ELÉTRICA	85
8.4.1 Benefícios tangíveis	85
8.4.2 Benefícios intangíveis	86
8.5 ANÁLISE FINANCEIRA	86
8.5.1 Fluxo de caixa e análise pelo Valor presente líquido (VPL).....	86
8.5.2 Cenário 1	87
8.5.3 Cenário 2	90
8.6 CONSIDERAÇÕES SOBRE ANÁLISE DE VIABILIDADE.....	93
REFERÊNCIAS.....	94
APÊNDICES	103
APÊNDICE A: ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS	104
APÊNDICE B: PEÇAS GRÁFICAS	116

1 INTRODUÇÃO

Com desenvolvimento industrial e crescimento econômico no pós-guerra, assim como o aumento demográfico e urbanização, inserido no atual modelo de intensa expansão de diversos setores do Brasil, houve incremento na demanda energética, surgindo como um problema de considerável relevância, uma vez que o desenvolvimento de qualquer economia é fator dependente da correta tomada de decisões no que diz respeito à utilização racional das fontes energéticas dentro das políticas econômicas, sociais e ambientais vigentes.

Tratando-se de desenvolvimento sustentável, a necessidade de aproveitamento do potencial energético de cada país e os estados nele inseridos através de fontes de energia renováveis disponíveis, é notória. No caso do Rio Grande do Sul além da exploração da energia eólica, surge o biogás não só como alternativa de suprimento de gás, mas também com o viés do aproveitamento energético, o que vem se tornando cada vez mais viável (MARTINS et al., 2018). Dentre os diversos resíduos passíveis de utilização para o sugerido fim, está o resíduo proveniente de vinícolas.

A viticultura¹ brasileira passa por um período de ascensão verificado principalmente a partir da década de 1990. Segundo o Instituto Brasileiro do Vinho (IBRAVIN, 2017), nos últimos anos o país se consolidou como o quinto maior produtor de vinho no Hemisfério Sul. Trata-se de uma atividade importante para a sustentabilidade da pequena propriedade, que tem se tornado igualmente relevante tanto na produção de vinhos e sucos, como em outras atividades econômicas ligadas ao turismo e à gastronomia, sendo essas importantes para a sustentabilidade da agricultura familiar e para o desenvolvimento dos territórios (MELLO, 2017).

No Brasil, esta cultura está difundida desde o Rio Grande do Sul até o Rio Grande do Norte e Ceará, abrangendo, em 2017, uma área de aproximadamente 78.028 hectares, e produção de 1.680.020 toneladas de uva.

¹ De origem latina, a palavra viticultura significa vit(i)icultura, ou seja, cultura ou cultivo de vinhas. Viticultura é, portanto, a ciência que estuda a produção da uva, que pode ser destinada para: o consumo *in natura*, a elaboração de vinhos e seus derivados, a produção de passas (GIOVANNINI, 2014).

Em média, 57% da uva produzida no país é destinada ao processamento (vinhos, sucos e outros derivados) e 43% comercializado 'in natura'. Do total de produtos industrializados, 60% é vinho e 21% suco de uva (CAMARGO et al., 2011; MELLO, 2012; IBGE, 2017).

O Rio Grande do Sul é o principal produtor nacional, sendo que a viticultura já está presente em 27 das 35 microrregiões gaúchas e ocupa uma área de aproximadamente 40 mil hectares de vinhedos, quase o dobro em comparação aos pouco mais de 21,5 mil hectares que eram plantados em 1995 (EMBRAPA, 2017). Estima-se, que apenas a região da Serra Gaúcha cultive mais de 80% da produção do estado, tendo como a principal detentora da produção, a tradicional microrregião (MR) Caxias do Sul, que contempla 18 municípios, entre eles Flores da Cunha, o maior produtor de vinhos do Brasil, com mais de 100 vinícolas em seu território, de acordo com AGAVI (2018).

Durante o processamento da elaboração de sucos e vinhos, ocorre a geração de subprodutos, que são inerentes ao processo. As vinícolas estão entre as indústrias que mais sofrem com o acúmulo de resíduos orgânicos, bem como entre as que buscam por novas tecnologias para agregar valores aos resíduos, além de diminuir o impacto ambiental. Embora a biomassa residual seja biodegradável, necessita de um tempo mínimo para ser mineralizada, constituindo-se numa fonte de poluentes ambientais (CATANEO et al., 2008). Os principais resíduos são bagaço, engaço, borra, entre outros, que se não forem devidamente tratados, podem causar severas consequências ao meio ambiente, poluindo o solo e contaminando as fontes de água. Estes resíduos provocam impactos negativos no meio ambiente devido aos baixos valores de pH, e por conterem substâncias fitotóxicas e fenólicas (SILVA, 2003). O acúmulo destes resíduos em local único pode acidificar o solo ocasionando baixo rendimento produtivo da lavoura.

O descarte dos resíduos gerados é de responsabilidade de cada instituição geradora. Dessa maneira, está se tornando mais importante, especialmente, em razão da rentabilidade e dos possíveis empregos, uma utilização eficiente, econômica e segura para o meio ambiente (SCHIEBER et al., 2001). A responsabilidade socioambiental é um diferencial de mercado e que demonstra o comprometimento com o desenvolvimento sustentável. Com o objetivo de que seus produtos possam competir e tenham uma boa aceitação no mercado, as instituições começam a se

organizar para atender a três requisitos: questões legais, questões ambientais e exigência de mercado interno e externo.

Conforme Besinella et al. (2017), o fato dos resíduos sólidos e as águas residuárias provenientes de indústrias vinícolas apresentarem uma fração alta de sólidos voláteis, corrobora para o potencial de geração de biogás, uma vez que a produção de biogás está ligada à disponibilidade de sólidos voláteis no sistema, bem como, um pH que varia entre a faixa de 6 a 8 e uma relação C/N entre 20 e 30. A geração de biogás através de resíduos vínicos já é uma realidade no Chile. A Viña San Pedro se tornou a primeira empresa no mundo a transformar 100% do seu resíduo orgânico em energia. A unidade de biogás modular está localizada na região de Maule na cidade de Molina, 205 km de Santiago, a qual gera energia térmica, energia elétrica, e fertilizantes que são utilizados para melhorar os solos da vinha (SAN PEDRO, 2016).

As mais de cem vinícolas de Flores da Cunha produziram em 2017, 115.769.965 L de vinho (AGAVI, 2018), para essa produção, estima-se que foram gerados 28.942.491,3 kg entre bagaço de uva e borra. Atualmente, a maior parte das vinícolas devolve esses subprodutos gratuitamente para os produtores de uva, que utilizam para alimentação animal e adubação do solo, muitas vezes mal aplicado, saturando o solo nos locais de aplicação.

Diante do exposto, este projeto visa apresentar o tratamento anaeróbio como uma solução para o tratamento de resíduos sólidos das vinícolas localizadas no município de Flores da Cunha, e o aproveitamento energético do biogás gerado no processo. Para isto, propõe-se a utilização de ensilagem, para conservação dos resíduos e o sistema de metanização a seco em garagem para digestão dos resíduos e geração de biogás. Trata-se de uma alternativa que resulta no adequado tratamento da fração orgânica dos resíduos, na geração de biofertilizantes e na diversificação da matriz energética, sendo aplicável a diversas situações. Também pode se tornar uma alternativa de melhor viabilidade econômica, por se tratar de uma solução coletiva entre as vinícolas do município que é o maior produtor de vinhos do país, na qual o investimento e os resíduos poderão ser compartilhados.

2 ASPECTOS LEGAIS

A elaboração de qualquer projeto relacionado à área ambiental, além de prever sua sustentabilidade, deverá contemplar prioritariamente as exigências da legislação vigente em vigor. As ações na área de meio ambiente, sob o ponto de vista legal, surgem com a Constituição Federal de 1988 – CF/88 (BRASIL, 1988), na qual o Artigo 225 define que:

Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações (BRASIL, 1988).

A realização de conferências mundiais sobre meio ambiente e aquecimento global trouxeram um grande salto no desenvolvimento industrial referente ao tratamento de resíduos, principalmente depois da Rio-92, na qual foram discutidas e estabelecidas metas para garantia e entendimento do desenvolvimento sustentável, com objetivo de substituir técnicas convencionais de tratamento de resíduos por Tecnologias Ambientalmente Sustentáveis (TAS). “As TAS protegem o meio ambiente, são menos poluentes, usam todos os recursos de forma mais sustentável, reciclam mais seus resíduos e produtos e tratam os dejetos residuais de uma maneira mais aceitável do que as tecnologias que vieram substituir” (BRASIL, 1995).

Sobre a geração e utilização de biogás, o Projeto Brasil-Alemanha de Fomento ao Aproveitamento Energético de Biogás no Brasil – PROBIOGÁS – traz que os processos de regularização ambiental variam de estado para estado, conforme a legislação vigente. A caracterização do empreendimento, o porte e o potencial poluidor é de uma forma geral, o primeiro passo para a regularização. Geralmente, a produção e utilização de biogás são enquadradas como atividades auxiliares dentro do empreendimento, relacionados ao saneamento (estações de tratamento de esgoto sanitário ou efluentes industriais, usinas de processamento de resíduos sólidos ou aterros sanitários), instalações produtoras de energia (usinas de produção de biogás ou usinas termoeletricas) ou empreendimentos agroindustriais (tratamento de efluentes da produção) associados à produção e à utilização de biogás.

Neste capítulo serão abordadas as principais legislações, decretos e diretrizes no âmbito federal, estadual e municipal pertinentes ao projeto.

2.1 ÂMBITO FEDERAL

Inicialmente, a escolha do local a ser implantado um empreendimento, deve considerar critérios legais. Na esfera federal deve-se observar especialmente a legislação referente ao Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza (SNUC), instituído pela Lei nº 9.985 de 18 de julho de 2000, que estabelece critérios e normas para a criação, implantação e gestão das unidades de conservação. Conforme seu artigo 7º, as unidades de conservação integrantes do SNUC dividem-se em dois grupos, com características específicas: Unidades de Proteção Integral e Unidades de Uso Sustentável.

O grupo das Unidades de Proteção Integral é composto pelas seguintes unidades de conservação:

- Estação Ecológica
- Reserva Biológica
- Parque Nacional
- Monumento Natural
- Refúgio de Vida Silvestre

O grupo das Unidades de Uso Sustentável é constituído pelas seguintes categorias:

- Área de Proteção Ambiental
- Área de Relevante Interesse Ecológico
- Floresta Nacional
- Reserva Extrativista
- Reserva de Fauna
- Reserva de Desenvolvimento Sustentável
- Reserva Particular do Patrimônio Natural

Ainda sobre a localização do empreendimento, as Resoluções do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) nº 302 e 303, de 2002 também devem ser

observadas, ambas dispõe sobre parâmetros, definições e limites de Áreas de Preservação Permanente. Em seu artigo 3º, a Resolução CONAMA 302/2002:

Constitui Área de Preservação Permanente a área com largura mínima, em projeção horizontal, no entorno dos reservatórios artificiais, medida a partir do nível máximo normal de: I - trinta metros para os reservatórios artificiais situados em áreas urbanas consolidadas e cem metros para áreas rurais; II - quinze metros, no mínimo, para os reservatórios artificiais de geração de energia elétrica com até dez hectares, sem prejuízo da compensação ambiental; III - quinze metros, no mínimo, para reservatórios artificiais não utilizados em abastecimento público ou geração de energia elétrica, com até vinte hectares de superfície e localizados em área rural (BRASIL,2002).

Sobre a utilização e proteção da vegetação nativa do Bioma Mata Atlântica, a Lei nº 11.428, de 22 de dezembro de 2006 estabelece a proibição de corte, exploração e supressão de vegetação. A supressão da vegetação para fins de implantação de um empreendimento é uma atividade que exige prévia obtenção de Autorização de Corte concedida pelos órgãos ambientais.

O Licenciamento Ambiental, também citado na Política Nacional dos Resíduos Sólidos (PNRS), instituída pela Lei nº 12.305 de 2 de Agosto de 2010, através do qual o Poder Público (federal, estadual ou municipal), exige dos interessados em desenvolver atividade potencial ou efetivamente poluidora a elaboração de estudos ambientais, planos e programas de controle e monitoramento de impactos ambientais. O licenciamento da atividade é previsto pelo Conselho Nacional do Meio ambiente (CONAMA) na Resolução CONAMA nº 237 de 19 de dezembro de 1997, que dispõe sobre a revisão e complementação dos procedimentos e critérios utilizados para o licenciamento ambiental. Atividades relacionadas à produção e à utilização de biogás, além das licenças ambientais pertinentes, devem ser registradas junto ao Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), por meio do CTF², que foi estabelecido pela Resolução CONAMA nº 01 de 13 de junho de 1988 e pela Instrução Normativa do IBAMA nº 10 de 27 de maio de 2013.

²“O Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental tem como objetivo proceder ao registro, com caráter obrigatório, de pessoas físicas ou jurídicas que se dediquem à prestação de serviços e consultoria sobre problemas ecológicos ou ambientais, bem como à elaboração do projeto, fabricação, comercialização, instalação ou manutenção de equipamentos, aparelhos e instrumentos destinados ao controle de atividades efetiva ou potencialmente poluidoras” (BRASIL, 1988).

Uma das condicionantes impostas no licenciamento ambiental é o gerenciamento adequado dos resíduos. De acordo com a NBR 10.004 de 31 de maio de 2004, que dispõe sobre a classificação dos resíduos sólidos quanto aos seus riscos potenciais ao meio ambiente e à saúde pública para que possam ser gerenciados adequadamente, os resíduos sólidos podem ser definidos como:

Resíduos nos estados sólido e semi-sólidos, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnicas e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível (ABNT, 2004).

Esta norma classifica os resíduos em dois grupos:

- Resíduos Classe I – perigosos: apresentam periculosidade em função de suas características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade, podendo apresentar risco à saúde pública, provocando mortalidade, incidência de doenças ou acentuados seus índices, e riscos ao meio ambiente, quando gerenciado de forma inadequada;
- Resíduos Classe II – não perigosos, subdividem-se em: – Resíduos Classe II A – não inertes: são aqueles que não se enquadram nas classificações de resíduos classe I (perigosos) ou classe II B (inertes). Estes resíduos podem ter propriedades de biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água; – Resíduos Classe II B – inertes: são aqueles que quando submetidos a um contato dinâmico e estático com água destilada ou deionizada, à temperatura ambiente, conforme norma ABNT NBR 10006:2004, não tiverem nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água, excetuando-se aspecto, cor, turbidez, dureza e sabor.

A PNRS em seu artigo 7º tem como objetivo no inciso II a “[...] não geração, redução, reutilização, reciclagem e tratamento dos resíduos sólidos, bem como disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos. [...]” (BRASIL, 2010).

Em seu artigo 7º, inciso XIV, a PNRS cita ainda como objetivo o:

incentivo ao desenvolvimento de sistemas de gestão ambiental e empresarial voltados para a melhoria dos processos produtivos e ao reaproveitamento dos resíduos sólidos, incluídos a recuperação e o aproveitamento energético (BRASIL, 2010).

Desta forma, a PNRS preconiza o aproveitamento energético dos resíduos e o desenvolvimento de tecnologias limpas como forma de minimizar os impactos ambientais. Os resíduos passam a agregar valor econômico, devendo ser prioritariamente reciclados ou reutilizados em outras cadeias produtivas, reduzindo, assim, os custos com destinação, a demanda por matérias primas e energia e os impactos ambientais (SOUZA; LAGE, 2014).

Ainda no âmbito federal, outra lei que vem de encontro ao aproveitamento energético de resíduos é a Política Nacional sobre Mudança do Clima – PNMC - Lei nº 12.187 de 29 de Dezembro de 2009. De acordo com seu artigo 12, para que os objetivos da PNMC sejam alcançados, o País deverá adotar ações de mitigação das emissões de gases de efeito estufa, com vistas em reduzir entre 36,1 % e 38,9 % suas emissões projetadas até 2020.

O aproveitamento energético do biogás é regulamentado conforme sua utilização. Para a geração de energia elétrica, a Lei nº 9.074 de 7 de julho de 1995 (BRASIL, 1995) define o marco regulatório do setor elétrico e estabelece as formas de comercialização de energia elétrica no Sistema Integrado Nacional (SIN). Esta lei ainda estabelece a figura do Produtor Independente de Energia, confirmando a possibilidade de uma empresa privada produzir e comercializar energia elétrica, bem como a figura do Autoprodutor, que é um titular de concessão, permissão ou autorização para produzir energia elétrica para seu uso exclusivo, podendo, mediante autorização da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), comercializar seus excedentes de energia.

Os procedimentos de comercialização de energia elétrica devem ser observados junto à Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE), os quais são regulamentados pela Lei nº 10.848 de 15 de março de 2004, Decretos nº 5.163 de 30 de julho de 2004 e nº 5.177 de 12 de agosto de 2004 (BRASIL, 2004) e pela Resolução Normativa ANEEL nº 109 de 26 de outubro de 2004.

Outra importante legislação é a Lei nº 10.438 de 26 de abril de 2002 (BRASIL, 2002) que dispõe sobre a expansão da oferta de energia elétrica emergencial, criando o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (Proinfa), a qual descreve em seu artigo 3º como objetivo:

aumentar a participação da energia elétrica produzida por empreendimentos de Produtores Independentes Autônomos, concebidos com base em fontes eólica, pequenas centrais hidrelétricas e biomassa, no Sistema Elétrico Interligado Nacional (BRASIL, 2002).

Para geração e comercialização do biogás como combustível (GNV ou GN), devem ser observadas as regulamentações estabelecidas pelo Ministério de Minas e Energia (MME) e pela Agência Nacional do Petróleo (ANP).

A Resolução ANP nº 08 de 30 de janeiro de 2015 define as especificações e o controle de qualidade do biometano, as regras de uso, veta a comercialização de biometano que não atenda às especificações definidas, autoriza a injeção na rede de GN o biometano que atenda às especificações estabelecidas e define as normas técnicas aplicáveis. A ANP define, ainda, as condições para comercialização do GNV, que são estabelecidas pela Resolução nº 41 de 5 de novembro de 2013.

No que tange o uso e comercialização do resíduo gerado na biodigestão como biofertilizante, devem ser observadas, principalmente, as regulamentações estabelecidas pelo Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) e pelo IBAMA.

Conforme estabelecido pela Lei nº 6.894 de 16 de dezembro de 1980, e regulamentado pelo Decreto nº 4.954 de 14 de janeiro de 2004, para ser comercializado, o biofertilizante deve ser registrado no MAPA. A Instrução Normativa da Secretaria de Defesa Agropecuária (SDA) do MAPA nº 25/09 estabelece as especificações, garantias, tolerâncias, embalagens e rotulagem dos biofertilizantes destinados à agricultura, definindo os limites que devem ser observados, e classifica os compostos orgânicos conforme as matérias-primas utilizadas na sua produção, em 4 tipos:

- Classe A: utiliza, em sua produção, matéria-prima de origem vegetal, animal ou de processamentos da agroindústria, em que não sejam utilizados no processo metais pesados tóxicos, elementos ou compostos orgânicos sintéticos potencialmente tóxicos;
- Classe B: fertilizante orgânico que, em sua produção, utiliza matéria-prima oriunda de processamento da atividade industrial ou da agroindústria, em que metais pesados tóxicos, elementos ou compostos orgânicos sintéticos potencialmente tóxicos são utilizados no processo;

- Classe C: fertilizante orgânico que, em sua produção, utiliza qualquer quantidade de matéria-prima oriunda de lixo domiciliar;
- Classe D: fertilizante orgânico que, em sua produção, utiliza qualquer quantidade de matéria-prima oriunda do tratamento de despejos sanitários.

De acordo com SNSA (2016), no Brasil ainda não existem normas regulamentadoras que tratam especificamente do tema biogás. Entretanto, para elaboração de projetos de usinas de biogás, recomenda-se que com as devidas ressalvas, sejam adotadas de forma parcial as normativas referentes ao gás natural. Deve-se ainda observar as Normas Regulamentadoras (NRs) estabelecidas pelo Ministério do Trabalho e Emprego (MTE).

A NR nº 13/78 estabelece requisitos mínimos relacionados à segurança e condições de operação no que diz respeito a vasos de pressão e caldeiras. A NR nº 16/78 define quais atividades são enquadradas como perigosas, os requisitos para estabelecimento de áreas de risco, as capacidades de armazenamento de materiais perigoso e inflamáveis, entre outras questões. Já as regras para o armazenamento e manuseio de materiais inflamáveis e combustíveis, a definição das distâncias e afastamentos que devem ser observados para a implantação de áreas de armazenamento, os requisitos mínimos de proteção que deverão ser adotados nas instalações, entre outros aspectos são esclarecidos na NR nº 20/78. E por fim, NR nº 23/78 trata de questões referentes à proteção contra incêndio.

2.2 ÂMBITO ESTADUAL

Na esfera estadual a Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler – FEPAM - é responsável por estabelecer critérios que devem ser respeitados e seguidos pelos empreendimentos do estado

No Rio Grande do Sul, a Lei nº 9.921 de 27 de Julho de 1993 (RIO GRANDE DO SUL, 1993) que relata a Gestão dos Resíduos Sólidos, define em seu artigo 8º que:

A coleta, o transporte, o tratamento, o processamento e a destinação final dos resíduos sólidos de estabelecimentos industriais, comerciais e de Prestação de serviços, inclusive de saúde, são de responsabilidade da fonte geradora independentemente da contratação de terceiros, de direito público ou privado, para execução de uma ou mais dessas atividades. (RIO GRANDE DO SUL, 1993).

Essa responsabilidade também está definida na Lei nº 14.528 de 16 de Abril de 2014 (RIO GRANDE DO SUL, 2014), que institui Política Estadual de Resíduos Sólidos.

A Resolução CONSEMA nº 372 de 22 de fevereiro de 2018:

Dispõe sobre os empreendimentos e atividades utilizadores de recursos ambientais, efetiva ou potencialmente poluidores ou capazes, sob qualquer forma, de causar degradação ambiental, passíveis de licenciamento ambiental no Estado do Rio Grande do Sul, destacando os de impacto de âmbito local para o exercício da competência municipal no licenciamento ambiental (RIO GRANDE DO SUL, 2018).

Inclui a produção de biogás e a geração de energia elétrica a partir de biogás na Tabela de Classificação de Atividades para Licenciamento Ambiental da FEPAM, e classifica-as como atividades com potencial poluidor médio.

Sobre a geração de biometano, o estado do Rio Grande do Sul instituiu a Política Estadual do Biometano e o Programa Gaúcho de Incentivo à Geração e Utilização de Biometano, na Lei nº 14.864 de 11 de maio de 2016, visando apoiar e incentivar o desenvolvimento da cadeia produtiva do biometano como instrumento de promoção do desenvolvimento regional e redutor dos impactos ambientais.

Ainda no âmbito estadual, o Decreto nº 53.160 de 3 de agosto de 2016 institui o Programa Gaúcho de Energias Renováveis, o qual é:

composto por ações que incentivam a geração e o consumo de energia elétrica com base em fontes renováveis, com o objetivo de aumentar a segurança energética, fomentar a economia gaúcha por meio da diversificação da matriz energética e contribuir para o desenvolvimento sustentável do Estado, priorizando as regiões com menores indicadores de desenvolvimento (RIO GRANDE DO SUL, 2018).

2.3 ÂMBITO MUNICIPAL

No que tange a localização do empreendimento, as áreas devem estar em conformidade com as diretrizes de zoneamento do município, definidas pelo Plano Diretor Municipal. A Lei Complementar nº 46 de 28 de agosto de 2008 institui o Plano Diretor Municipal de Flores da Cunha, e em seu Art. 2º define:

O Plano Diretor Municipal (PDM) é o instrumento de planejamento e de gestão que estabelece políticas ambientais, sociais e econômicas visando o desenvolvimento sustentável e ordenado do município.

Outro instrumento que deve ser observado é a Lei Complementar nº 47 de 28 de agosto de 2008, que dispõe sobre o parcelamento do solo no espaço urbano e dá outras providências.

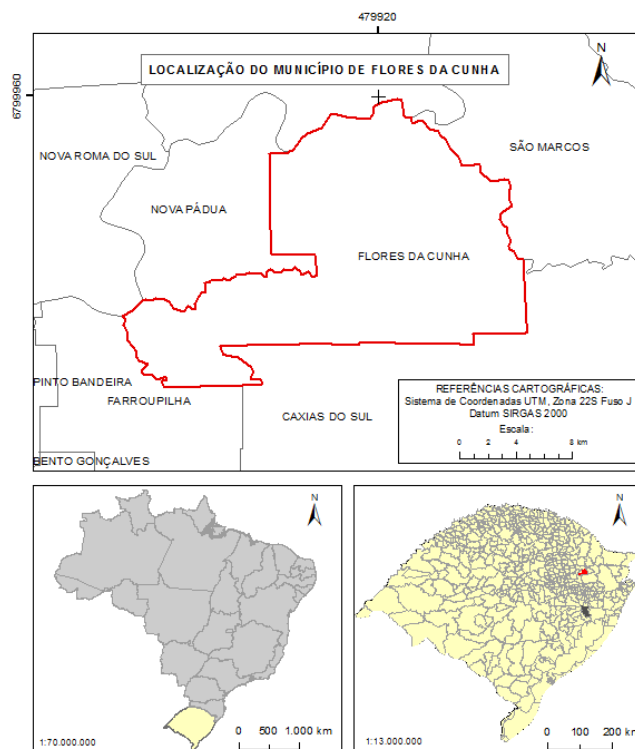
Flores da Cunha possui a Política do Meio Ambiente do município, instituída pela Lei Complementar nº 30 de 29 de novembro de 2006, que dispõe sobre as sanções aplicáveis aos infratores das normas ambientais e dá outras providências. Em seu Art. 4º, um dos objetivos e interesses da Lei é incentivar o desenvolvimento, a produção e a instalação de equipamentos, além da criação, absorção e difusão de tecnologias compatíveis com a melhoria da qualidade ambiental.

3 CARACTERIZAÇÃO DO MUNICÍPIO

Flores da Cunha é um município brasileiro do Estado do Rio Grande do Sul localizado na Microrregião de Caxias do Sul e Mesorregião Nordeste Rio-grandense. Com uma área de 253 km², o município é dividido em três distritos: Otávio Rocha, Mato Perso e Flores da Cunha. A sede municipal está localizada a uma altitude de 710 metros a sede municipal, e limita-se ao Norte e Oeste com os municípios de Antônio Prado, Nova Roma do Sul e Nova Pádua, a Nordeste com o município de São Marcos, à Sudeste e Sul com o município de Caxias do Sul, à Sul e Sudeste com o município de Farroupilha (CAMARGO, R. 2013; IBGE, 2016). A localização é apresentada na Figura 1.

O município conta com uma população de 29.000 habitantes (IBGE, 2016) e se destaca por ser o maior produtor de vinhos do Brasil, atualmente com 143 indústrias vinícolas, desde pequenas cantinas rurais a grandes empresas vinícolas. Destaca-se por ser o segundo maior produtor de uvas do Brasil, segundo polo moveleiro do estado e primeiro produtor de bebidas alcoólicas do estado, com indústria diversificada.

Figura 1 – Localização do Município de Flores da Cunha



Fonte: Autor utilizando dados de IBGE (2015).

3.1 A INDÚSTRIA VITIVINÍCOLA NO MUNICÍPIO

A Microrregião de Caxias do Sul tem como marca a colonização dos imigrantes italianos, que influenciaram a região com seus costumes e tradições fazendo com que a região ficasse conhecida como “Região da Uva e do Vinho” (PIACENTI et. al., 2005). O cultivo da uva nasceu como subsistência, para consumo próprio e, com o excedente da produção surgiram às primeiras vinícolas comerciais, com a cultura de produção tipicamente italianas e ampla mão-de-obra. Com a ampliação das áreas de vinhedos e investimento dos empresários do setor, formou-se o maior polo vitivinícola do Brasil (TECNOVITIS, 2017). A vitivinicultura é de grande importância para toda a região serrana, esta economia é forte, pois consegue reunir um setor primário produtivo com uma indústria cada vez mais diversificada.

Segundo dados apresentados pela Embrapa Uva e Vinho de Bento Gonçalves, por meio do Cadastro Vitícola do Rio Grande do Sul, o município de Flores da Cunha desde 1994 é o maior produtor de vinhos do Brasil. A produção de uva e vinho ocupa o segundo lugar na economia de Flores da Cunha, perdendo apenas para a produção de móveis.

Associado à vitivinicultura, ocorre o turismo em toda região da Serra Gaúcha. A identidade cultural, a diversificação dos produtos oferecidos e a melhoria da qualidade dos mesmos são os maiores atrativos para o enoturismo, constituindo-se em fonte de crescimento econômico regional.

3.2 LOCALIZAÇÃO DAS VINÍCOLAS

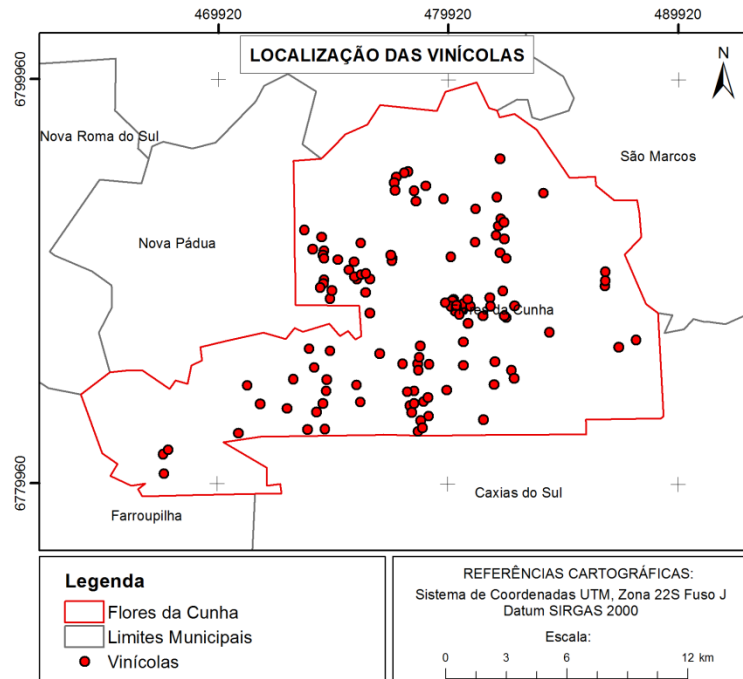
Na Figura 2 apresenta-se a localização das 143 vinícolas do município de Flores da Cunha.

3.3 PROCESSO E PRODUTOS

Em sua maioria, as vinícolas localizadas em Flores da Cunha, produzem e comercializam vinhos e sucos de uva, produtos que são obtidos através do processamento da uva.

A transformação da uva em vinho ocorre por um conjunto de operações técnicas, que é a vinificação, cujo processo é apresentado simplificada no fluxograma da Figura 3.

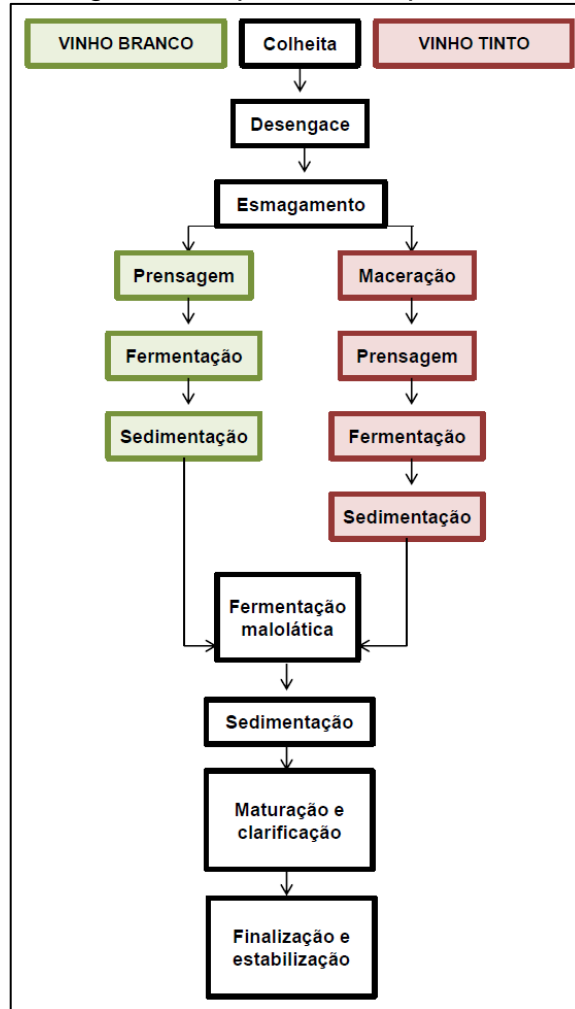
Figura 2 – Localização das vinícolas



Fonte: Autor utilizando dados de AGAVI (2018) e IBGE (2015).

Após a colheita (Figura 4), o processamento se inicia com o recebimento, classificação e pesagem da uva (Figura 5). Em seguida, os cachos passam por uma desengaçadeira-esmagadora (Figura 6), máquina que separa o engaço dos bagos de uva, os quais posteriormente são esmagados. O esmagamento da uva consiste em romper a baga para liberar o mosto e dispersar as células de leveduras que provocam aeração favorável para sua multiplicação, contribuindo para o início da fermentação alcoólica (CATALUÑA, 1988). Entretanto, o efeito mais significativo é a sua contribuição no processo de maceração, o que permite um aumento da superfície de contato entre o mosto e a parte sólida, facilitando a dissolução do tanino e da matéria corante (RIZZON, 2006). Ainda no esmagamento, ocorre a etapa de sulfitagem do mosto utilizando-se o metabissulfito de potássio. Dentre suas diversas atuações encontra-se a ação seletiva que exerce no meio, ou seja, é tóxico para as bactérias, porém menos tóxico para as leveduras responsáveis pela fermentação. O sulfito possui ação antioxidante e permite longa conservação dos vinhos em toneis, facilitando seu envelhecimento na garrafa (ROSIER, 1993; CATALUÑA, 1988).

Figura 3 – Fluxograma simplificado do processo de vinificação



Fonte: Adaptado de Melo (2010).

Figura 4 – Colheita da uva



Fonte: Arquivos da vinícola Garibaldi (2018).

Figura 5 – Recebimento e pesagem da uva



Fonte: Arquivos da vinícola Garibaldi (2018).

Figura 6 – Desengaçadeira-esmagadora



Fonte: Arquivos da vinícola Garibaldi (2018).

Depois de esmagadas, as uvas (com sementes e cascas) são encaminhadas aos tanques de fermentação (Figura 7). Nesta etapa, as uvas sofrem a invasão das leveduras, as quais transformam os açúcares presentes no mosto em álcool etílico e gás carbônico. Esse gás faz com que as partes sólidas do mosto subam e fiquem na parte superior do tanque. Simultaneamente com a fermentação, ocorre a maceração, período em que a parte sólida da uva, película e semente permanecem em contato com o mosto. A maceração é uma etapa fundamental do processo de fermentação alcoólica do vinho, visto que permite a flexibilidade para as vinícolas no que se refere à promoção de características singulares aos seus vinhos (ALBERT, 2012).

Figura 7 – Tanques de fermentação



Fonte: Arquivos da vinícola Garibaldi (2018).

A próxima etapa é a remontagem, que consiste em fazer o vinho sair da posição estática através da retirada da parte inferior do líquido nos recipientes e movimentá-lo até a parte superior. Essa circulação e mistura do líquido, visa favorecer a multiplicação das leveduras, homogeneizar sua população no meio e, quando se trata de vinho tinto, extrair maior quantidade de substâncias corantes.

Após as etapas de fermentação alcoólica, com aplicação de remontagens e maceração, o mosto é separado da fase sólida através da etapa de descuba, operação na qual se separa o mosto em fermentação das substâncias sólidas mais grosseiras em suspensão - o bagaço. Posteriormente, o vinho é conduzido para um recipiente equipado com uma válvula na parte superior para permitir a saída do dióxido de carbono. Nesse local, deve ocorrer a transformação, pelas leveduras, dos últimos gramas de açúcar. A fermentação alcoólica é concluída quando cessar o desprendimento do dióxido de carbono, quando o gosto doce não é mais preponderante na degustação e o vinho inicia um processo de clarificação. Quando concluída essa etapa, é recomendado que se realize a trasfega, separação o vinho límpido da parte superior do recipiente, do depósito precipitado (borra) na parte inferior (RIZZON; DALL'AGNOL, 2007). A borra pode ser encaminhada para a prensagem, a fim de produzir-se um vinho inferior, denominado vinho de prensa. Esse vinho inferior é também utilizado na produção de *brandies* e bagaceiras (ALBERT, 2012).

Com a conclusão da fermentação alcoólica é de fundamental importância que se realize a fermentação malolática no vinho tinto. O efeito principal dessa fermentação é a transformação do ácido málico em lático e a consequente redução da acidez total (RIZZON; DALL'AGNOL, 2007). A etapa seguinte, a clarificação,

consiste em adicionar ao vinho um produto clarificante para se obter rápida limpidez no vinho e evitar o armazenamento de um produto turvo e mal acabado por longo tempo. A clarificação favorece, também, a estabilização do vinho contra precipitação de certas proteínas e promove estabilização do material corante.

Finalizando o processo de vinificação, o engarrafamento (Figura 8) consiste em colocar em um recipiente certa quantidade de vinho, deixando um espaço vazio, necessário para eventual dilatação e para aplicar o sistema de vedação.

Figura 8 - Engarrafamento



Fonte: Arquivos da vinícola Garibaldi (2018).

Na vinificação de vinhos brancos, a fermentação alcoólica do mosto ocorre sem a presença de suas partes sólidas (cascas e sementes). Não ocorre, portanto a maceração, fermentando-se apenas o suco de uva (ALBERT, 2012). A fermentação malolática ocorre apenas em casos especiais, para que as melhores características do vinho branco não sejam inibidas.

Os vinhos espumantes se diferenciam por conter uma boa quantidade de dióxido de carbono dissolvido em sua composição. É essa substância que faz com que o vinho tenha *perlage* (borbulhas). Os espumantes sofrem duas fermentações, na última deve-se prender o CO₂ na garrafa para se conseguirem as bolhas. Na primeira fase obtém-se um vinho normal, geralmente seco e ácido. A segunda fermentação ocorre com a adição de açúcar e leveduras ao vinho normal.

O suco de uva é uma bebida não fermentada e não alcoólica, portanto diferentemente do processo de produção de vinho, após o esmagamento, a uva segue para o aquecimento, o qual não pode ultrapassar 90 °C, para não atribuir gosto de cozido ao suco de uva. Em seguida, enzimas são adicionadas, as mais utilizadas são

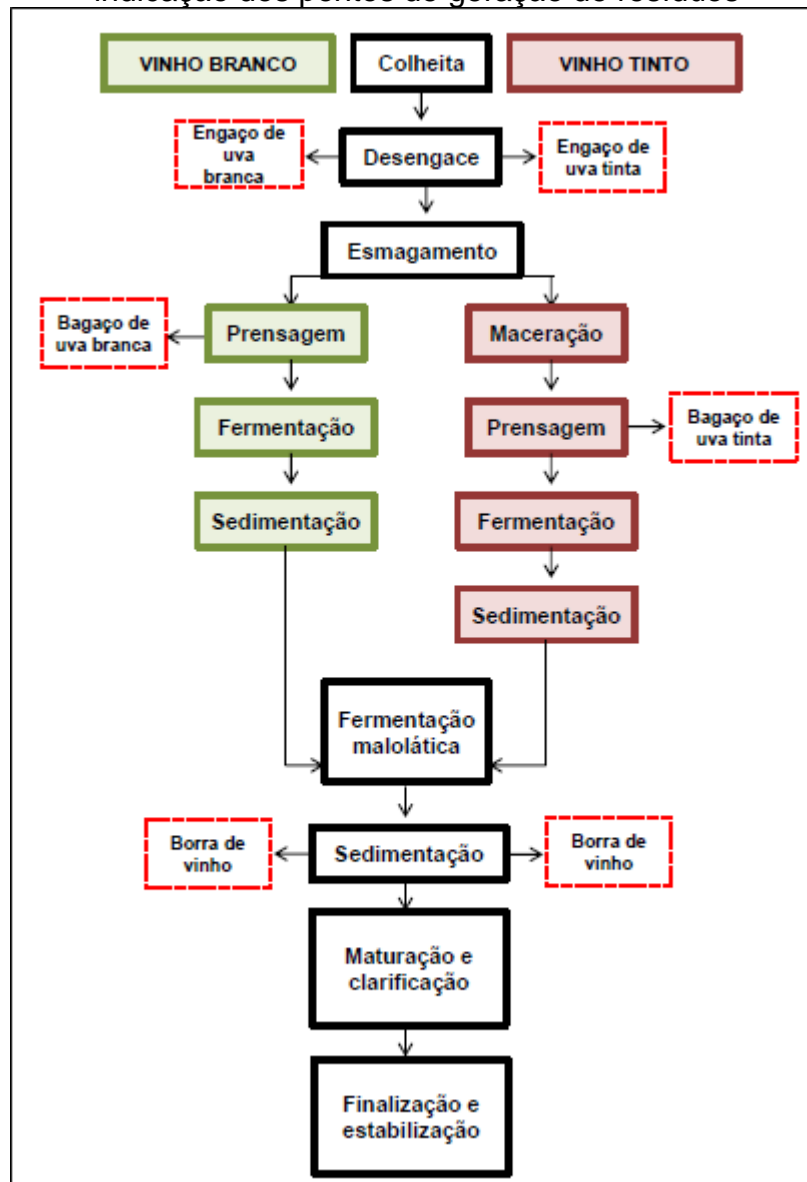
pectinolíticas ou pectinases, essas apresentam a capacidade de hidrolisar as pectinas da uva, ou seja, degradam a ação das substâncias pécicas da uva, agindo favoravelmente na extração e na clarificação do suco. A extração do suco de uva ocorre depois do aquecimento e da adição da enzima, onde a uva esmagada e aquecida é enviada para o esgotador dinâmico, equipamento que separa o suco de uva na parte inferior e conduz a parte sólida à parte mais elevada, enviando-a diretamente para a prensa descontínua. O suco obtido nessa etapa apresenta-se turvo pela presença de partes da película e sais de potássio em suspensão (RIZZON; MENEGUZZO, 2007).

A etapa seguinte é a clarificação. Na Serra Gaúcha, normalmente os sucos são comercializados turvos e com um precipitado na parte inferior do recipiente. A legislação brasileira estabelece um teor máximo de 5 % de sólidos em suspensão no suco de uva. Sua clarificação pode ser obtida de diversas maneiras: despectinização, filtração, estabilização tartárica. Por ter em sua composição um teor elevado de açúcar, oferece condições especiais para o desenvolvimento de microrganismos causadores de transformações, a presença oxigênio também é um elemento prejudicial à conservação do suco. Portanto uma das maneiras de conservar o suco de uva pronto é a pasteurização. Etapa final do processo, a pasteurização caracteriza-se pelo aquecimento moderado do suco e pelo resfriamento espontâneo no recipiente utilizado para engarrafamento. O calor destrói os microrganismos e inativa as enzimas necessárias à sua sobrevivência.

3.4 RESÍDUOS DA VINIFICAÇÃO

A geração de subprodutos é inerente à produção de vinho e suco de uva. Os principais subprodutos são separados durante as etapas de esmagamento e prensagem das uvas. Na Figura 9 é apresentado o fluxograma simplificado da produção de vinhos tintos e brancos com a indicação dos pontos de geração de resíduos durante o processo. Segundo Silva (2003), os subprodutos da vinificação são caracterizados como sendo: o bagaço, as grainhas, o folhelho, o engaço, a borra e o sarro.

Figura 9 - Fluxograma simplificado da produção de vinhos tintos e brancos com a indicação dos pontos de geração de resíduos



Fonte: Adaptado de Melo (2010)

Resultante da prensagem das massas vínicas, o bagaço é o principal subproduto da vinificação, por ser o de maior volume em comparação aos demais resíduos gerados, pela sua riqueza alcoólica e tartárica e também pelo interesse econômico de alguns dos seus componentes físicos. Segundo dados da indústria, na produção de 100 litros de vinho são gerados entre 31,7 kg e 25 kg de resíduos, quantidade que varia de vinho tinto para vinho branco. Desse total, o bagaço representa aproximadamente 68 %, sendo 17 kg para vinho tinto e 21 kg para os brancos (CAMPOS, 2005). O bagaço é composto pelas partes sólidas da uva, semente, casca e certa quantidade de engaço, constituído principalmente por água,

aproximadamente 60% a 70% (FAMUYIWA; OUGH, 1982), vinho e borras, estes dependentes da prensagem, álcoois (etanol, metanol, glicerol), álcoois superiores, aldeídos, ésteres, ácidos voláteis, polifenóis e taninos, proteínas, celulose, pectinas, sais minerais e resíduos de açúcar (ORRIOLS, 1994). O aspecto visual do bagaço pode ser observado na Figura 10.

Figura 10 – Aspecto visual do bagaço



Fonte: Vedana (2017)

Apesar de uma fração do bagaço ser reutilizado para a produção de destilado de uva, bebida conhecida como grappa, a maior parte é descartada, ou utilizada como adubo e complemento de ração animal. No entanto, por obter elevada quantidade de fibra, para complemento de ração animal, o bagaço precisa ser triturado e servido com produtos complementares, o que torna inviável seu consumo em grande escala. Para adubação do solo, o uso frequente desse resíduo não é aconselhável, já que as sementes da uva apresentam biodegradabilidade lenta, não propiciando a conversão total da matéria orgânica de uma safra pra outra (FAMUYIWA e OUGH, 1982; FREITAS, 2007).

O engaço trata-se da armação do cacho de uva que sustenta o fruto. De acordo com Prozil et al. (2013), o engaço da uva é um subproduto vinícola de origem lenhocelulósica, composto por 30-31% de celulose, 21% de hemicelulose, 17-18% de lenhina, 15-16% de taninos e cerca de 6,0% de proteínas. Para Silva (2003), o engaço é a matéria prima mais pobre e de valorização mais simples. Constituem, quando separados por máquina apropriada, cerca de 3,5 e 4,5 % da massa total da vindima.

Sua composição, o torna impróprio na alimentação do gado, podendo ser utilizado como adubo, energia, combustível e produtos químicos a partir de biorefinarias.

O folhelho, de acordo com Silva (2003), é o conjunto constituído essencialmente pelas películas, após desidratação e separação das grainhas e engaços, bem como pequenos fragmentos de engaço. Na sua composição química apresentam teores de umidade inferiores a 13% proteínas superiores a 11% e celulose inferior a 22%. Esse subproduto pode ser utilizado como adubo, incorporado em alimentos compostos para animais, e também como combustível.

A semente de uva equivale a aproximadamente 22% do total de 20% do resíduo de uva, trata-se de um dos subprodutos vinícolas com maior potencial de combustão, principalmente após a secagem, podendo substituir a nafta entre outros combustíveis que apresentam alto custo também podendo ser utilizando em tecnologias como a gaseificação em virtude do seu percentual de umidade ser de aproximadamente 9%, tendo um baixíssimo teor de cinzas estimado entre 2,5 a 4% (SILVA, 2003; PERES, 2015). A quantidade de grainha (semente de uva) varia entre 0 e 4 por baga, dependendo da variedade da uva. Segundo Soares et al (2008) as sementes da uva são compostas, principalmente pelos flavonoides catequina, epicatequina, procianidinas e antocianinas, e em menores quantidades pelos ácidos fenólicos e resveratrol. As sementes são utilizadas pelo setor cosmético, em razão da presença de compostos fenólicos, como o tocoferol e vitamina E. Podem também ser utilizadas para a extração de óleo, porém apesar de apresentarem um alto teor de substâncias graxas, o rendimento em óleo é em torno de 10 – 11%.

A borra de vinho é definida pelo Regulamento (CE) 1493/99, como o resíduo que fica depositado nos recipientes que contenham vinho após fermentação ou quando da armazenagem ou após tratamento autorizado, bem como o resíduo obtido pela filtração ou pela centrifugação deste produto. “As borras apresentam-se na forma de uma massa heterogênea que se deposita após a atividade fermentativa dos mostos” (SILVA, 2003). Na Figura 11 pode-se visualizar o aspecto da borra de vinho.

De acordo com Angioni et al. (1997), uma quantidade de 140 kg de uva gera, aproximadamente, 100 L de vinho, 5,5 kg de borra com 4,5% de etanol. Considerada um subproduto valioso, as borras são formadas por: 70 a 90% de vinho, 2,5 a 4% de substâncias tartáricas (cristais de bitartarato de potássio e tartarato de cálcio), 6,5 a 7,5% de substâncias diversas que incluem os detritos vegetais (grainhas, películas e engaços), partículas de terra, mucilagens, 4 a 5% de leveduras da fermentação, sílica,

ácido pécico e pectato de cálcio, substâncias albuminóides livres e combinados com tanino, fosfato de cálcio e de bário, ácido fosfórico, sulfatos, etc. (PATO, 1998).

Figura 11 – Aspecto visual da borra de vinho



Fonte: Vedana (2017)

Através da destilação direta, as borras são capazes de recuperar seus componentes líquidos, sendo possível obter aguardente vínica ou álcool etílico. Também pode-se extrair o tartarato de cálcio, a partir do qual se obtém o ácido tartárico. Após a extração do etanol e do ácido tartárico, as borras podem ser utilizadas como fertilizantes, aproveitadas para a extração de leveduras e de matéria corante, e também para a alimentação animal (SILVA, 2003).

Segundo Ros et al. (2016), embora as borras vínicas apresentem um alto potencial em termos de biogás produzido e teor de metano, poucos pesquisadores tem estudado o seu uso, provavelmente devido a baixa quantidade que é recuperada após processo de vinificação.

Os resíduos deixados pelo vinho na parede dos seus recipientes, formando um revestimento cristalino bastante duro, são os sarros. Normalmente, são compostos por 70% de bitartarato de potássio, 10% de tartarato de cálcio e 20% de substâncias diversas. A valorização desse subproduto está justamente nesses sais, os quais a indústria purifica e obtém o hidrogenotartarato de potássio (cremor de tártaro) e sal de Rochelle (tartarato de cálcio e de potássio), ambos utilizados na indústria de bebidas, alimentos, têxtil e metalúrgica. A quantidade depositada nas pipas, é em média 0,1 kg/hL de vinho, para vinhos brancos a tendência é de valores superiores. Os sarros

são removidos por dissolução em água quente ou por vapor durante a lavagem e desincrustação das cubas e depois de secos, são de fácil conservação (SILVA, 2003; PATO, 1998).

4 TECNOLOGIAS PARA TRATAMENTO DE RESÍDUOS ORGÂNICOS DA VINIFICAÇÃO

O setor agroindustrial, durante seus processos gera grandes quantidades de resíduos, líquidos e sólidos. Como mencionado anteriormente, esses resíduos podem apresentar problemas de disposição final e alto potencial poluidor, além de representarem perdas de biomassa e nutrientes de alto valor. Atualmente existem diferentes alternativas de tratamento e disposição final desses resíduos, sendo algumas delas brevemente explicadas a seguir.

4.1 COMPOSTAGEM

A compostagem é um processo de decomposição oxidativo biológico aeróbio e controlado de transformação de resíduos orgânicos em produto estabilizado com propriedades e características diferentes do material de origem. Normalmente o processo é realizado em pátios, onde o material é disposto em pilhas de compostagem (montes de forma cônica), ou em leiras de compostagem, que são montes de forma prismática com seção aproximadamente triangular (BIDONE e POVINELLI, 1999).

No processo de compostagem a matéria orgânica passa por três fases antes de ser decomposta totalmente, a primeira é a fase fitotóxica, na qual ocorre o início da decomposição da matéria orgânica que se caracteriza pelo desprendimento de calor, vapor d'água e CO₂. A segunda fase é a semicura ou bioestabilização, que consiste na elevação gradativa da temperatura, resultante do processo de biodegradação, a população de mesófilos diminui e os microrganismos termófilos (40 - 85°C) proliferam com mais intensidade. Ao completar esta fase o composto deixa de ser danoso às plantas, porém, ainda não apresenta as características e propriedades ideais. A maturação é a fase final, denominada também como humificação, corresponde ao estágio final da degradação da matéria orgânica, quando o composto propriamente dito adquire as propriedades físicas, químicas, físicoquímicas e biológicas desejáveis (KIEHL, 1998).

As vantagens da compostagem são: menor custo de operação e manutenção, operação simples, processo menos complexo, permite aproveitamento agrícola do composto, devolve ao solo nutrientes, melhora a capacidade de infiltração de água reduzindo a erosão e evitando o uso de fertilizantes. Como desvantagens essa

tecnologia apresenta as seguintes: exigem grandes áreas, depende do mercado de composto produzido e risco de contaminação devido à infiltração de chorume.

4.2 VERMICOMPOSTAGEM

A vermicompostagem trata-se de uma tecnologia de compostagem na qual o processo digestivo das minhocas é utilizado para realizar a digestão da matéria orgânica, provocando sua degradação (KIEHL, 1985; KNÄPPER, 1990). A vermicompostagem surge como uma opção simples de reciclar restos de alimentos e obter húmus com excelentes propriedades para fertilização do solo. As minhocas promovem o arejamento dos substratos orgânicos sendo a sua função essencialmente física (KIEHL, 1985).

O composto formado na vermicompostagem traz benefícios para o solo, pois é um material rico em matéria orgânica, e a sua composição possui nutrientes essenciais para o crescimento e desenvolvimento adequado de plantas (LANDGRAF, MESSIAS e REZENDE, 2005).

4.3 ALIMENTAÇÃO ANIMAL

Os resíduos orgânicos provenientes do processo de vinificação, misturados a outras forragens, como grãos de milho, raspas de mandioca e farelo de palma, podem ser utilizados na alimentação animal, conforme testes feitos no laboratório de nutrição animal da Embrapa, e favorecem o aumento diário de peso dos animais (FIEB, 2010). Porém, para essa finalidade os resíduos deverão ser ensilados, pasteurizados, secos e moídos, para posterior utilização como complemento alimentar, seu uso *in natura* torna-se impróprio, por suas características fermentativas.

Para o uso do bagaço de uva na alimentação de ruminantes, por se tratar de um alimento volumoso e de baixo valor energético, deve ser utilizado com outros alimentos (LIMA, 1984). O bagaço de uva é formado em média por 58% de cascas, 20% de engaços e 22% de sementes. O conteúdo de fibra é diminuído, quando dessementado, e embora apresente bons teores de proteínas brutas, tem baixa digestibilidade (LOPEZ, 1977).

4.4 INDÚSTRIA FARMACÊUTICA, ALIMENTÍCIOS E COSMÉTICOS

O bagaço de uva contém compostos, como antioxidantes e ácidos graxos, que não são totalmente extraídos durante o processo de vinificação e são de interesse para as indústrias farmacêuticas, alimentícias e de cosméticos. A agregação de valor aos subprodutos de vinícolas pode ser justificada através dos valores comerciais de alguns produtos de importação feitos à base de óleo de uva e seus compostos. A destilação a vácuo, hidrodestilação, extração com solventes orgânicos, são técnicas tradicionais de extração, atualmente adotadas para obtenção de extratos de produtos naturais. No entanto, essas técnicas requerem um alto custo energético, podem deixar resíduos no produto final, além de degradarem substâncias termicamente sensíveis, pois utilizam altas temperaturas de extração ou de separação da mistura soluto-solvente (CAMPOS, 2005). Além disso, os resíduos orgânicos utilizados para essa finalidade continuarão requerendo um destino final, pois seu material volumoso não é utilizado para esse fim.

4.5 DIGESTÃO ANAERÓBIA

Esta tecnologia consiste na degradação biológica anaeróbia dos resíduos sólidos orgânicos, na presença de uma população bacteriana, em ambiente anaeróbio, produzindo biogás e proporcionando, portanto, a valorização energética dos resíduos (RAPOSO et al., 2011). O presente projeto propõe o uso da digestão anaeróbia para o tratamento dos resíduos vînicos. Deste modo o processo será detalhado no capítulo seguinte.

5 DIGESTÃO ANAERÓBIA

Dentre as alternativas de processamento de resíduos, a digestão anaeróbia apresenta-se como uma rota atrativa, pois produz subprodutos que podem agregar valor e tratar parcialmente os resíduos, mitigando impactos ambientais (GLATZ et al., 2011). Ros et al. (2016) destacam a digestão anaeróbia como um tratamento biológico bastante adequado aos resíduos vínicos, já que o tratamento estabiliza os resíduos enquanto produz o biogás, mesmo com baixos níveis de nitrogênio e fósforo. Destaca ainda, que o processo pode remover poluentes orgânicos, como polifenóis, e com o uso apropriado do biogás para geração de energia pode também reduzir as emissões de gases de efeito estufa.

A digestão anaeróbia é uma das técnicas de conversão energética da biomassa que ocorre por meio de processos naturais de fermentação. Consiste em um processo microbiológico, no qual microrganismos metanogênicos na ausência de oxigênio digerem a matéria orgânica, transformando-a em metano (CH_4) e dióxido de carbono (CO_2), principais componentes do biogás (SALOMON, 2006), sendo este passível de utilização como fonte de energia diretamente em queimadores, motores geradores, ou ainda como biocombustível veicular (XAVIER; LUCAS JÚNIOR, 2010).

Conforme Chernicharo (1997), o processo de digestão anaeróbia ocorre em quatro fases:

Hidrólise: a matéria orgânica, formada por materiais particulados complexos (polímeros) é degradada em compostos mais simples (moléculas menores), através da ação de exoenzimas liberadas pelas bactérias fermentativas hidrolíticas. Os subprodutos formados nessa fase são acetato, hidrogênio, dióxido de carbono, ácidos orgânicos de cadeia curta, aminoácidos e outros como glicose;

Acidogênese: os compostos já reduzidos são novamente simplificados, dessa vez pela ação de bactérias fermentativas acidogênicas. Os compostos produzidos incluem ácidos graxos voláteis, álcoois, ácido láctico, gás carbônico, hidrogênio, amônia e sulfeto de hidrogênio, além de novas células bacterianas;

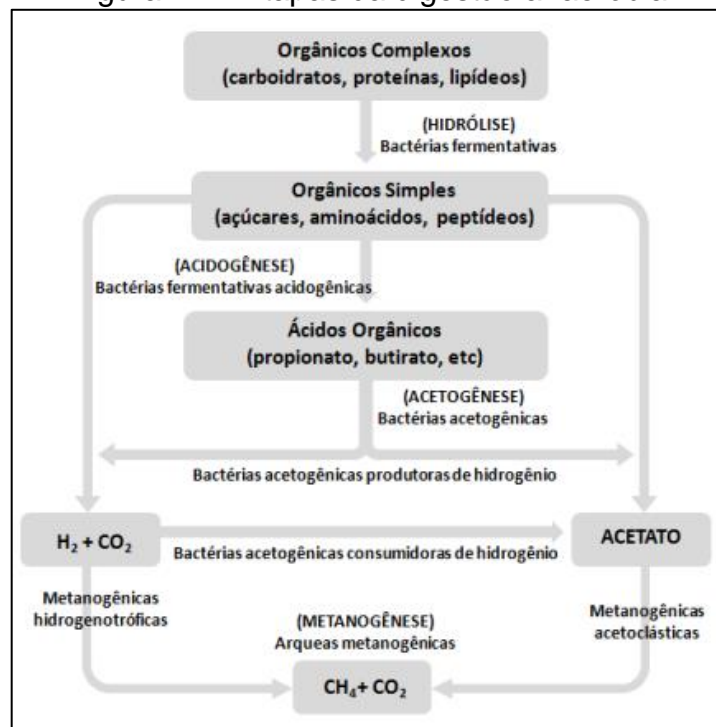
Acetogênese: as bactérias acetogênicas atuam nos produtos gerados na fase acidogênica, transformando-os em substratos apropriados para as bactérias metanogênicas, que são ácido acético (CH_3COOH), hidrogênio (H_2) e dióxido de carbono (CO_2);

Metanogênese: fase final do processo de degradação anaeróbia de compostos orgânicos em metano e dióxido de carbono é efetuada por dois grupos de bactérias metanogênicas, um que produz metano pela conversão do ácido acético (bactérias acetotróficas) e outro que o produz a partir da conversão de hidrogênio e dióxido de carbono (bactérias hidrogenotróficas).

Além das quatro fases descritas, segundo Chernicharo (1997), o processo de digestão anaeróbia pode incluir ainda, uma quinta fase, dependendo da composição química do substrato a ser tratado, trata-se da sulfetogênese. Nessa fase, o sulfato e outros compostos a base de enxofre presentes na biomassa são utilizados para a oxidação de compostos orgânicos, reduzindo-os a sulfetos. Rizzoni (2012) afirma que o enxofre é um nutriente básico e sua ausência pode inibir todo o processo, porém em teores muito elevados produz sulfeto de hidrogênio, tipicamente conhecido como gás sulfídrico, um gás venenoso, corrosivo, e que interfere na queima do metano presente no biogás.

As etapas da digestão anaeróbia podem ser verificadas na Figura 12.

Figura 12 – Etapas da digestão anaeróbia



Fonte: Chernicharo et al. (1997).

5.1 SISTEMAS DE DIGESTÃO ANAERÓBIA

Na digestão anaeróbia a biometanização de resíduos orgânicos é realizada através de uma série de transformações bioquímicas, que podem ser separadas grosseiramente em duas etapas, a primeira onde ocorre a hidrólise, acidificação e liquefação, e a segunda na qual o acetato, hidrogênio e óxido de carbono são transformados em metano. As duas etapas podem ser realizadas e divididas em estágio único, múltiplo estágio, e batelada. Segundo Reichert (2005), esta divisão sofre ainda uma subdivisão baseado no teor de sólidos totais contidos no reator, ou seja dependendo da característica do resíduo a ser tratado o processo de digestão poderá ser de Baixo Teor de Sólidos – (BTS), Médio Teor de Sólidos – (TS) ou ainda Alto Teor de Sólidos – (ATS), conforme é mostrado na Tabela 1.

Tabela 1 – Subdivisão do processo de digestão anaeróbia pelo teor de sólidos

Classificação	Faixa teor de sólidos (%)
Baixo teor de Sólidos - BTS	< 15
Médio teor de Sólidos - TS	15 - 20
Alto teor de Sólidos - ATS	22 - 40

Fonte: Adaptado de Reichert (2005).

Em sistemas de estágio único todas essas reações ocorrem simultaneamente em um único reator (VANDEVIVERE et al., 2002), podendo ser tanto para tipo BTS quanto para ATS. O processo de estágio único com BTS é atrativo devido a sua simplicidade e vem sendo utilizado como reator de mistura completa e agitação permanente. Quando utilizado com alto teor de sólidos (ATS), tem-se como produto elevada produção de biogás com tempo de detenção de 14 a 20 dias. Nos sistemas de múltiplo estágio, as etapas da digestão anaeróbia ocorrem sequencialmente em digestores separados.

Tipicamente são utilizados dois reatores, havendo no primeiro a predominância da ação dos micro-organismos hidrolíticos e formadores de ácidos e no segundo a ação das bactérias acetogênicas e metanogênicas. Sistemas de um estágio tem a vantagem de apresentarem projetos simples que sofrem menos com frequentes falhas técnicas e exigem menores custos de investimento pela sua simplicidade se comparado à sistemas com mais de um estágio (VANDEVIVERE et al., 2002).

Reatores em batelada são alimentados, submetidos às reações/digestão, posteriormente são esvaziados e carregados novamente.

5.2 FATORES QUE INFLUENCIAM NO PROCESSO DE DIGESTÃO ANAERÓBIA

Diferentes fatores podem influenciar o processo de digestão anaeróbia, estando estes relacionados com o substrato, as características do biodigestor, bem como as condições de operação. Uma vez que o processo envolve a ação simultânea de vários microrganismos que convivem em um ambiente em que o produto metabólico de um é o substrato do outro, é necessário que haja harmonia nessa interação, para que o processo funcione. Dentre os fatores de maior relevância mencionam-se os abaixo relacionados.

5.2.1 pH

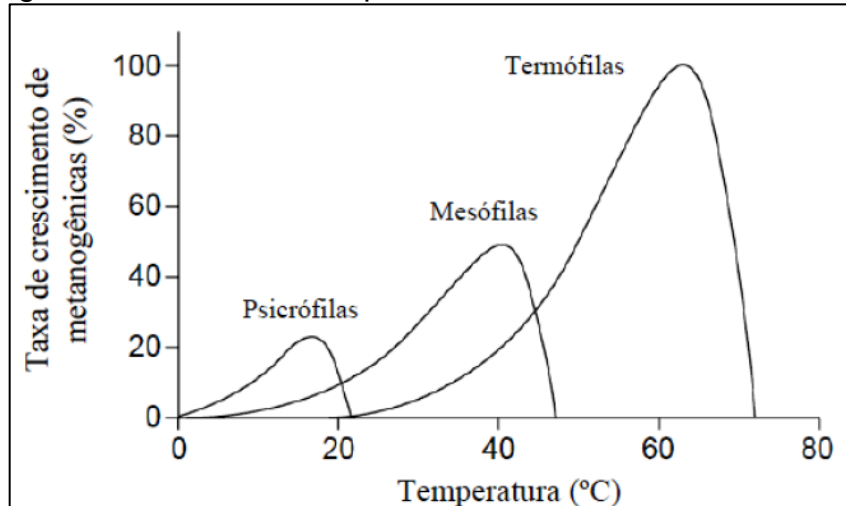
Um fator considerável no processo de digestão anaeróbia é o pH. Alterações nesse fator afetam sensivelmente os microrganismos envolvidos no processo, podendo modificar suas estruturas e conseqüentemente ocasionar a perda de suas características originais. As bactérias produtoras de metano, requerem um pH entre 6,5 e 8. Durante o processo, as bactérias hidrolíticas, fermentativas e acetogênicas trabalham em pH inferiores e produzem ácidos, os quais são consumidos pelas bactérias metanogênicas, mantendo o meio neutro. Se houver um desequilíbrio no sistema, ou seja, uma formação de ácidos superior à capacidade de assimilação das metanogênicas, o meio acidifica-se e a geração de metano acaba sendo inibida (SOSA; CHAO; RÍO, 2004). Portanto é de fundamental importância que pH seja mantido em valores próximos a neutralidade.

5.2.2 Temperatura

Dentre os fatores físicos que afetam o crescimento microbiano, a temperatura é um dos mais importantes, devido os microrganismos não possuírem meios de controlar sua temperatura interna, e essa ser determinada pela temperatura ambiente externa. Segundo Lettinga et al. (2001), na maioria dos processos biológicos, três

faixas de temperatura podem ser associadas ao crescimento microbiano, as quais são apresentadas na Figura 13.

Figura 13 – Faixas de temperatura do crescimento microbiano



Fonte: Lettinga (2001).

A formação microbiana do metano pode ocorrer em condições extremas de temperatura, de 0 a 97°C, porém para Chernicharo (1997) há dois níveis ótimos para a digestão anaeróbia, de 30 a 35°C na faixa mesófila e de 50 a 55 °C na faixa termófila. Em altas temperaturas, a velocidade da atividade microbiana é maior, e resulta em uma operação mais eficiente. Variações bruscas de temperatura afetam a população microbiológica, inibem as bactérias metanogênicas, diminuindo consideravelmente a produção de biogás. Diante disso, Parkin e Owen (1986) destacam que é mais importante impedir que variações ocorram do que operar na faixa considerada ótima.

5.2.3 Nutrientes

De acordo com Cassini (2003), os principais nutrientes requeridos pelos microrganismos são o carbono, o nitrogênio e sais orgânicos. Para uma produção eficiente de biogás, é necessário que haja o equilíbrio de compostos de carbono (que fornecem a energia), e de compostos nitrogenados (que fornecem o nitrogênio). “A relação ótima de C/N situa-se entre 20-30/1 para o início do tratamento e entre 10-13/1 para que o resíduo seja considerado estabilizado” (SGORLON et al., 2011). Uma razão C/N excessivamente alta faz com que os microrganismos consumam o nitrogênio rapidamente, resultando em uma produção de biogás baixa. O contrário,

razão C/N muito baixa, aumenta o risco de inibição por amônia, essa que é tóxica e causa utilização insuficiente das fontes de carbono.

Para Chernicharo (1997), além de carbono e nitrogênio, outros nutrientes ainda são necessários para o crescimento dos microrganismos, tais como: fósforo, potássio, enxofre, cálcio, magnésio, ferro, níquel, cobalto, molibdênio, zinco, manganês e cobre.

5.2.4 Tempo de retenção

É o tempo necessário para que um substrato seja completamente digerido no biodigestor. Seu valor está relacionado com a taxa de crescimento das bactérias e depende da temperatura do processo, composição do substrato e quantidade de sólidos voláteis alimentados. Para ter uma produção máxima e constante de metano, o ideal é que se tenha uma taxa de carga orgânica reduzida e um longo tempo de retenção (MAO et al., 2015).

Conforme Raposo et al. (2011), nos primeiros 8-10 dias, cerca de 80 a 90% do potencial de metano é produzido, e na maioria das situações, 30 dias é o tempo de retenção suficiente para que o substrato seja completamente digerido. Um tempo de retenção curto pode promover o *washout* de bactérias ainda ativas, já tempos longos requerem um biodigestor de maior volume, o implica em gastos maiores (YADVIKA et al., 2004).

5.2.5 Teor de umidade e concentração de sólidos totais

O teor de água presente no substrato a ser digerido é outro fator que deve ser considerado. “O material a ser fermentado deve possuir em torno de 90 a 95% de umidade em relação ao peso, valores muito acima ou muito abaixo destes limites podem prejudicar a produção de biogás” (NETO et al., 2010). Em função do teor de umidade, os processos de metanização são definidos como: processos de metanização via úmida (< 5% ST); via semi-seca (10 – 20% ST); e via seca (> 20 % ST) (BAERE, 2000; FOSTER-CARNEIRO et al., 2008; LI et al., 2011; NAGAO et al., 2012). Os teores de umidade influenciam, principalmente, as taxas transferência de metabólitos entre as fases acidogênicas e metanogênicas e, conseqüentemente, os rendimentos de produção de metano.

5.3 BIOGÁS

Conforme já citado, o biogás é o produto resultante da digestão da matéria orgânica, na ausência de oxigênio. É parte importante do ciclo do carbono, constituindo-se como fonte alternativa de energia, de fácil utilização, com simultânea remoção e estabilização das cargas poluentes de efluentes orgânicos (NETO et al., 2010).

Prati (2010) descreve o biogás como uma mistura de gases, os quais variam de acordo com as características dos substratos e das condições de funcionamento do processo de digestão. A mistura é constituída principalmente por metano (CH_4) e dióxido de carbono (CO_2), encontrando-se ainda em menores proporções o ácido sulfídrico (H_2S) e nitrogênio (N_2) (CASTAÑON, 2002). Na Tabela 2 é apresentada a composição aproximada do biogás.

Tabela 2 – Composição aproximada do biogás

Gás	Porcentagem (%)
Metano (CH_4)	40-75
Dióxido de carbono (CO_2)	25-40
Nitrogênio (N_2)	0,5-2,5
Oxigênio (O_2)	0,1-1
Ácido sulfídrico (H_2S)	0,1-0,5
Amônia (NH_3)	0,1-0,5
Monóxido de carbono (CO)	0-0,1
Hidrogênio (H_2)	1-3

Fonte: Castañon (2002).

Índia e China foram os primeiros países a utilizarem o processo de biodigestão com finalidade energética, nas décadas de 50 e 60 (NOGUEIRA, 1986). Na década de 1970, de acordo com Boletim Enfoque (1999), a tecnologia da digestão anaeróbia foi trazida ao Brasil, porém os benefícios obtidos a partir dos biodigestores implantados na região nordeste, não foram suficientes para dar continuidade aos programas e os resultados não foram muito satisfatórios.

O biogás já foi considerado simplesmente um subproduto da decomposição anaeróbia de resíduos orgânicos. Com o acelerado desenvolvimento econômico dos últimos anos e a alta do preço dos combustíveis convencionais, tem se incentivado

pesquisas na produção de energia a partir de novas fontes renováveis e economicamente atrativas, como o biogás (VILLELA; SILVEIRA, 2005).

O biogás surge como um potencial combustível para geração de energia e pode ser utilizado com os mesmos padrões do gás natural fóssil, quando purificado (MIYAWAKI, 2014). Pode ser considerado como uma fonte renovável de energia e de custo relativamente baixo, tendo sua produção através de rejeitos urbanos, esgoto e resíduos agroindustriais, apresentando-se como uma importante alternativa energética, em condições de desempenhar expressivo papel na substituição do petróleo e de seus derivados (FERRAREZ; FILHO; TEIXEIRA, 2010).

De acordo com Rego e Hernandez (2006), a pureza do biogás é avaliada pela presença do metano. Quanto maior o percentual de metano, mais puro é considerado o biogás, logo, o poder calorífico do biogás tem relação direta com a porcentagem de metano presente na mistura gasosa, e esta varia entre 40% e 75%. “Em função da porcentagem com que o metano participa na composição do biogás, o poder calorífico deste pode variar de 5.000 a 7.000 kcal por metro cúbico. Esse poder calorífico pode chegar a 12.000 kcal por metro cúbico uma vez eliminado todo o gás carbônico da mistura” (DEGANUTTI et al., 2002). Nesse sentido, a equivalência energética do biogás em relação a outros combustíveis é determinada de acordo com o poder calorífico e a eficiência média de combustão. Na Tabela 3 é apresentada a relação comparativa de equivalência de um metro cúbico de biogás, com composição média de 65% de metano, com outros energéticos usuais, consultadas em quatro fontes.

Tabela 3 – Relação comparativa do biogás com outros energéticos

Energético	Nogueira (1986)	Motta (1986)	Ferraz e Marriel (1980)	Moraes et al. (2014)
Gasolina (L)	0,61	0,70	0,61	0,61
Querosene (L)	0,62	-	0,58	-
Óleo Diesel (L)	0,55	-	0,55	0,55
GLP (L)	1,43	0,40	0,45	-
Etanol (L)	0,80	-	-	0,79

Fonte: Adaptado de Oliveira (2009) e Moraes et al. (2014).

A formação do gás metano se dá por um processo biológico natural, que ocorre com a decomposição da matéria orgânica (biomassa) na atmosfera úmida, em condições anaeróbias, porém na presença de bactérias metanogênicas ativas.

Portanto, pode ser encontrado em depósitos geológicos, que são conhecidos como campos de gás natural, geleiras, em pântanos e em lugares que possuem baixa concentração de oxigênio. O CH₄ é um gás incolor, inodoro, de baixa solubilidade em água e rico em energia química e, por isso, pode ser utilizado como combustível (NETO et al., 2010).

Diante da importância e dos benefícios do biogás, em 2013 uma iniciativa conjunta entre Brasil e Alemanha, através do Projeto-Alemanha de Fomento ao Aproveitamento Energético do Biogás no Brasil (PROBIOGÁS), teve como objetivo ampliar o uso energético eficiente do biogás em saneamento básico e em iniciativas agropecuárias e agroindustriais, e reduzir as emissões dos gases indutores do efeito estufa. O projeto foi encerrado em 2016, e durante os três anos de duração houve um aumento expressivo da movimentação em relação ao tema. O projeto deixou como legado a implementação de projetos de escala considerável, o nascimento e engajamento de associações que abordam o tema e a proposição de uma proposta de política pública para o biogás e biometano por parte da sociedade civil (SNSA, 2016).

5.4 SISTEMAS DE GERAÇÃO DE BIOGÁS

Para produção de biogás é necessário a utilização de biodigestores, os quais são constituídos de uma câmara/reator hermeticamente fechado onde ocorre a degradação do substrato (biomassa) por meio da biodigestão anaeróbia, produzindo o biogás, que se acumulará na parte superior da referida câmara, e biofertilizante (DEGANUTTI et al., 2008). Segundo Gaspar (2003), os modelos de biodigestores são vários, mas em geral, todos são compostos, basicamente, de duas partes: um recipiente (tanque) para abrigar e permitir a digestão da biomassa, e o gasômetro (campânula), para armazenar o biogás.

Quando bem projetado, o biodigestor funciona como um equipamento em que ocorre a fermentação da matéria orgânica de forma controlada, possibilitando a redução das cargas orgânicas da biomassa, e como consequência menor impacto ambiental na disposição das mesmas, além da geração de combustível de baixo custo (BARICHELLO et al., 2015).

Os biodigestores, além de serem necessários para produzir o biogás, amenizam os odores dos dejetos, diminuem a proliferação de insetos e roedores, e

contribuem para uma aparência mais limpa de sistemas de produção animal ou processos que envolvem a geração de outros tipos de resíduos orgânicos (XAVIER; LUCAS JUNIOR, 2010). A utilização de biodigestores pode ser destacada devido aos aspectos de saneamento e energia, além de estimular a reciclagem de nutrientes (BARICHELLO et al., 2015).

As tecnologias usuais diferenciam-se em reatores de digestão anaeróbia seca (ST > 20%) e úmida (ST < 15%). Publicações do PROBIOGÁS destacam diferentes tecnologias de sistemas de geração de biogás: Reatores de mistura contínua (CSTR), Lagoas anaeróbias cobertas, Reatores de metanização seca – processo contínuo, Reatores de metanização seca – processo descontínuo, Reator anaeróbio de manta de lodo (UASB) e Digestores de lodo. Cada tecnologia adaptada a uma realidade e necessidade de biogás, sendo mais indicados para resíduos sólidos, os CSTR, e reatores de metanização seca.

5.4.1 Reatores de mistura contínua (CSTR)

Tecnologia bastante utilizada, os reatores de mistura contínua (*Continuous Flow Stirred Tank Reactor* – CSTR) representam uma tecnologia padrão para a digestão anaeróbia de substratos mais densos, com concentrações de sólidos totais em torno de 15%. O CSTR é baseado no fluxo semi-contínuo de entrada de substrato e mistura de forma contínua e otimizada nos digestores, que trabalham em temperatura controlada, e geram uma alta produção de biogás. Normalmente são utilizados nos setores de agropecuária e indústria diversas, no tratamento de lodos sanitários, e com menor frequência para resíduos domiciliares. Os resíduos tratados nesse tipo de reator devem ser livres de impurezas e com umidade suficiente para o processo, a presença de impurezas pode danificar e desgastar o equipamento (SNSA, 2015; SEBIGÁS-CÓTICA, 2018). Conforme SNSA (2015), o sistema CSTR, é classificado em duas versões:

- **Versão básica:** aplicável ao tratamento de dejetos animais trata-se de equipamentos periféricos, de construção, operação e manutenção relativamente simples.
- **Versão avançada:** processo construtivo mais elaborado, nos os quais os reatores possuem maior altura e misturador central, que por sua vez exigem maiores investimentos em equipamentos, e conseqüentemente um custo

operacional maior. Aplicável a substratos complexos com altas cargas orgânicas.

Existem ainda os CSTR bifásicos, os quais se baseiam no processo de digestão anaeróbia realizado em duas etapas consecutivas, e apresentam duas opções de configuração. Em uma das opções, a hidrólise é realizada no pré-digestor, enquanto o reator principal é utilizado para a realização da metanogênese (Figura 14). “A outra opção é utilizar pós-digestão, que fornece ganhos mais elevados de energia com tempos de retenção menores no digestor principal” (SNSA, 2015).

Figura 14 – CSTR bifásico



Fonte: SNSA (2015).

É possível operar os reatores CSTR, com cargas volumétricas máximas de 7 kg de STV/m³ de volume do reator. O tempo de retenção hidráulico depende da degradabilidade do substrato e da temperatura no interior do reator, sendo esse geralmente maior que 20 dias. Sendo assim, a produtividade do reator varia de 0,7 a 6 m³ de biogás/(m³ volume de reator x d) (SNSA, 2015).

Os CSTR são indicados para substratos simples e homogêneos, que não tenham necessidade de pré-tratamento e processo de higienização. São aplicáveis para usinas a partir de 100 kW. “Os reatores CSTR são a tecnologia mais difundida internacionalmente para a digestão de substratos complexos com alto valor energético e podem ser considerados como o estado da arte da tecnologia” (SNSA, 2015).

5.4.2 Reatores de metanização seca – processo contínuo

Para o tratamento de grandes volumes de substratos com pouca umidade, como resíduos sólidos urbanos e industriais, os reatores de metanização seca são de grande importância. Os reatores baseados em processo seco contínuo operam com sólidos totais de entrada entre 20 e 35%. Podem ser construídos de forma horizontal ou vertical, com homogeneização por meio de misturadores mecânicos, recirculação de material ou injeção de biogás comprimido.

Em sistemas contínuos, o processo de metanização não é interrompido, a alimentação do reator é feita de forma intermitente, ao mesmo tempo que se retira o material digerido, tendo como resultado vazão e produção de gás constante. Os reatores mais comuns são os que funcionam pelo princípio de fluxo horizontal ou pistão. O material digerido resultante geralmente possui uma concentração de sólidos inferior a 20%, tornando-se a principal desvantagem do processo, sendo necessária uma etapa posterior de desaguamento, gerando uma fração sólida e outra líquida (SNSA, 2015).

5.4.3 Reatores de metanização seca – processo descontínuo

Processo denominado também como extrasseco, a metanização seca descontínua é realizada em reatores do tipo “garagem” ou “túneis”. Em relação ao sistema contínuo, a principal diferença está no fato da digestão ser realizada em processo com início e fim, tendo interrupção para remoção do material digerido, fazendo com que a vazão e produção de biogás também sejam interrompidas. Este processo não exige homogeneização ou mistura do substrato, evitando desgaste de peças móveis e equipamentos mecânicos, em geral, devido à fricção com materiais impróprios, comuns em resíduos sólidos urbanos. Apresenta como vantagens em relação ao processo contínuo no que se refere à preparação do substrato, monitoramento e controle do processo. Porém, pelo fato de ser descontínuo e a mistura do substrato ser menor, a taxa de geração de biogás também é menor. Frente aos demais processos, apresenta a vantagem de gerar uma pequena ou nula taxa de efluente líquido, além de o material digerido ser em estado sólido que pode ser direcionado diretamente à compostagem (SNSA, 2015).

5.5 SISTEMA ADOTADO

Para a definição do sistema a ser adotado neste projeto, foram avaliadas as vantagens e desvantagens (Quadro 1) dos três sistemas mais indicados para resíduos sólidos.

Após avaliação dos sistemas, optou-se pela utilização de reatores de metanização seca – processo descontínuo, tipo garagem, por ter menor ou nula geração de efluente e também por se tratar de um sistema de operação e monitoramento simplificado. Esse sistema se caracteriza pela sua construção em forma de túneis, ou garagens, operando em bateladas sequenciais, ou seja, as garagens são sequencialmente abertas, esvaziadas e alimentadas com os resíduos. Trata-se de um processo de digestão anaeróbia via seca, operado na faixa mesofílica, sendo o reator disposto na horizontal, de formato retangular, construído geralmente em concreto armado.

O sistema de alimentação e extração é realizado via pá carregadeira. O resíduo permanece no interior do reator pelo período total de metanização. A recirculação do lixiviado realizada como sistema auxiliar, o mesmo é direcionado a um reator de líquido para posterior reintrodução no processo, via aspersão no material em digestão. No interior dos túneis não existe sistema de agitação, sendo o processo otimizado com a recirculação do lixiviado (SNSA, 2015). Terminado o processo de metanização, uma certa quantidade de ar é injetada no reator de forma a eliminar o metano presente, minimizando riscos de explosão durante a abertura do reator para a retirada do material digerido.

Quadro 1 – Vantagens e desvantagens dos sistemas de geração de biogás

Sistema	Vantagens	Desvantagens
Reatores de mistura contínua – CSTR	Alta taxa de produção de gás	Necessidade de preparação do substrato
	Alta estabilidade de processo	Geração de efluente excedente a ser tratado
	Controle das emissões de metano	Desgaste dos equipamentos mecânicos
	Material digerido utilizável na agricultura	O fluxo homogeneizado exige volume de armazenamento
Reatores de metanização - processo contínuo	Maior eficiência energética.	Necessidade de preparação do substrato
	Alta estabilidade do processo	Desgaste dos equipamentos mecânicos
	Controle das emissões de metano	Os custos de investimento, por conta das maiores exigências tecnológicas envolvidas, são mais elevados do que os do sistema seco descontínuo
Reatores de metanização - processo descontínuo	Pouca ou nenhuma preparação do substrato	Maiores emissões de metano, com conseqüente menor aproveitamento energético
	Baixa utilização de energia e equipamentos	Pouca ou nula geração de efluente excedente a ser tratado
	Tecnologia modular	Grande quantidade de resíduo gerado
	Menor demanda de monitoramento e controle do processo	Menor eficiência na geração de biogás
	Após a extração, o material digerido pode ser encaminhado para compostagem	Necessidade de maiores áreas
	Não exige homogeneização ou mistura e, por esse motivo, o equipamento não está sujeito a desgaste	
	Processo otimizado com a recirculação do lixiviado	

Fonte: Adaptado de SNSA (2016).

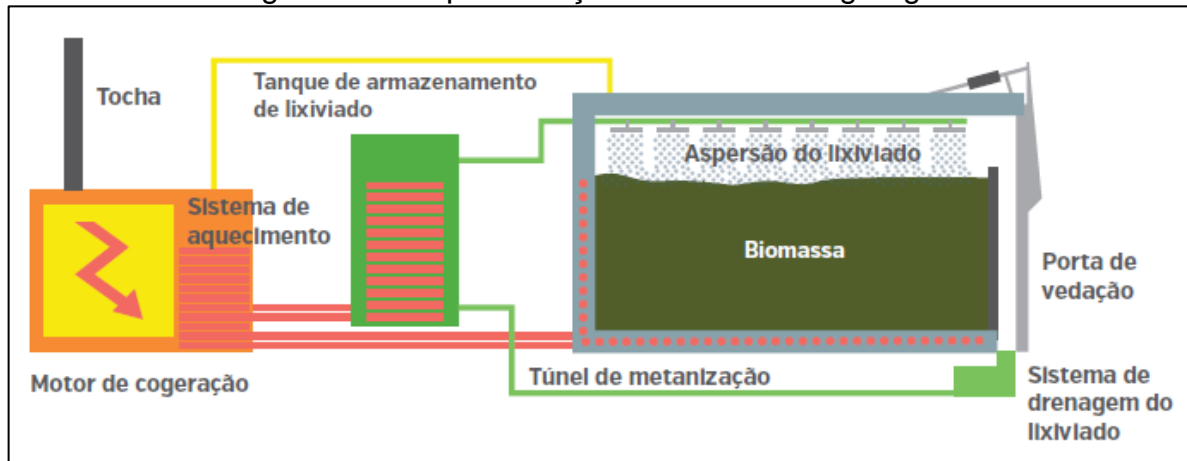
Após a extração, o material digerido pode ser encaminhado para compostagem, onde o processo de estabilização é finalizado (SNSA, 2015). A representação do sistema encontra-se na Figura 15.

5.6 ENSILAGEM

Ensilagem é o processo de enchimento, compactação e vedação do silo. A fase da ensilagem é um dos momentos mais críticos de todo o processo de confecção da silagem, pois se refere às boas práticas de acondicionamento, armazenagem e

vedação do silo para garantir a fermentação adequada, a conservação e a manutenção da qualidade da biomassa.

Figura 15 – Representação do sistema de garagem



Fonte: SNSA (2015)

Os silos cobertos com membrana, geralmente utilizados para alimentação animal, são estruturas nas quais diferentes substratos podem ser armazenados por um longo período. Podem ser estocados, compactados (para eliminação do oxigênio) e cobertos por membranas, substratos orgânicos sólidos com teores de sólidos totais entre 28 e 40%, aproximadamente. Esse processo faz com que os carboidratos solúveis sejam convertidos, por fermentação anaeróbia, em ácidos orgânicos, como os ácidos láctico, acético e butírico. Para que a multiplicação de organismos indesejáveis, responsáveis pela deterioração do material, como *Clostridium*, seja inibida, o pH deve ser reduzido rapidamente para níveis em torno de 4,0. Desta forma, o substrato pode ser conservado por longos períodos de tempos, sem perder seu potencial energético (SNSA, 2016).

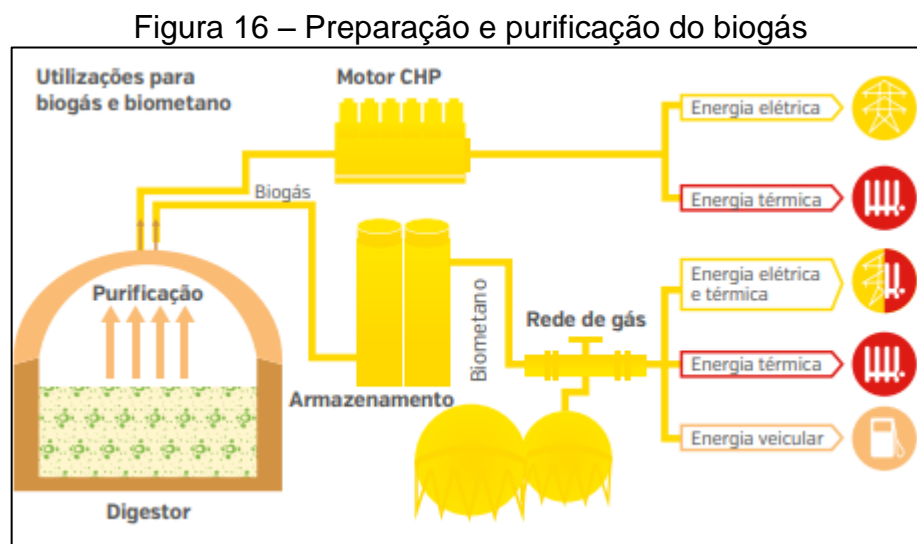
A ensilagem de biomassa exige conhecimentos técnicos específicos e treinamento dos operadores. Sua utilização tem como vantagem a possibilidade de preservar o conteúdo energético de um substrato sazonal por longos períodos, até mesmo um ano, para que possa ser ministrado no sistema de alimentação da planta de biogás (SNSA, 2016). Esse processo já é utilizado em algumas plantas de biogás. Na Alemanha, a ensilagem é realizada para conservação quando se usa o milho como biomassa. Já a Viña San Pedro, localizada no Chile, faz uso da ensilagem para conservar os resíduos do processo de vinificação para posterior tratamento anaeróbio em biodigestores (PRS, 2018; CAMPUS TV, 2016).

5.7 TECNOLOGIAS PARA O APROVEITAMENTO DO BIOGÁS

As principais opções de aproveitamento energético do biogás, consideradas pelo SNSA (2015) tecnicamente amadurecidas e comprovadas na prática são:

- Motores a gás estacionários (CHP) para gerar energia elétrica e térmica;
- Caldeiras a gás para gerar energia térmica;
- Injeção na rede de gás natural através da purificação do biogás a biometano, possibilitando posterior aproveitamento como energia elétrica, térmica e energia veicular.

A partir de uma visão generalizada, a preparação e purificação do biogás dependem do aproveitamento desejado, conforme mostrado na Figura 16.



Fonte: SNSA (2015).

5.7.1 Motores de cogeração CHP

A geração de eletricidade com o biogás corresponde a cogeração, pois é capaz de gerar energia elétrica e calor. Para isso, geralmente são utilizados motores à combustão com gerador de eletricidade que, por produzirem calor, podem ser utilizados como CHP. Os equipamentos mais utilizados comercialmente para a geração de energia elétrica são os motores a combustão interna e microturbinas, projetados ou adaptados para operar com biogás como combustível (SNSA, 2015; PERECIN, 2017).

Em plantas de biogás, os principais motores utilizados são os motores ciclo Otto e os motores com ignição a compressão, chamados ciclo Diesel. Ambos são motores a combustão interna, onde a transformação de energia química em mecânica ocorre através da queima da mistura ar-combustível que eleva a temperatura e a pressão dos gases, cuja expansão movimenta os pistões, posteriormente o movimento aciona geradores de energia elétrica. Com esses motores é possível a utilização de diversos tipos de combustíveis, líquidos ou gasosos (FIGUEIREDO, 2011; LOBATO, 2011).

Os motores se diferenciam pelo seu funcionamento, nos motores ciclo Otto a combustão é iniciada por centelha, produzida por uma vela de ignição. Já no ciclo Diesel a combustão ocorre espontaneamente na presença de combustível, através da pressão gerada pelo ar que é admitido na câmara de combustão (LOBATO, 2011; PECORA, 2006).

5.7.2 Caldeiras de biogás

“As caldeiras apresentam-se como outra possibilidade de utilização do biogás para a produção de calor que ocorre por meio da queima em sistemas de aquecimento, que se apresentam em três tipos” (SNSA, 2015):

- Queimadores atmosféricos: são utilizados para potência elétrica de até 35 kW. Através da força de sucção gerada pelo fluxo do gás, o ar é direcionado até a câmara de combustão, onde se misturam e é realizada a ignição eletricamente.
- Queimadores com ventilador: o ar é recebido para a queima com alta pressão pelo ventilador. Para potência térmica de até 10 MW, são utilizados queimadores de bloco único com ventilador integrado no bloco, no caso de potência maior, de até 30 MW, é instalado separadamente o ventilador. A ignição é realizada através de chama no bloco e com queimador de baixa carga no caso das potências menores, já em potências maiores os queimadores de ignição são instalados separadamente.
- Queimadores tipo lança com ou sem atomização de pressão do vapor (até 150 MW), são adequados especialmente para lareiras de combustão curtas, instaladas, frequentemente, em um conjunto de caldeiras combinadas de carvão/óleo/gás natural.

5.7.3 Biometano como substituto ao gás natural

A realização do processo de purificação, que visa ampliar a concentração de metano no biogás, é necessária para que o biogás possa ser utilizado como biometano. Através da purificação, o biogás equipara-se ao gás natural, possibilitando seu uso em instalações comerciais, industriais e em veículos (SNSA, 2015).

Para que biogás possa ser utilizado como biometano, existe a necessidade de remoção de alguns de seus componentes: umidade, ácido sulfídrico (H_2S), dióxido de carbono (CO_2) e partículas (ICLEI, 2010), a fim de atender à composição mínima requerida pela normativa no Brasil. A remoção de CO_2 do biogás é uma operação unitária em que um componente da mistura é dissolvido em um líquido. Esta operação pode ser química ou física. Entre os métodos químicos estão a absorção em carbonato de potássio, hidróxido de cálcio, hidróxido de sódio, entre outros. Entre os métodos físicos, destacam-se os crivos moleculares, separação por membranas e colunas de absorção. Os métodos físicos são os mais conhecidos e utilizados devido à fácil regeneração dos reagentes utilizados na absorção (ICLEI, 2010).

Além da purificação, para que a injeção de biometano possa ser feita em redes de gás natural, é exigido também a odorização, com o objetivo de evitar riscos aos usuários e operadores. Para a injeção em tubulações de abastecimento veicular, não é necessária a odorização, uma vez que esse gás não é distribuído ao consumidor final.

5.8 APROVEITAMENTO DO BIOGÁS PARA ENERGIA ELÉTRICA

A conversão de biogás em energia elétrica, de acordo com Jordão e Pessôa (2011) pode ser realizada de diversas formas, dentre elas destacam a utilização de motores de combustão interna, turbinas e microturbinas a gás e células combustíveis. As tecnologias mais utilizadas são os motores de combustão interna ciclo Otto e as microturbinas a gás (PRATI, 2010).

Na Tabela 4 é apresentada a eficiência na geração de energia elétrica das principais tecnologias que podem utilizar biogás como combustível.

Tabela 4 – Eficiência das principais tecnologias para a geração de energia elétrica utilizando biogás

Tecnologia	Eficiência (%)
Motor a combustão	30 – 42
Turbina a gás	25 - 38
Microturbina a gás	24 – 26
Célula combustível	38 – 42

Fonte: Jordão e Pessôa (2011).

Os motores de combustão interna são equipamentos que transformam energia térmica de um combustível em energia mecânica através do acionamento de pistões confinados em cilindros, sendo a energia elétrica obtida através de geradores acoplados aos motores. Os ciclos de operação Otto e diesel são os que são utilizados comumente (JORDÃO E PESSÔA, 2011). O ciclo de motor a diesel é mais robusto e apresenta menor custo para uma mesma potência, quando comparado ao motor de ciclo Otto. A tecnologia de motores de combustão interna, possui um fator contrário a sua utilização, que é a elevada poluição atmosférica causada, pois a combustão realizada nos motores emite altas concentrações de CO₂ e NO_x, no entanto, estas podem ser controladas (JORDÃO E PESSÔA, 2011).

As turbinas são equipamentos compostos por compressor, câmara de combustão e turbina de expansão, nas quais a produção da energia ocorre através da geração de uma reação exotérmica de alta pressão que transfere energia química do combustível para o gás, que é expandido na turbina, de onde a energia mecânica é extraída para que o compressor e a carga acoplada ao eixo sejam acionados (JORDÃO E PESSÔA, 2011). As microturbinas são mais utilizadas para capacidades de produção menores, 70 a 250 kW e tem como principal vantagem, frente aos motores de combustão de interna, a baixa emissão atmosférica, entretanto apresentam elevados custos e um tempo de vida útil baixo operando com biogás (PRATI, 2010).

5.9 DIGESTATO

Além do biogás, a biomassa depois de fermentada, também produz o digestato, que é a matéria digerida dentro do fermentador, depois de um período de retenção, é encaminhado para o processo de separação de fases e utilizado como biofertilizante.

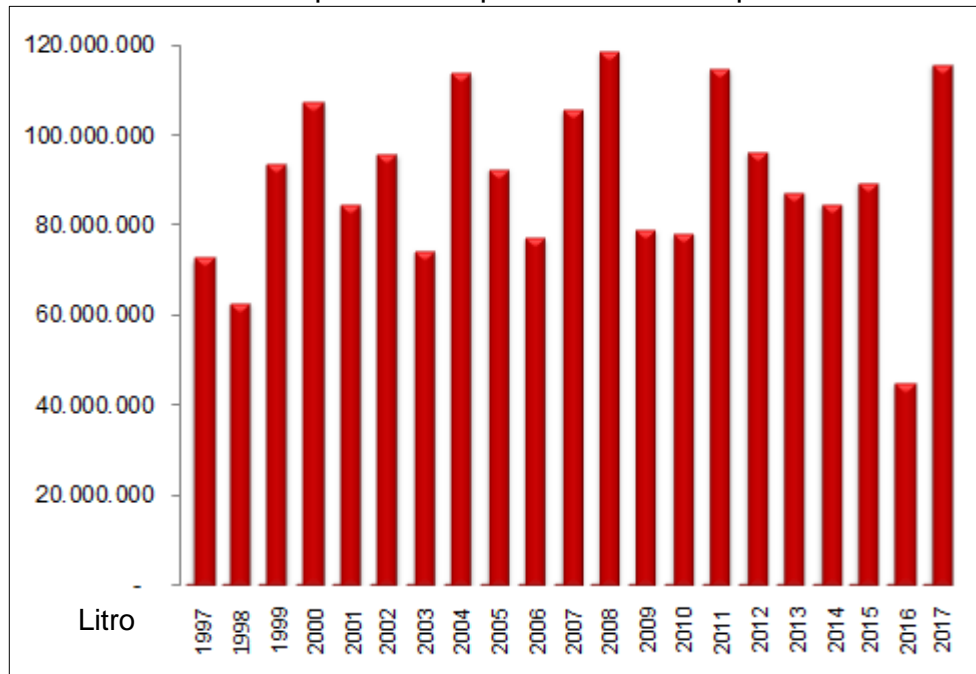
O biofertilizante proporciona a multiplicação das bactérias, que amplia a microbiota do solo, ocasionando aumento significativo na produtividade das lavouras. A composição do biofertilizante pode variar de acordo com o tipo de biomassa utilizada no biodigestor (SNSA, 2015; OLIVEIRA, 2011). Seu uso é indicado para a fertilização, pois sua aplicação em solo melhora as qualidades biológicas, químicas e físicas do mesmo (BARRICHELLO, et al., 2015). Em solos agrícolas, a utilização de biofertilizante aumenta o volume e a qualidade de adubo orgânico, e promove a devolução de produtos ao solo (NETO et al., 2010).

6 ESTUDO DE CASO

A fim de analisar a viabilidade da geração de energia através do biogás produzido na digestão anaeróbia de resíduos provenientes do processo de vinificação das indústrias vinícolas, realizou-se um estudo de caso, no qual uma planta de geração de energia a partir de digestores anaeróbios foi projetada. Este estudo de caso dividiu-se em três etapas, sendo a primeira a concepção do sistema de digestão anaeróbia e de aproveitamento do biogás para geração de energia, a segunda, o dimensionamento do sistema concebido, e a terceira a análise de viabilidade econômica da aplicação do sistema proposto em comparação com as demais tecnologias utilizadas para o tratamento de resíduos.

Para as estimativas e cálculos de projeto, optou-se por utilizar dados da produção de 2017, visto que se trata de um mercado com bastante oscilação e difícil previsão para anos futuros, conforme constatado através do gráfico apresentado na Figura 17.

Figura 17 – Litros de vinho produzidos por ano no município de Flores da Cunha



Fonte: Autor utilizando dados de AGAVI (2018).

6.1 ÁREA DE IMPLANTAÇÃO

A área selecionada para implantação do projeto está localizada na zona rural do município de Flores da Cunha, cujo terreno conta com uma área de aproximadamente 15.000 m². A escolha do local levou em conta parâmetros técnicos das normas federais, estaduais e municipais, aspectos legais nas três esferas governamentais, plano diretor do município, área total necessária, e também a localização a fim de facilitar a logística do transporte dos resíduos.

Avaliaram-se três possíveis áreas (Prancha 1, em Apêndice B), sendo que esta análise foi baseada no método de priorização dos critérios de seleção, de IBAM 2001, utilizado na seleção de área para aterro sanitário. Os principais critérios considerados adequados para a escolha do local para a instalação da planta de tratamento anaeróbio são apresentados no Quadro 2.

No Quadro 3 é apresentada a priorização dos critérios de seleção.

No método utilizado, para cada prioridade é atribuído um peso, conforme apresentado no Quadro 4.

A avaliação e pontuação para cada uma das três áreas, está disposta no Quadro 5.

Com base na avaliação das áreas, a área 3 apresentada nas Pranchas 2 e 3 em Apêndice B, é a mais indicada para a instalação da planta de tratamento anaeróbio, por apresentar o atendimento da maior parte dos critérios considerados. Há de considerar ainda que no estudo da escolha da área deverão ter os seguintes estudos e/ou documentos:

- Certidão da Prefeitura Municipal
- Planta de situação
- Planta de localização
- Laudo de Cobertura Vegetal
- Laudo de Fauna
- Caracterização Geológica
- Caracterização Geotécnica
- Caracterização Hidrogeológica
- Anuência do Órgão Gestor da Unidade de Conservação Municipal
- Atestado da concessionária de abastecimento de água

Quadro 2 – Critérios considerados adequados para a escolha do local para a instalação da planta de biogás

Critérios de seleção	
Critério	Observação
Técnicos	
Uso do solo	Áreas localizadas em região onde o uso do solo seja rural ou industrial e fora de qualquer Unidade de Conservação Ambiental.
Supressão de vegetação	É desejável área que necessite menor supressão vegetal.
Proximidades a cursos d'água relevantes	As áreas não podem se situar a menos de 200 metros de corpos d'água relevantes, tais como, rios, lagos, lagoas e oceano. Também não poderão estar a menos de 50 metros de qualquer corpo d'água, inclusive valas de drenagem que pertençam ao sistema de drenagem municipal ou estadual.
Proximidade a núcleos residenciais urbanos	As áreas não devem se situar a menos de mil metros de núcleos residenciais urbanos que abriguem 200 ou mais habitantes.
Facilidade de acesso a veículos pesados	O acesso ao terreno deve ter pavimentação de boa qualidade, sem rampas íngremes e sem curvas acentuadas, de forma a minimizar o desgaste dos veículos coletores e permitir seu livre acesso ao local de descarga.
Econômico-Financeiros	
Distância geométrica de coleta	É desejável que o percurso entre os pontos de coleta e a planta de biogás, através das ruas e estradas existentes, seja o menor possível, com vistas a reduzir o seu desgaste e o custo de transporte dos resíduos.
Custo de aquisição do terreno	O terreno deverá estar, preferencialmente, em área rural, uma vez que o seu custo de aquisição será menor do que o de terrenos situados em áreas industriais.
Custo de investimento em construção e infraestrutura	É importante que a área escolhida disponha de infraestrutura completa, reduzindo os gastos de investimento em abastecimento de água, coleta e tratamento de esgotos, drenagem de águas pluviais, distribuição de energia elétrica e telefonia.
Político-Sociais	
Aceitação da população	É desejável a aceitação da população vizinha, a fim de evitar reações negativas à instalação da planta de biogás.
Acesso às áreas através de vias com baixa densidade de ocupação	O tráfego de veículos transportando resíduos é um transtorno para os moradores das ruas por onde estes veículos passam, sendo desejável que o acesso à área da planta passe por locais de baixa densidade demográfica.

Fonte: Adaptado de IBAM (2001).

Quadro 3 – Priorização dos critérios de seleção

Critério	Prioridade
Atendimento às exigências do órgão de controle ambiental e à legislação ambiental em vigor	1
Atendimento aos principais condicionantes econômicos	2
Atendimento aos principais condicionantes técnicos	3
Atendimento aos demais condicionantes econômicos	4
Atendimento aos demais condicionantes técnicos	5
Atendimento aos condicionantes político-sociais	6

Fonte: Adaptado de IBAM (2001).

Quadro 4 – Peso das prioridades dos critérios

Prioridade dos critérios	Peso
1	10
2	7
3	6
4	5
5	2
6	1
Tipo de atendimento	Peso
Total	100%
Parcial com obras	50%
Não atendido	0%

Fonte: Adaptado de IBAM (2001).

Quadro 5 – Avaliação e pontuação das áreas

Critério	Pontos da prioridade	Pontos do atendimento			Pontuação das áreas		
		Área 1	Área 2	Área 3	Área 1	Área 2	Área 3
Proximidade a cursos d'água	10	50	100	100	5	10	10
Uso do solo	10	100	100	100	10	10	10
Supressão vegetal	10	0	50	50	0	5	5
Proximidade a núcleos residenciais	10	100	50	100	10	5	10
Aquisição do terreno	7	50	50	50	4,5	4,5	4,5
Investimento em infraestrutura	7	50	100	100	4,5	7	7
Facilidade de acesso	6	100	50	100	6	3	6
Distância dos pontos de coleta	5	100	50	100	5	2,5	5
Aceitação da população	1	100	100	100	1	1	1
Acesso às áreas através de vias com baixa densidade de ocupação	1	50	100	100	0,5	1	1
Pontuação final					46,5	49	59,5

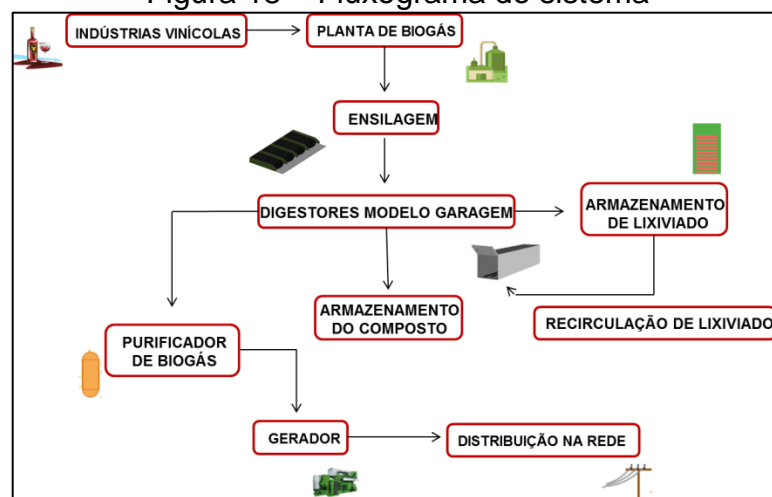
Fonte: Autor utilizando IBAM (2001).

6.2 CONCEPÇÃO DO SISTEMA

Para a concepção do sistema, foram analisadas as principais vantagens e desvantagens das tecnologias disponíveis e utilizadas atualmente tanto para a digestão do substrato quanto para a transformação do biogás em energia. Fatores operacionais, econômicos e ambientais também foram levados em conta.

O sistema da planta de tratamento anaeróbio será composto pelas etapas apresentadas no fluxograma da Figura 18.

Figura 18 – Fluxograma do sistema



Fonte: Autor (2018).

6.2.1 Recebimento e armazenamento dos resíduos

O sistema é iniciado pelo recebimento dos resíduos. Após, os mesmos serão armazenados através do processo de ensilagem, em uma área devidamente impermeabilizada (piso de concreto), através de silos cobertos com membrana, permitindo que o material possa ser conservado por longos períodos de tempo, sem perder seu potencial energético.

6.2.2 Digestores modelo garagem

A digestão anaeróbia ocorrerá em digestores modelo garagem. Com o uso de pá carregadeira, os resíduos serão coletados na área de ensilagem e direcionados para os digestores, onde permanecerão por 30 dias. Durante o período de digestão, o líquido gerado será coletado e canalizado até o tanque de armazenamento, para posterior recirculação através de tubulação e aspersores para as garagens, com o objetivo de inocular bactérias e otimizar o processo.

6.2.3 Armazenamento do biogás

A fim de armazenar o biogás produzido e também regular sua vazão, será utilizado um gasômetro modelo bolha. Após seguirá para o condicionamento, que se trata da purificação do biogás.

6.2.4 Condicionamento do biogás

Através de tubulação, o biogás gerado é destinado para o condicionador de biogás. A seleção da tecnologia de condicionamento do biogás deve levar em consideração os parâmetros exigidos pelos sistemas de conversão, conforme o uso final desejado. A composição do biogás, sua umidade, sua pressão, seus contaminantes, seus gases inertes e ácidos, além do poder calorífico, devem ser observados (SNSA, 2015). Como na planta de biogás em questão, o uso do biogás será a combustão direta para geração de energia, o processo de condicionamento é limitado à remoção do vapor de água e do gás sulfídrico.

6.2.5 Armazenamento do composto

Ao fim do processo de digestão, o substrato resultante será retirado dos reatores, armazenado temporariamente e utilizado como composto.

6.2.6 Gerador de energia elétrica

A etapa final do sistema consiste na geração de energia e injeção da mesma na rede de distribuição. As tecnologias analisadas para realizar a cogeração de energia foram a microturbina e o motor de combustão interna. A microturbina é ambientalmente melhor que o motor de combustão interna, por gerar menor poluição atmosférica, entretanto, apresenta menor eficiência e custos mais elevados, além de um menor tempo de vida útil. Desta forma, optou-se pela tecnologia de motor de combustão interna a qual pode ter suas emissões atmosféricas controladas.

6.3 CARACTERIZAÇÃO DO SUBSTRATO

Conforme já informado, o substrato utilizado é oriundo dos resíduos do processo de vinificação. Para o dimensionamento e desenvolvimento do presente projeto, as características e informações do substrato foram obtidas através de dados da literatura e da própria indústria vitivinícola, as quais estão dispostas na Tabela 5.

Tabela 5 - Características dos resíduos sólidos

Tipo de resíduo	Geração de Resíduos (kg/Lvinho produzido)	Sólidos Totais (ST%)	Sólidos Voláteis (SV%)
Bagaço de uva	0,2	35	90,0
Borra de vinho	0,05	6	83,3

Fonte: Adaptado de BESINELLA et al. (2017).

6.4 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA

6.4.1 Estimativa da quantidade de substrato

A estimativa da quantidade de subprodutos residuais gerados nas vinícolas foi realizada considerando-se a produção de substrato residual e a quantidade de vinho produzida no ano de 2017. De acordo com dados da Associação Gaúcha de Viticultores (AGAVI) foram produzidos 115.769.965 L de vinho em 2017. Informações da Tabela 5 apresentam que 0,20 kg de bagaço e 0,05 kg de borra são gerados para produção de 1 litro de vinho, principais subprodutos gerados no processo e de interesse deste projeto. Com esses dados, estimou-se a quantidade gerada de cada subproduto, as quais são apresentadas na Tabela 6.

Tabela 6 – Quantidades estimadas de cada subproduto

Subproduto	Quantidade (kg/ano)
Bagaço	23.153.993
Borra	5.788.498,3

Fonte: Autor (2018).

Assim sendo, estima-se que as vinícolas do município de Flores da Cunha, geraram em 2017 28.942.491,3 kg de subprodutos (bagaço e borra), quantidade adotada para os cálculos de projeto.

6.4.2 Estimativa do teor de sólidos

Conforme já citado, a metanização seca é utilizada para resíduos com teor de sólidos totais maior que 20%. O teor médio de sólidos totais do bagaço e da borra foi obtido com os dados das Tabelas 5 e 6, através das Equações 1 e 2.

$$C_{ST} = \frac{M \times ST}{100} \quad (1)$$

Onde:

C_{ST} = Carga de Sólidos Totais adicionada ao biodigestor (kg/ano);

M = Massa anual de resíduos (kg);

ST = Fração sólida do substrato (%).

$$C_{ST} \text{ Bagaço} = \frac{23.153.993 \times 35}{100} = 8.103.897,6 \text{ kg/ano}$$

$$C_{ST} \text{ Borra} = \frac{5.788.498,3 \times 6}{100} = 347.309,9 \text{ kg/ano}$$

$$C_{ST} \text{ Total} = 8.103.897,6 + 347.309,9 = 8.451.207,4 \text{ kg/ano}$$

$$Tm_{ST} = \frac{C_{ST} \text{ Total} \times 100}{MT} \quad (2)$$

Onde:

Tm_{ST} = Teor médio de sólidos totais (%);

C_{ST} = Carga de Sólidos Totais adicionada ao biodigestor (kg/ano);

MT = Massa anual total de resíduos (kg).

$$Tm_{ST} = \frac{8.451.207,4 \times 100}{28.942.491,3} = 29,2\%$$

6.4.3 Volume dos subprodutos

De acordo com análises realizadas, a massa específica da borra é 1.000 kg/m³ (VERONESE, 2018)³, enquanto a do bagaço é 500 kg/m³ (ADUBARE, 2018)⁴. Com as massas específicas calculou-se o volume dos subprodutos através da Equação 3.

³ VERONESE. **Massa específica da borra** [Mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <mvedana4@ucs.br> em 15 jun. 2018.

⁴ ADUBARE. **Massa específica do bagaço** [Mensagem pessoal]. Mensagem recebida por telefone em 13 jun. 2018.

$$V_s = \frac{M}{p} \quad (3)$$

Onde:

V_s = volume de subproduto (m^3);

M = Massa anual de resíduo a ser alimentada ao reator (kg);

p = massa específica (kg/m^3).

$$V_{sbagaço} = \frac{23.153.993}{500} = 46.308 \text{ m}^3$$

$$V_{sborra} = \frac{5.788.498,3}{1000} = 5.788,5 \text{ m}^3$$

$$V_{sTotal} = 46.308 + 5.788,5 = 52.096,5 \text{ m}^3$$

6.4.4 Dimensões dos reatores tipo garagem

No presente projeto, a digestão anaeróbia ocorrerá dentro da faixa de digestão mesofílica (20 a 35 °C), sendo necessário um tempo de detenção hidráulica (TDH) maior ou igual 20 dias (SASSE, 1998). Foi adotado para este estudo o TDH de 30 dias, e para os cálculos de projeto considerou-se que um ano tem 12 meses, e cada mês 30 dias. Desta forma através da Equação 4 tem-se:

$$V_{mensal} = \frac{V_{sTotal}}{12} \quad (4)$$

Onde:

V_{mensal} = volume de subproduto a ser tratado mensalmente (m^3);

V_{sTotal} = volume total de subproduto recebido na planta (m^3);

$$V_{mensal} = \frac{52.096,5}{12} = 4.341,4 \text{ m}^3$$

Do volume total anual, serão tratados mensalmente 4.341,4 m^3 . A partir do volume mensal calculado, optou-se por utilizar oito garagens para a digestão anaeróbia. Com a Equação 5, obteve-se o volume de cada garagem.

$$V_{garagem} = \frac{V_{mensal}}{8} \quad (5)$$

Onde:

$V_{garagem}$ = volume de cada garagem (m^3);

V_{mensal} = volume de subproduto a ser tratado mensalmente (m^3).

$$V_{garagem} = \frac{4.341,4}{8} = 542,7 m^3$$

Para o projeto, adotou-se um volume de 550 m^3 . Levando em conta que o preenchimento da garagem será em 75% da altura, e em cada lateral terá uma borda livre de 0,15 metros, serão oito garagens de estruturas iguais, 22 metros de comprimento, 6 metros de largura e 6 metros de altura, conforme pode ser visualizado nas Pranchas 13 e 14 em Apêndice B.

6.4.5 Estimativa da geração de lixiviado

Para a estimativa da quantidade de lixiviado que será gerado nas garagens durante a digestão anaeróbia, utilizou-se as Equações 6, 7 e 8, adotando uma perda de umidade do resíduo de 4%. Primeiramente calculou-se a quantidade de substrato que será disposta em cada garagem mensalmente, para posteriormente estimar a quantidade total de lixiviado gerado.

$$M_{mensal} = \frac{M}{N_r} \quad (6)$$

Onde:

M_{mensal} = massa mensal de resíduo a ser alimentada ao reator (kg/mês);

M = Massa mensal total de resíduo a ser tratada (kg/mês);

N_r = Número de reatores.

$$M_{mensal} = \frac{2.411.874}{8} = 301.484,3 kg/mês$$

$$LI = M_{mensal} \times 0,04 \quad (7)$$

Onde:

LI = lixiviado gerado (kg);

M_{mensal} = massa mensal de resíduo a ser alimentada ao reator (kg/mês);

$$LI = 301.484 \times 0,04 = 12.059,4 \text{ kg}$$

O volume do lixiviado foi calculado considerando sua massa específica sendo a mesma da água, 1.000 kg/m³.

$$V_{LI} = \frac{LI}{1000} \quad (8)$$

Onde:

V_{LI} = volume de lixiviado gerado em cada reator (m³);

LI = lixiviado gerado (kg).

$$V_{LI} = \frac{12.059,4}{1000} = 12,06 \text{ m}^3/\text{mês}$$

Para a recirculação diária do lixiviado em cada reator, adotou-se uma razão igual 0,3:1 de volume de recirculação por volume total de lixiviado (QIAN et al., 2017). Dessa forma, através da Equação 9, obteve-se o volume para a pulverização do substrato, 3.618 litros de lixiviado em cada reator.

$$V_r = 0,3 \times V_{LI} \quad (9)$$

Onde:

V_r = volume de recirculação (m³);

V_{LI} = volume de lixiviado gerado em cada reator (m³).

$$V_r = 0,3 \times 12,06 = 3,62 \text{ m}^3/\text{dia}$$

Considerando que a recirculação será realizada 10 minutos por hora, 6 horas por dia (no total 60 minutos por dia), a vazão que deverá ser aspergida em 10 minutos

foi obtida através da divisão do volume total em 6 horas, esse volume posteriormente dividido por 10 minutos.

$$VazãoAspergida = \frac{3,62}{6} = 0,603 \text{ m}^3$$

$$VazãoAspergida = \frac{0,603}{10} = 0,06 \text{ m}^3/\text{min}$$

6.4.6 Dimensionamento das tubulações de recirculação do lixiviado

Para o dimensionamento do diâmetro das tubulações que serão utilizadas na recirculação do lixiviado, instaladas internamente na parte superior das garagens, utilizou-se o Dimensionamento econômico de Bresse, para funcionamento descontínuo conforme Equação 10.

$$D = 0,586 \times X^{1/4} \times \sqrt{Q} \quad (10)$$

Onde:

D = diâmetro (m);

X = número de horas de funcionamento por dia;

Q = vazão recalçada (m³/s).

Considerando o tempo de funcionamento 10 minutos (0,167 horas) e a vazão 0,06 m³/min (0,001 m³/s), tem-se:

$$D = 0,586 \times (0,167)^{1/4} \times \sqrt{0,001} = 0,01 \text{ m}$$

Observando os diâmetros comerciais de PPR, suas perdas de cargas conforme fabricante e considerando que serão instalados aspersores na tubulação, adotou-se diâmetro de 32 mm.

Através da Equação de Bresse, calculou-se ainda o diâmetro da tubulação que ligará o tanque de lixiviado as garagens. Para isto, a vazão considerada foi a vazão referente à aspersão nas oito garagens (0,008 m³/s). Considerando que esta

tubulação irá alimentar 8 tubulações de 32 mm de diâmetro adotou-se o diâmetro de 90 mm.

$$D = 0,586 \times (0,167)^{1/4} \times \sqrt{0,008} = 0,03 \text{ m}$$

As tubulações para recirculação de lixiviado, estão detalhadas e podem ser visualizadas na Pranchas 11 e 12 em Apêndice B.

6.4.7 Dimensões do tanque de armazenamento de lixiviado

Considerando a geração total de lixiviado no sistema (Equação 11), o tanque para o armazenamento do mesmo será dimensionado em forma cilíndrica com capacidade de armazenar 100 m³. As dimensões foram obtidas com o uso da Equação 12.

$$V_T = V_{LI} \times N_r \quad (11)$$

Onde:

V_T = volume total de lixiviado gerado no sistema (m³/mês);

V_{LI} = volume de lixiviado gerado em cada reator (m³/mês);

N_r = Número de reatores.

$$V_T = 12,06 \times 8 = 96,48 \text{ m}^3$$

$$V = \pi \times r^2 \times h \quad (12)$$

Onde:

V = volume de armazenamento (m³);

r = raio do tanque (m);

h = altura do tanque (m).

$$100 = \pi \times r^2 \times 4$$

$$r = 2,82 \text{ m}$$

Portanto, o tanque cilíndrico terá 4 m de altura e 5,6 m de diâmetro, conforme apresentado na Prancha 15 em Apêndice B.

6.4.8 Dimensões da área de ensilagem

A geração dos resíduos (bagaço de uva e borra) ocorre apenas durante os meses de janeiro, fevereiro, março e abril. Para que o volume possa ser distribuído ao longo do ano, permitindo o funcionamento da planta durante o ano todo, será realizada a silagem dos mesmos. Para os cálculos da área de silagem, descontou-se o volume que será tratado na primeira batelada da digestão anaeróbia, visto que a primeira parcela de resíduo recebida na planta será direcionada diretamente para as garagens. Além disso, considerou-se uma redução de 30% do volume, que ocorre pela compactação realizada no processo de ensilagem. Portanto, o volume de subproduto a ser silado, foi obtido através da Equação 13 e 14.

$$V_{ss} = V_{sTotal} - V_{mensal} \quad (13)$$

Onde:

V_{ss} = volume de subproduto a ser silado não considerando a redução da compactação (m^3);

V_{sTotal} = volume total de subproduto recebido na planta (m^3);

V_{mensal} = volume tratado na primeira batelada (m^3);

$$V_{ss} = 52.096,5 - 4.341,4 = 47.755,1 m^3$$

$$V_{silagem} = V_{ss} - \left(V_{ss} \times \frac{38}{100} \right) \quad (14)$$

Onde:

$V_{silagem}$ = volume de subproduto a ser silado (m^3);

V_{ss} = volume de subproduto a ser silado não considerando a redução da compactação (m^3);

$$V_{silagem} = 47.755,1 - \left(47.755,1 \times \frac{38}{100} \right) = 29.608,2 m^3$$

Diante do volume obtido, a área de silagem foi projetada adotando 120 metros de largura, 45 metros de comprimento, e o empilhamento dos resíduos de 5,5 metros de altura, resultando num volume de 29.700 m³, divididos em 4 baias conforme Equação 15.

$$V = L \times C \times h \quad (15)$$

Onde:

V = volume da área de ensilagem (m³);

L = largura da área de ensilagem (m);

C = comprimento da área de silagem (m);

h = altura do empilhamento dos resíduos (m).

$$V = 120 \times 45 \times 5,5 = 29.700 \text{ m}^3$$

O espaço de ensilagem está representado e detalhado nas Pranchas 7, 8, 9 e 10 em Apêndice B.

6.4.9 Dimensões da área de armazenamento do composto

Para o dimensionamento da área de armazenamento do composto, considerou-se uma redução de 35 % (COLTURATO, 2018)⁵ do volume inicial de substrato, após o período de digestão anaeróbia. Através da Equação 16, calculou-se o volume de material que restará em cada reator.

$$V_c = V_i - (V_i \times 0,35) \quad (16)$$

Onde:

V_c = volume do composto (m³);

V_i = volume inicial de substrato em cada garagem (m³).

⁵ COLTURATO. **Redução de volume** [Mensagem pessoal]. Mensagem recebida por telefone por COLTURATO, L. F em 17 out. 2018.

$$V_c = 542,7 - (542,7 \times 0,35) = 352,75 \text{ m}^3$$

O preenchimento dos reatores com substrato ocorrerá com alguns dias de diferença um para o outro, desta forma o período e as fases do processo de digestão anaeróbia também será diferente de um reator para o outro. Portanto a área de armazenamento do composto foi dimensionada considerando o volume restante correspondente a 4 reatores (Equação 17).

$$V_a = V_c \times 4 \quad (17)$$

Onde:

V_a = volume a ser armazenado;

V_c = volume do composto (m^3).

$$V_a = 352,75 \times 4 = 1.411 \text{ m}^3$$

Para o projeto adotou-se o volume de 1.440 m^3 , em uma área de 5 metros de comprimento, 48 metros de largura e 6 metros de altura, conforme apresentado e detalhado na Prancha 17 em Apêndice B.

6.5 PRODUÇÃO E ARMAZENAMENTO DO BIOGÁS

O cálculo do potencial estimado de produção de biogás foi realizado considerando como parâmetros de cálculo os sólidos totais (ST), os sólidos voláteis (SV) e o rendimento de biogás por tonelada de SV (Equações 18 e 19). Os valores adotados para SV e ST estão apresentados na Tabela 5. O rendimento de biogás adotado é apresentado na Tabela 7.

Tabela 7 – Rendimento de biogás

Tipo de resíduo	Rendimento de biogás m^3/tSV
Bagaço de uva	160
Borra de vinho	800

Fonte: Adaptado de BESINELLA et al. (2017).

$$SV \left(\frac{t}{ano} \right) = \frac{ST \left(\frac{t}{ano} \right) \times SV (\%)}{100} \quad (18)$$

$$BIO = SV \left(\frac{t}{ano} \right) \times R_{BIO} \quad (19)$$

Onde:

ST = sólidos totais;

SV = sólidos voláteis;

BIO = produção de biogás (m³/ano);

B = biomassa gerada por ano (ton);

R_{BIO} = rendimento de biogás (m³/tonSV);

$$SV_{bagaço} = \frac{8.103,9 \times 90}{100} = 7.293,5 \text{ t/ano}$$

$$SV_{borra} = \frac{347,31 \times 83,3}{100} = 289,3 \text{ t/ano}$$

$$BIO_{bagaço} = 7.293,5 \times 160 = 1.166.960 \text{ m}^3/\text{ano}$$

$$BIO_{borra} = 289,3 \times 800 = 231.440 \text{ m}^3/\text{ano}$$

Os resultados obtidos para a produção de biogás estão apresentados na Tabela 8.

Tabela 8 – Produção de biogás estimada

Biomassa	Geração de biogás (m ³ /ano)
Bagaço	1.166.960
Borra	231.440
Geração total	1.398.409

Fonte: Autor (2018).

Para definição da capacidade de armazenamento do gasômetro, considerou-se a vazão de entrada de biogás 160 m³/h (Equação 20). Considerando que a injeção de energia elétrica na rede será realizada em horários de ponta, a capacidade do gasômetro, de acordo com Tecon (2018)⁶ deve ser no mínimo igual à produção de

biogás por dia. Portanto, através da Equação 21, obteve-se o volume do gasômetro. As dimensões e detalhes do gasômetro podem ser visualizados na Prancha 16 em Apêndice B.

$$Q_{entrada} = \frac{BIO}{8.760} \quad (20)$$

Onde:

$Q_{entrada}$ = vazão de entrada de biogás (m³/h);

BIO = produção de biogás (m³/ano).

$$Q_{entrada} = \frac{1.398.409}{8.760} = 159,6 \text{ m}^3/\text{h} \rightarrow 160 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$V_{gasômetro} = Q_{entrada} \times 24 \quad (21)$$

Onde:

$Q_{entrada}$ = vazão de entrada de biogás (m³/h);

$V_{gasômetro}$ = volume do gasômetro.

$$V_{gasômetro} = 160 \times 24 = 3.840 \text{ m}^3$$

6.6 POTENCIAL DE PRODUÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

Segundo Coldebella *et al.* (2006), o metano, em condições normais de temperatura e pressão (CNTP), tem um poder calorífico inferior (CPI) de 9,9 kWh/m³, o biogás terá um poder calorífico inferior entre 4,95 e 7,92 kWh/m³ se o seu teor de metano variar entre 50% a 80%. Reichert (2004) considera que o valor da geração de energia elétrica por m³ de biogás é de 6 kWh, sendo este o valor considerado para o cálculo do potencial de produção de energia elétrica, de acordo com a Equação 22.

⁶ TECON. **Orçamento e informações sobre gasômetro** [Mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <l Luiz.ferreira@albrecht.com.br> em 21 set. 2018.

$$P_E = BIO \times pc \quad (22)$$

Onde:

P_E = produção de energia elétrica;

BIO = produção de biogás (m^3 /ano);

pc = poder calorífico (kWh/m^3).

$$P_E = 1.398.409 \times 6 = 8.390.454 \text{ kWh/ano}$$

Como especificado anteriormente, para a geração de energia elétrica será utilizado motor de combustão interna, considerando a eficiência de conversão de 40%, tem-se a produção de energia elétrica 3.356.181,6 kWh/ano. Desse valor deve-se ainda descontar a energia utilizada na planta, a qual será considerada 3.780 kWh/mês. Através da Equação 23, tem-se a produção final de energia elétrica.

$$P_{Efinal} = 3.356.181,6 - E_p \quad (23)$$

Onde:

P_{Efinal} = produção de energia elétrica final (kWh /ano);

E_p = energia utilizada na planta (kWh /ano).

$$P_{Efinal} = 3.356.181,6 - (3.780 \times 12) = 3.310.821,6 \text{ kWh/ano}$$

De acordo com o Ministério de Minas e Energia (2017), o consumo médio residencial de energia elétrica na região sul é 177 kWh/mês, desta forma, a produção de energia estimada para o presente projeto, terá capacidade de abastecer mensalmente 1.560 residências, o que representa 17,2 % da população do município de Flores da Cunha.

7 ORÇAMENTOS

A partir das especificações técnicas descritas no Apêndice A, será apresentada a relação de preços referente à implantação do projeto, além de sua operação e manutenção anual. Para a efetivação do empreendimento, foi orçado os serviços manuais e mecânicos, os materiais, e os equipamentos necessários para a implantação do projeto.

ITEM	SERVIÇOS	UNIDADE	CUSTO UNITÁRIO (R\$)	QUANTIDADE	CUSTO TOTAL (R\$)
CONSTRUÇÃO E INSTALAÇÃO					
1	LICENCIAMENTO AMBIENTAL				
1.1	Licença Prévia	unid.	R\$ 29.933,88	1	R\$ 29.933,88
1.2	Licença de Instalação	unid.	R\$ 19.289,25	1	R\$ 19.289,25
1.3	Licença de Operação	unid.	R\$ 19.289,25	1	R\$ 19.289,25
2	PREPARAÇÃO DO TERRENO E TERRAPLENAGEM				
	Limpeza e terraplenagem do terreno	m ²	R\$ 4,00	15.000	R\$ 60.000,00

3	ÁREA DE ENSILAGEM				
	Concreto armado	m ³	R\$ 449,00	1.150	R\$ 516.350,00
	Canaleta de concreto simples	m	R\$ 17,11	120	R\$ 2.053,20
	Lona para ensilagem	m ²	R\$ 1,80	5.400	R\$ 9.720,00
	Tubo de PVC DN 75	m	R\$ 19,95	39	R\$ 778,05
	Grade para canaleta de ferro fundido	m	R\$ 22,00	120	R\$ 2.640,00
	Telhas galvanizadas	m ²	R\$ 30,00	5575	R\$ 167.250,00

4	REATORES TIPO GARAGEM				
	Concreto armado para construção das garagens	m ³	R\$ 449,00	180	R\$ 80.820,00
	Chapas perfuradas de aço inox	m ²	R\$ 180,00	1.720	R\$ 309.600,00
	Porta inteira com fechamento hermético	unid.	R\$ 25.000,00	8	R\$ 200.000,00
	Telha galvanizadas (reatores + corredor)	m ²	R\$ 30,00	780	R\$ 23.400,00

4.1	Inserção e retirada dos resíduos				
	Pá carregadeira	unid.	R\$ 400.000,00	3	R\$ 1.200.000,00
4.2	Sistema de aeração				
	Soprador	unid.	R\$ 41.000,00	1	R\$ 41.000,00
	Tubulação de aço inox (304) DN 75	m	R\$ 74,00	270	R\$ 19.980,00
	TE aço inox (304) DN 75	unid.	R\$ 20,00	7	R\$ 140,00
	Válvula registro de esfera	unid.	R\$ 18,90	8	R\$ 151,20
	Curva 90 graus aço inox (304) DN 75	unid.	R\$ 30,00	6	R\$ 180,00
	Cruzeta aço inox DN 75	unid.	R\$ 35,00	1	R\$ 35,00

4.3 Sistema de recirculação do lixiviado					
	Tubulação de PPR DN 32	m	R\$ 50,00	170	R\$ 8.500,00
	Curva 90 graus PPR DN 90	unid.	R\$ 35,75	11	R\$ 393,25
	Tubulação de PPR DN 90	m	R\$ 60,00	125	R\$ 7.500,00
	Registro esfera PPR DN 90	unid.	R\$ 63,00	8	R\$ 504,00
	Cruzeta PPR DN 90	unid.	R\$ 22,75	1	R\$ 22,75
	TE normal, PPR 90 graus, DN 90	unid.	R\$ 36,40	7	R\$ 254,80
	Aspersores	unid.	R\$ 25,00	32	R\$ 800,00

4.4 Coleta do lixiviado					
	Canaleta de concreto simples	m	R\$ 14,73	390	R\$ 5.744,70
	Concreto armado para compartimento	m ³	R\$ 449,00	4	R\$ 1.796,00
	Tubulação de PVC DN 200	m	R\$ 20,00	25	R\$ 500,00
	Escavação	m ³	R\$ 4,00	48	R\$ 192,00

4.5 Coleta do biogás					
	Tubulação de aço inox (304) DN 75	m	R\$ 88,00	110	R\$ 9.680,00
	TE aço inox (304) DN 75	unid.	R\$ 30,00	14	R\$ 420,00
	Curva 90 graus aço inox (304) DN 75	unid.	R\$ 36,00	12	R\$ 432,00

5 IMPERMEABILIZAÇÃO DAS ÁREAS					
	Geocomposto bentonítico	m ²	R\$ 16,00	6.460	R\$ 103.360,00
	Geotextil	m ²	R\$ 6,00	6.460	R\$ 38.760,00
	Geomembrana 1 mm	m ²	R\$ 18,13	6.460	R\$ 117.119,80

6 ÁREA DE ARMAZENAMENTO DO COMPOSTO					
	Concreto armado	m ³	R\$ 449,00	30	R\$ 13.470,00
	Portas inteiriça de ferro	unid	R\$ 10.000,00	2	R\$ 20.000,00
	Telhas galvanizadas	m ²	R\$ 30,00	250	R\$ 7.500,00

7 TANQUE DE ARMAZENAMENTO DE LIXIVIADO					
	Bomba centrífuga	unid.	R\$ 10.000,00	1	R\$ 10.000,00
	Escavação	m ³	R\$ 4,00	10	R\$ 40,00
	Concreto armado	m ³	R\$ 449,00	25	R\$ 11.225,00

8 ARMAZENAMENTO DO BIOGÁS					
	Concreto armado	m ³	R\$ 449,00	4	R\$ 1.796,00
	Sistema completo com gasômetro de membrana dupla	unid.	R\$ 89.000,00	1	R\$ 89.000,00

9 PURIFICAÇÃO DO BIOGÁS					
	Sistema de dessulfurização - filtração do biogás	unid.	R\$ 350.000,00	1	R\$ 350.000,00

10	GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA				
	Grupo gerador de energia elétrica a gás	unid.	R\$ 500.000,00	1	R\$ 500.000,00
11	MONITORAMENTO DO SISTEMA				
	Software de monitoramento	unid.	R\$ 100.000,00	1	R\$ 100.000,00

	MÃO DE OBRA				
	Mão de obra para construção e instalações				R\$ 2.000.000,00
	COMPRA DO TERRENO				
	Terreno com aproximadamente 15.000 m ²				R\$ 700.000,00
	PROJETO DE ENGENHARIA				
	Projeto de Engenharia				R\$ 800.000,00
Subtotal dos gastos com a construção e instalação					R\$ 7.601.620,13

OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO DA PLANTA					
SERVIÇOS MENSAIS	UNIDADE	CUSTO UNITÁRIO (R\$)	QUANTIDADE	CUSTO MENSAL (R\$)	CUSTO ANUAL (R\$)
5 Funcionários 8h/d, 26 dias - operação	horas	R\$ 13,00	1.040	R\$ 13.520,00	R\$ 162.240,00
3 Funcionários 8h/d, 26 dias - manutenção	horas	R\$ 15,00	624	R\$ 9.360,00	R\$ 112.320,00
4 Funcionário 8h/d, 21 dias - administração	horas	R\$ 15,00	672	R\$ 10.080,00	R\$ 120.960,00
Responsável técnico	unid	R\$ 5.000,00	1	R\$ 5.000,00	R\$ 60.000,00
Manutenção e combustível pá carregadeira	unid.	R\$ 7.000,00	3	R\$ 21.000,00	R\$ 252.000,00
Manutenção preventiva motor a combustão	unid.	R\$ 5.000,00	1	R\$ 5.000,00	R\$ 60.000,00
Outras manutenções no sistema	unid.	R\$ 15.000,00	1	R\$ 15.000,00	R\$ 180.000,00
Análises laboratoriais	unid	R\$ 5.000,00	1	R\$ 5.000,00	R\$ 60.000,00
Custos indiretos					R\$ 200.000,00
Subtotal dos gastos com a operação e manutenção					R\$ 1.209.024,00

8 ANÁLISE DE VIABILIDADE TÉCNICA, ECONÔMICA E AMBIENTAL

Na análise de viabilidade econômica, técnica e ambiental serão analisados dois cenários, um considerando a venda de energia elétrica e do composto orgânico gerado, e outro cenário considerando apenas a venda de energia elétrica. Para isso os seguintes fatores serão levados em conta:

- Investimento inicial;
- Custo anual de operação e manutenção;
- Vida útil do projeto;

Considerando esses dados, serão descritos a seguir a avaliação dos custos diretamente envolvidos no projeto, além do benefício tangível. Serão apresentados, ainda, o fluxo de caixa e os benefícios intangíveis decorrentes da implantação deste projeto.

Para ambos os cenários, os custos de implantação, operação e manutenção serão os mesmos.

8.1 CUSTO DE IMPLANTAÇÃO

Conforme apresentado no capítulo 7, o custo total de implantação do projeto da planta de tratamento anaeróbio de resíduos vínicos com aproveitamento energético do biogás gerado é de R\$ 7.601.620,13.

8.2 CUSTO DE OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO

Os custos orçados para a operação e manutenção do projeto em questão são R\$ 1.209.024,00 ao ano.

8.3 CENÁRIO 1: VENDA DE ENERGIA ELÉTRICA E COMPOSTO ORGÂNICO

Neste cenário as análises de viabilidade técnicas e ambientais foram realizadas considerando a venda de energia elétrica e também do composto orgânico gerado.

8.3.1 Benefícios tangíveis

Através do processo de digestão anaeróbia dos resíduos vinícolas resultam dois subprodutos: o biogás e o composto. Utilizados corretamente, oferecem retorno de investimento, além de benefícios ambientais. Entre os benefícios que podem ser quantificados estão a geração de energia elétrica através do biogás e o composto resultante do processo de digestão anaeróbia.

Com a implantação do projeto de biodigestão haverá uma geração de 1.398.409 m³ de biogás anualmente, que convertido em energia elétrica resultará em 279.651,8 kWh/mês, suficiente para abastecer 1.580 residências mensalmente. O presente projeto tem como proposta a injeção da energia gerada na rede de distribuição, com isso a receita estimada é de R\$ 838.667,40 ao ano.

O material digerido resultante do processo de digestão anaeróbia foi estimado em 1.567.718,3 kg/mês, o mesmo poderá ser comercializado como composto orgânico (adubo), gerando uma receita estimada em R\$ 1.881.261,93 ao ano.

8.3.2 Benefícios intangíveis

Os benefícios intangíveis são de difícil quantificação, e requerem uma interpretação subjetiva em sua avaliação. Devem ser considerados tanto no nível social, quanto ambiental e econômico, pois apesar de não poderem ser quantificados, os benefícios intangíveis representam um benefício considerável na implantação do projeto.

Os resíduos vínicos se não forem devidamente tratados, podem causar severas consequências ao meio ambiente, poluindo o solo e contaminando as fontes de água. Estes resíduos provocam impactos negativos no meio ambiente devido aos baixos valores de pH, e por conterem substâncias fitotóxicas e fenólicas (SILVA, 2003). O acúmulo destes resíduos em local único pode acidificar o solo ocasionando baixo rendimento produtivo da lavoura. O uso dos biodigestores além de apresentar mais uma alternativa para o tratamento adequado da fração orgânica dos resíduos, possibilita a diversificação da matriz energética.

A tecnologia de biodigestão tem como benefício a geração do biogás que pode ser utilizado na substituição de fontes de energia não renovável, como gasolina, gás natural, carvão mineral entre outros, além de poder ser utilizada para a geração de

energia elétrica como é o caso deste projeto, reduzindo o consumo de energia proveniente das hidroelétricas que necessita de grandes áreas para a construção de lagos, ocasionando a destruição da fauna e da flora, inundação de áreas produtivas, deslocamento de grandes populações para novas áreas e perda de valores culturais e históricos desta região.

Quando queimado, o gás metano libera gás carbônico (CO₂). Porém, segundo o Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), o gás carbônico liberado através da queima de biogás é considerado de natureza biogênica, e não deve fazer parte dos cálculos de quantidade de gases de efeito estufa. Comparado a outros combustíveis, como petróleo e carvão mineral, a queima do biogás é menos nociva ao meio ambiente, quanto à emissão de gases. Assim, contribui para redução da poluição atmosférica, causada por estas fontes não renováveis, que lançam grandes quantidades de dióxido de carbono, chumbo, enxofre e óxidos de nitrogênio na atmosfera, elementos prejudiciais à saúde humana e ao meio ambiente.

O substrato resultante da biodigestão será utilizado como composto orgânico, desta forma também contribuirá com a redução do consumo de recursos naturais utilizados na fertilização do solo em propriedades agrícolas.

Em relação aos ganhos sociais, a implantação deste projeto proporcionará a geração de empregos, tanto na construção do empreendimento, como para o monitoramento constante da planta. Além de possibilitar uma visibilidade maior do município, a planta de biodigestão poderá colaborar e ser utilizados para futuros estudos relacionados ao tema no país. A imagem das vinícolas será valorizada perante os funcionários, órgão de fiscalização e clientes devido às ações exercidas em busca do desenvolvimento sustentável podendo até mesmo utilizar como argumento de vendas em seu *marketing*, para participar de mercados mais exigentes.

8.4 CENÁRIO 2: VENDA APENAS DA ENERGIA ELÉTRICA

8.4.1 Benefícios tangíveis

A aplicação deste cenário apresenta os mesmos benefícios intangíveis elencados no cenário 1, porém considerando apenas a venda de energia elétrica a receita estimada para o projeto é de R\$ 838.667,40 ao ano.

8.4.2 Benefícios intangíveis

Da mesma forma, os benefícios intangíveis deste cenário são os mesmos elencados no cenário 1.

8.5 ANÁLISE FINANCEIRA

Para a avaliação da viabilidade econômica, foi utilizado o investimento inicial para implantação do projeto e os custos relacionados à operação e manutenção da planta, conforme valores descritos no orçamento apresentado no capítulo 7.

8.5.1 Fluxo de caixa e análise pelo Valor presente líquido (VPL)

O fluxo de caixa corresponde ao orçamento de receitas e custos, incluindo o investimento, com suas evoluções periódicas, durante todo o tempo de vida útil do projeto. A análise de viabilidade econômica foi efetuada pelo método do Valor presente líquido (VPL), a partir de um fluxo de caixa que abrange a demanda financeira e os benefícios advindos com a implantação do sistema de biodigestão, para um período de vinte anos. O cálculo do VPL é feito através da Equação 24, onde é utilizado o Fator de valor presente (FVP) para fazer a correção monetária de acordo com a taxa de juro (i) aplicada pelo período de tempo (n) adotado, conforme Equação 25.

$$VPL = (\text{Benefícios} \times FVP) - (\text{Investimentos} \times FVP) \quad (24)$$

$$FVP = \frac{1}{(1+i)^n} \quad (25)$$

Onde:

VPL = Valor presente líquido

FVP = Fator de valor presente

i = taxa de juro (% a.a)

n = Período de capitalização dos juros

Para ajuste do valor presente considerou-se a indexação dos valores atuais dos benefícios e da demanda financeira pelo IGPM (Índice Geral de Preços do Mercado), estimado em 7,19% ao ano através da média dos índices dos últimos 10 anos, enquanto que a taxa de juros adotada foi 11,70%, conforme SELIC (Sistema Especial de Liquidação e Custódia).

8.5.2 Cenário 1

Neste cenário foram considerados os custos de implantação, operação e manutenção. Como receitas, foi considerado o valor de venda da energia elétrica e do digestato, conforme apresentado na Tabela 9.

Tabela 9 – Receitas geradas

Produto	Preço de venda	Unidade	Quantidade gerada	Receita
Energia elétrica	R\$ 250,00	MW/h	3310,82	R\$ 827.705,00
Digestato	R\$ 0,10	kg	18.812.619,30	R\$ 1.881.261,93

Fonte: Autor utilizando dados de SNSA (2015)

Na Tabela 10 observa-se o fluxo de caixa do cenário 1, onde se verifica que num tempo de retorno de 5 anos o projeto passa a ser viável, levando a um saldo de caixa positivo ao final de 20 anos de R\$ 12.413.644,27.

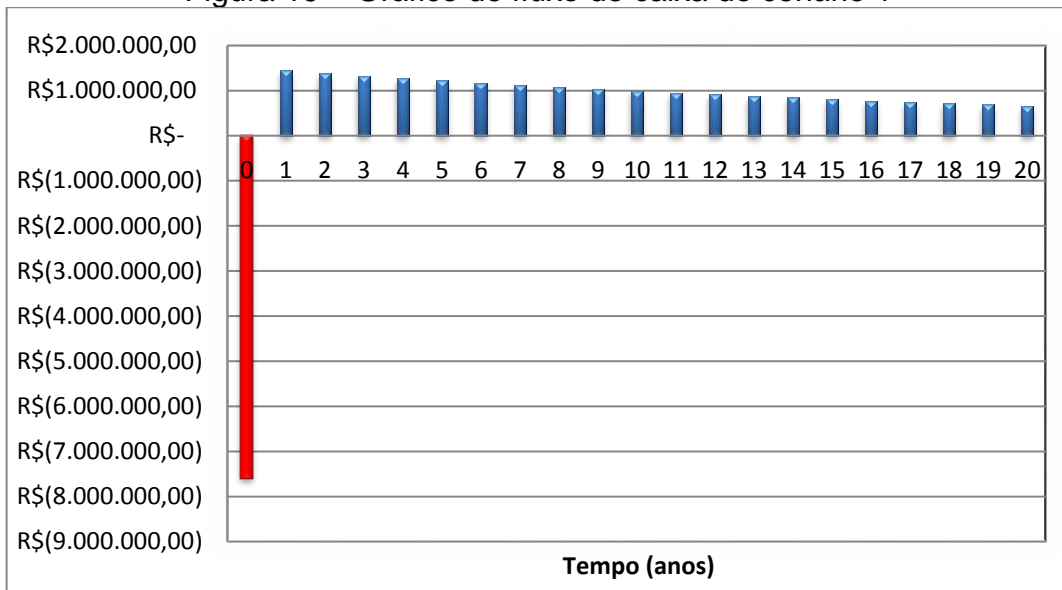
Tabela 10 – Fluxo de caixa do cenário 1

Período (anos)	Custos (R\$)	Receitas	Fluxo de caixa	FVP	Custos VPL	Receitas VPL	Fluxo de caixa em VPL	Saldo de caixa em VPL
0	-R\$ 7.601.620,13	-	-R\$ 7.601.620,13	-	-R\$ 7.601.620,13	R\$ -	-R\$ 7.601.620,13	-R\$ 7.601.620,13
1	-R\$ 1.295.952,83	R\$ 2.903.741,65	R\$ 1.607.788,83	0,90	-R\$ 1.160.208,44	R\$ 2.599.589,66	R\$ 1.439.381,22	-R\$ 6.162.238,91
2	-R\$ 1.389.131,83	R\$ 3.112.520,68	R\$ 1.723.388,84	0,80	-R\$ 1.113.363,85	R\$ 2.494.628,61	R\$ 1.381.264,76	-R\$ 4.780.974,15
3	-R\$ 1.489.010,41	R\$ 3.336.310,91	R\$ 1.847.300,50	0,72	-R\$ 1.068.410,67	R\$ 2.393.905,47	R\$ 1.325.494,80	-R\$ 3.455.479,35
4	-R\$ 1.596.070,26	R\$ 3.576.191,67	R\$ 1.980.121,41	0,64	-R\$ 1.025.272,51	R\$ 2.297.249,12	R\$ 1.271.976,61	-R\$ 2.183.502,73
5	-R\$ 1.710.827,71	R\$ 3.833.319,85	R\$ 2.122.492,14	0,58	-R\$ 983.876,10	R\$ 2.204.495,38	R\$ 1.220.619,28	-R\$ 962.883,46
6	-R\$ 1.833.836,23	R\$ 4.108.935,55	R\$ 2.275.099,32	0,51	-R\$ 944.151,11	R\$ 2.115.486,66	R\$ 1.171.335,54	R\$ 208.452,09
7	-R\$ 1.965.689,05	R\$ 4.404.368,01	R\$ 2.438.678,96	0,46	-R\$ 906.030,06	R\$ 2.030.071,75	R\$ 1.124.041,69	R\$ 1.332.493,78
8	-R\$ 2.107.022,09	R\$ 4.721.042,07	R\$ 2.614.019,98	0,41	-R\$ 869.448,18	R\$ 1.948.105,56	R\$ 1.078.657,38	R\$ 2.411.151,15
9	-R\$ 2.258.516,98	R\$ 5.060.485,00	R\$ 2.801.968,02	0,37	-R\$ 834.343,34	R\$ 1.869.448,84	R\$ 1.035.105,50	R\$ 3.446.256,65
10	-R\$ 2.420.904,35	R\$ 5.424.333,87	R\$ 3.003.429,52	0,33	-R\$ 800.655,88	R\$ 1.793.967,96	R\$ 993.312,07	R\$ 4.439.568,72
11	-R\$ 2.594.967,38	R\$ 5.814.343,47	R\$ 3.219.376,10	0,30	-R\$ 768.328,60	R\$ 1.721.534,69	R\$ 953.206,10	R\$ 5.392.774,82
12	-R\$ 2.781.545,53	R\$ 6.232.394,77	R\$ 3.450.849,24	0,27	-R\$ 737.306,56	R\$ 1.652.026,00	R\$ 914.719,44	R\$ 6.307.494,26
13	-R\$ 2.981.538,65	R\$ 6.680.503,95	R\$ 3.698.965,30	0,24	-R\$ 707.537,06	R\$ 1.585.323,78	R\$ 877.786,72	R\$ 7.185.280,98
14	-R\$ 3.195.911,28	R\$ 7.160.832,19	R\$ 3.964.920,91	0,21	-R\$ 678.969,54	R\$ 1.521.314,74	R\$ 842.345,20	R\$ 8.027.626,18
15	-R\$ 3.425.697,30	R\$ 7.675.696,02	R\$ 4.249.998,72	0,19	-R\$ 651.555,46	R\$ 1.459.890,12	R\$ 808.334,66	R\$ 8.835.960,84
16	-R\$ 3.672.004,94	R\$ 8.227.578,57	R\$ 4.555.573,63	0,17	-R\$ 625.248,25	R\$ 1.400.945,59	R\$ 775.697,34	R\$ 9.611.658,18
17	-R\$ 3.936.022,09	R\$ 8.819.141,47	R\$ 4.883.119,37	0,15	-R\$ 600.003,23	R\$ 1.344.381,00	R\$ 744.377,78	R\$ 10.356.035,95
18	-R\$ 4.219.022,08	R\$ 9.453.237,74	R\$ 5.234.215,65	0,14	-R\$ 575.777,49	R\$ 1.290.100,26	R\$ 714.322,77	R\$ 11.070.358,73
19	-R\$ 4.522.369,77	R\$ 10.132.925,53	R\$ 5.610.555,76	0,12	-R\$ 552.529,89	R\$ 1.238.011,17	R\$ 685.481,27	R\$ 11.755.840,00
20	-R\$ 4.847.528,16	R\$ 10.861.482,88	R\$ 6.013.954,72	0,11	-R\$ 530.220,94	R\$ 1.188.025,22	R\$ 657.804,27	R\$ 12.413.644,27
Total					-R\$ 23.734.857,30	R\$ 36.148.501,57	R\$ 12.413.644,27	

Fonte: Autor (2018)

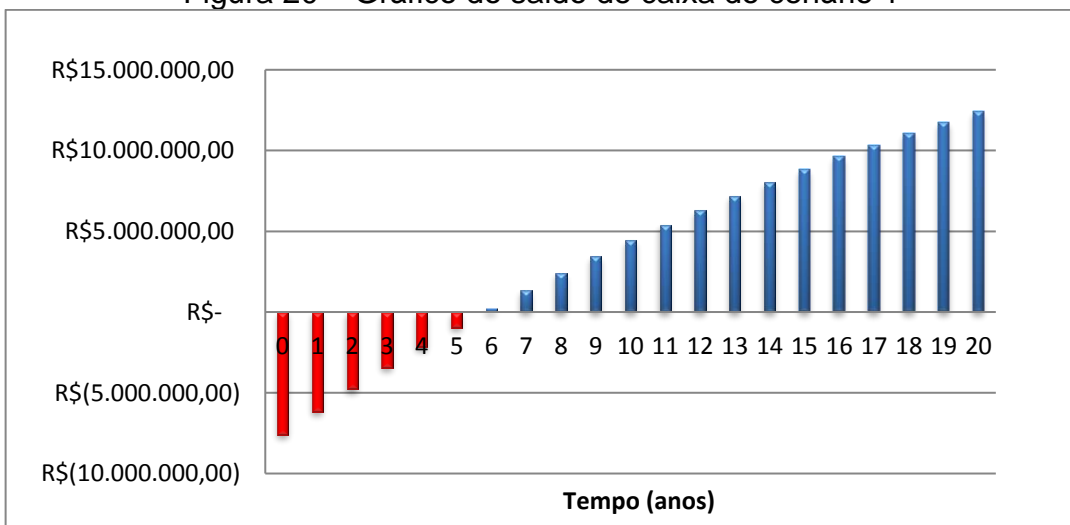
A Figura 19 apresenta o fluxo de caixa elaborado para o projeto, considerando-se o investimento inicial, os custos de manutenção e operação do sistema, e os benefícios, a cada ano, até o final de sua vida útil. Já na figura 20 é apresentado o saldo de caixa em valor presente, a partir do qual se observa que, no quinto ano após a implantação do projeto, o sistema passa a operar com caixa positivo, ou seja, em quatro anos é coberto totalmente o investimento inicial aplicado.

Figura 19 – Gráfico do fluxo de caixa do cenário 1



Fonte: Autor (2018).

Figura 20 – Gráfico do saldo de caixa do cenário 1



Fonte: Autor (2018).

8.5.3 Cenário 2

Neste cenário foram considerados os mesmos custos de implantação, operação e manutenção do cenário 1. Como receita, foi considerado apenas o valor referente à venda de energia elétrica, R\$ 827.705,00 ao ano.

Na Tabela 11 observa-se o fluxo de caixa em um horizonte de 20 anos para a implantação do projeto. Com análise destes dados verifica-se que o projeto em questão é inviável, ao final dos vinte anos analisados a planta apresentará um saldo negativo de R\$ 12.543.665,01.

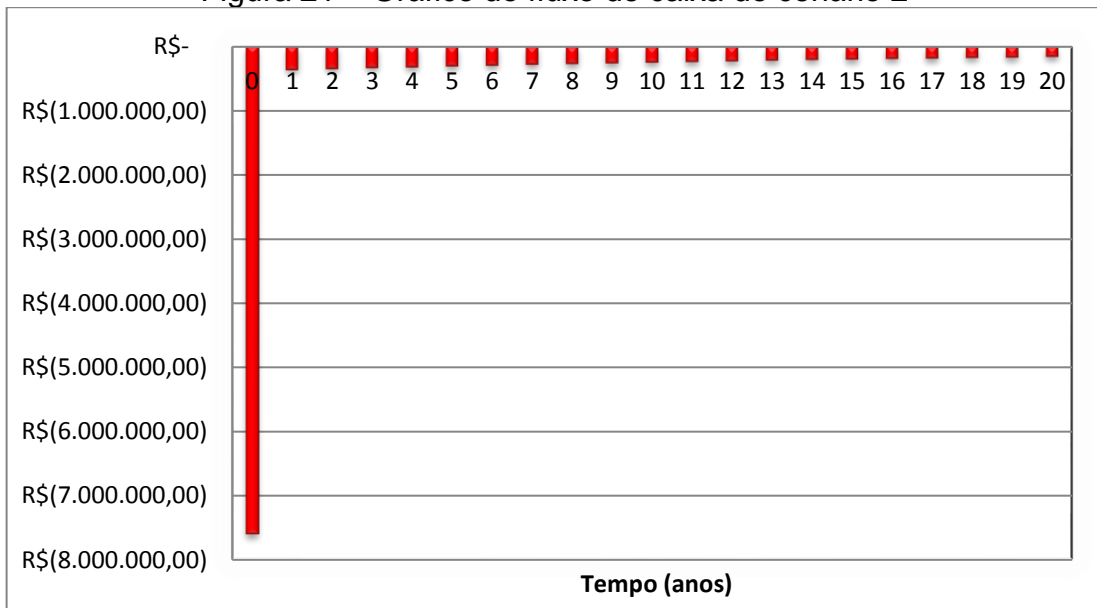
Tabela 11 - Fluxo de caixa do cenário 2

Período (anos)	Custos (R\$)	Receitas	Fluxo de caixa	FVP	Custos VPL	Receitas VPL	Fluxo de caixa em VPL	Saldo de caixa em VPL
0	-R\$ 7.601.620,13	-	-R\$ 7.601.620,13	-	-R\$ 7.601.620,13	R\$ -	-R\$ 7.601.620,13	-R\$ 7.601.620,13
1	-R\$ 1.295.952,83	R\$ 898.967,59	-R\$ 396.985,24	0,90	-R\$ 1.160.208,44	R\$ 804.805,36	-R\$ 355.403,08	-R\$ 7.957.023,21
2	-R\$ 1.389.131,83	R\$ 963.603,36	-R\$ 425.528,48	0,80	-R\$ 1.113.363,85	R\$ 772.310,53	-R\$ 341.053,32	-R\$ 8.298.076,53
3	-R\$ 1.489.010,41	R\$ 1.032.886,44	-R\$ 456.123,98	0,72	-R\$ 1.068.410,67	R\$ 741.127,72	-R\$ 327.282,95	-R\$ 8.625.359,48
4	-R\$ 1.596.070,26	R\$ 1.107.150,97	-R\$ 488.919,29	0,64	-R\$ 1.025.272,51	R\$ 711.203,94	-R\$ 314.068,57	-R\$ 8.939.428,05
5	-R\$ 1.710.827,71	R\$ 1.186.755,13	-R\$ 524.072,59	0,58	-R\$ 983.876,10	R\$ 682.488,36	-R\$ 301.387,74	-R\$ 9.240.815,79
6	-R\$ 1.833.836,23	R\$ 1.272.082,82	-R\$ 561.753,41	0,51	-R\$ 944.151,11	R\$ 654.932,21	-R\$ 289.218,90	-R\$ 9.530.034,69
7	-R\$ 1.965.689,05	R\$ 1.363.545,57	-R\$ 602.143,48	0,46	-R\$ 906.030,06	R\$ 628.488,66	-R\$ 277.541,40	-R\$ 9.807.576,09
8	-R\$ 2.107.022,09	R\$ 1.461.584,50	-R\$ 645.437,59	0,41	-R\$ 869.448,18	R\$ 603.112,80	-R\$ 266.335,39	-R\$ 10.073.911,48
9	-R\$ 2.258.516,98	R\$ 1.566.672,43	-R\$ 691.844,55	0,37	-R\$ 834.343,34	R\$ 578.761,51	-R\$ 255.581,83	-R\$ 10.329.493,30
10	-R\$ 2.420.904,35	R\$ 1.679.316,17	-R\$ 741.588,18	0,33	-R\$ 800.655,88	R\$ 555.393,43	-R\$ 245.262,45	-R\$ 10.574.755,76
11	-R\$ 2.594.967,38	R\$ 1.800.059,01	-R\$ 794.908,37	0,30	-R\$ 768.328,60	R\$ 532.968,86	-R\$ 235.359,73	-R\$ 10.810.115,49
12	-R\$ 2.781.545,53	R\$ 1.929.483,25	-R\$ 852.062,28	0,27	-R\$ 737.306,56	R\$ 511.449,71	-R\$ 225.856,85	-R\$ 11.035.972,34
13	-R\$ 2.981.538,65	R\$ 2.068.213,10	-R\$ 913.325,56	0,24	-R\$ 707.537,06	R\$ 490.799,41	-R\$ 216.737,65	-R\$ 11.252.709,99
14	-R\$ 3.195.911,28	R\$ 2.216.917,62	-R\$ 978.993,66	0,21	-R\$ 678.969,54	R\$ 470.982,89	-R\$ 207.986,65	-R\$ 11.460.696,64
15	-R\$ 3.425.697,30	R\$ 2.376.313,99	-R\$ 1.049.383,31	0,19	-R\$ 651.555,46	R\$ 451.966,48	-R\$ 199.588,98	-R\$ 11.660.285,62
16	-R\$ 3.672.004,94	R\$ 2.547.170,97	-R\$ 1.124.833,97	0,17	-R\$ 625.248,25	R\$ 433.717,88	-R\$ 191.530,37	-R\$ 11.851.815,99
17	-R\$ 3.936.022,09	R\$ 2.730.312,56	-R\$ 1.205.709,53	0,15	-R\$ 600.003,23	R\$ 416.206,08	-R\$ 183.797,14	-R\$ 12.035.613,13
18	-R\$ 4.219.022,08	R\$ 2.926.622,04	-R\$ 1.292.400,05	0,14	-R\$ 575.777,49	R\$ 399.401,34	-R\$ 176.376,15	-R\$ 12.211.989,28
19	-R\$ 4.522.369,77	R\$ 3.137.046,16	-R\$ 1.385.323,61	0,12	-R\$ 552.529,89	R\$ 383.275,11	-R\$ 169.254,78	-R\$ 12.381.244,06
20	-R\$ 4.847.528,16	R\$ 3.362.599,78	-R\$ 1.484.928,38	0,11	-R\$ 530.220,94	R\$ 367.799,99	-R\$ 162.420,95	-R\$ 12.543.665,01
Total					-R\$ 23.734.857,30	R\$ 11.191.192,29	-R\$ 12.543.665,01	

Fonte: Autor (2018)

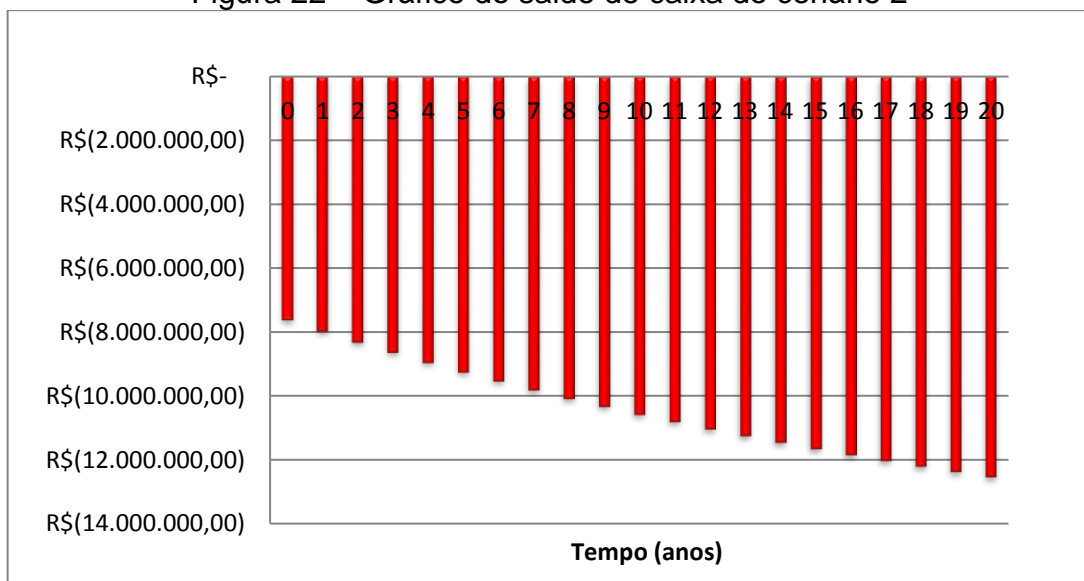
A Figura 22 apresenta o fluxo de caixa elaborado para o cenário 2, considerando-se o investimento inicial, os custos de manutenção e operação do sistema, e os benefícios, a cada ano, até o final de sua vida útil. Já na figura 20 é apresentado o saldo de caixa em valor presente, a partir do qual se observa que, após 20 anos da implantação do projeto, o sistema apresenta saldo em caixa negativo, ou seja, não é viável.

Figura 21 – Gráfico do fluxo de caixa do cenário 2



Fonte: Autor (2018).

Figura 22 – Gráfico do saldo de caixa do cenário 2



Fonte: Autor (2018).

8.6 CONSIDERAÇÕES SOBRE ANÁLISE DE VIABILIDADE

Para a comparação entre os dois cenários do ponto de vista econômico calculou-se a TIR (Taxa Interna de Retorno) que consiste em uma taxa de desconto hipotética, aplicada a um fluxo de caixa, faz com que os custos, trazidos para valor presente, sejam iguais aos valores das receitas, também trazidas para valor presente (BNDES, 2018).

Quando aplicado o cálculo da TIR ao fluxo de caixa do cenário 1, o valor da TIR ficou em 34,71%, e a relação de custos e benefícios 0,55, isto está relacionado ao fato de neste cenário a receita gerada ser maior do que no cenário 2, devido a venda da energia elétrica e composto orgânico, o que torna o projeto viável. Já no cenário 2, não obteve-se um resultado satisfatório, pois nesse cenário a receita gerada através da venda apenas da energia elétrica não é suficiente para suprir os gastos com o projeto, tornando-o inviável.

Quando analisados do ponto de vista social e ambiental, os benefícios tangíveis e intangíveis de ambos cenários são basicamente os mesmos, porém no que tange aos benefícios econômicos, o cenário 1 é o que se apresenta viável.

O biogás é uma fonte de energia com considerável potencial de geração de energia elétrica que pode ser considerada ao se pensar na expansão energética do estado. Para tornar possível essa expansão necessita ainda de avanços institucionais e econômicos. A utilização do biogás não deve ser considerada apenas como um interesse econômico, visto que, também contribui para a redução nas emissões de gases estufa, uma vez que compete com fontes utilizadoras de combustíveis fósseis.

Ressalta-se ainda a abrangência no que tange a solução da destinação de resíduos provenientes da cadeia produtiva de vinhos. Indica-se para trabalhos futuros a realização de projeto piloto para testes em laboratório, além de englobar eventuais adequações para a comercialização da energia elétrica.

REFERÊNCIAS

ANGIONI, A. et al. Pesticides i the distilled spirits of wine and its byproducts. **Journal of agricultural and food Chemistry**. v. 45, p. 2248–2251, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004**: Resíduos Sólidos - Classificação. Rio de Janeiro. 2004.

ASSOCIAÇÃO GAÚCHA DE VINICULTORES – AGAVI. **Dados para TCC** [mensagem pessoal] Mensagem recebida por <darcidani@agavi.com.br>, em 30 maio 2012.

BAERE, L. Anaerobic digestion of solid waste: state of the art. **Water Sci Technol** 41:283–290. 2000.

BARICHELLO, R. O Uso de Biodigestores em Pequenas e Médias Propriedades Rurais com Ênfase na Agregação de Valor: Um Estudo de Caso na Região Noroeste do RS. *Maringá*, v.8, n.2, p. 333 – p. 355, 2015.

BESINELLA, G. B. et al. Potencial dos subprodutos vinícolas da região sul do Brasil para a geração de biogás e energia elétrica. In: **II Seminário de Engenharia de Energia na Agricultura**, Acta Iguazu, Cascavel – PR, v. 6, n. 5, p. 253-261, 2017.

BIDONE, F. R. A; POVINELLI, J. 1999. **Conceitos básicos de resíduos sólidos**. São Carlos, São Paulo: EESC – USP.

BNDES. **Taxa Interna de Retorno**. 2018. Disponível em: <<http://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home>>. Acesso em: 11 nov. 2018.

Boletim Enfoque – Biodigestor “PE”, fonte alternativa energética e de biofertilizantes, Recife, 1999.

BRASIL. **Lei Federal Nº 9.985, de 18 de julho de 2000**. Regulamenta o art. 225, § 1o, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9985.htm>. Acesso em: 18 abr. 2018.

_____. **Lei Federal Nº 11.428/2010, de 22 de dezembro de 2006**. Dispõe sobre a utilização e proteção da vegetação nativa do Bioma Mata Atlântica, e dá outras providências. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=526>>. Acesso em: 14 de out. 2017.

_____. **Lei Federal Nº 12.187/2009, de 29 de dezembro de 2009**. Institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima - PNMC e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2009/lei/l12187.htm>. Acesso em: 14 de out. 2017.

_____. **Lei Federal Nº 10.848/2004, de 15 de março de 2004.** Dispõe sobre a comercialização de energia elétrica, altera as Leis nºs 5.655, de 20 de maio de 1971, 8.631, de 4 de março de 1993, 9.074, de 7 de julho de 1995, 9.427, de 26 de dezembro de 1996, 9.478, de 6 de agosto de 1997, 9.648, de 27 de maio de 1998, 9.991, de 24 de julho de 2000, 10.438, de 26 de abril de 2002, e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/1980-1988/L6894.htm>. Acesso em: 05 abr. 2018.

_____. **Lei Federal Nº 12.305/2010, de 02 de agosto de 2010.** Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=636>>. Acesso em: 14 out. 2017.

BRASIL. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental (SNSA). **Conceitos para o licenciamento ambiental de usinas de biogás.** Probiogás. Brasília, DF. Ministério das Cidades, 2016. Disponível em: <<http://www.cidades.gov.br/images/stories/ArquivosSNSA/probiogas/licenciamento-usinas-biogas.pdf>> Acesso em: 18 fev. 2017.

_____. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental (SNSA). **Tecnologias de digestão anaeróbia com relevância para o Brasil: substratos, digestores e uso de biogás.** Probiogás. Brasília, DF. Ministério das Cidades, 2015. <<http://www.cidades.gov.br/images/stories/ArquivosSNSA/probiogas/probiogas-tecnologias-biogas.pdf>> Acesso em: 18 fev. 2017.

_____. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental (SNSA). **Anteprojeto de uma usina de pesquisa e capacitação em biogás.** Probiogás. Brasília, DF. Ministério das Cidades, 2015. <<http://www.cidades.gov.br/images/stories/ArquivosSNSA/probiogas/probiogas-tecnologias-biogas.pdf>> Acesso em: 18 fev. 2017.

CAMARGO, R. **Proposta de zoneamento ambiental para o município de Flores da Cunha – RS.** 2013. 56 f. Dissertação – Curso de Geografia, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Departamento de Humanidades e Educação, 2013.

CAMARGO, U.A.; TONIETTO, J.; HOFFMANN, A. Progressos na viticultura brasileira. 2011. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 33, n. 1, p. 144-149, 2011. Disponível: < <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-29452011000500017> >. Acesso em: 12 abr. 2018.

CAMPOS, L. M. A. **Obtenção de extratos de bagaço de uva cabernet sauvignon (*Vitis vinifera*): parâmetros de processo e modelagem matemática.** 2005. 141 f. Dissertação – Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Santa Catarina, 2005.

CAMPUS TV. Inova en tu Región Capítulo 5 (Parte 1). Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=rD305veITRo>>. Acesso em: 10 jun. 2018.

CASTANÓN, N. J. B. **Biogás, originado a partir dos rejeitos rurais**. Trabalho apresentado na disciplina: Biomassa como Fonte de Energia - Conversão e utilização. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2002.

CASSINI, T. S. **Digestão de resíduos sólidos orgânicos e aproveitamento do biogás**. Rio de Janeiro: ABES, 2003.

CATALUÑA, E. **As uvas e os vinhos**, Rio de Janeiro: Editora Globo, 1988. 207p.
CATANEO, C. B.; CALIARI, V.; GONZAGA, L. V.; KUSKOSKI, E. M.; FETT, R. Atividade antioxidante e conteúdo fenólico do resíduo agroindustrial da produção de vinho. **Seminário: Ciências Agrárias**, v. 29, n. 1, p. 93-102, 2008.

CHERNICHARO, C. A. L. **Reatores Anaeróbios**. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG, Belo Horizonte, 1997.

CITY of Napa's Zero Waste Energy SMARTFERM. In: Canal Zero Waste Energy, publicado em 17 fev. 2015. Disponível em:
<<https://www.youtube.com/watch?v=NCrWLGz9Bo&t=14s>>. Acesso em: 8 ago. 2018.

COLDEBELLA, A. et al. Viabilidade da cogeração de energia elétrica com biogás da bonivocultura de leite. Proceedings of the 6. **Encontro de Energia no Meio Rural**, 2006.

CONSELHO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução CONSEMA nº 372 de 22 de fevereiro de 2018**. Disponível em:
<<http://www.farsul.org.br/slides/doc/lars.pdf>>. Acesso em: 12 mar. 2018.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução CONAMA nº 302 de 20 de março de 2002**. Disponível em:
<<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=298>>. Acesso em: 12 mar. 2018.

_____. **Resolução CONAMA nº 237 de 19 de dezembro de 1997**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res97/res23797.html>>. Acesso em: 10 mar. 2018.

_____. **Resolução CONAMA nº 01 de 13 de junho de 1988**. Disponível em:
<<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=65>>. Acesso em: 10 mar. 2018.

DEGANUTTI, R.; PALHACI, M.C. J. P.; ROSSI, M.; TAVARES, R.; SANTOS, C.; **Biodigestores rurais: modelo indiano, chinês e Batelada**. Bauru-SP, 2008.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Viticultura gaúcha quase dobra área plantada em 20 anos. Disponível em
<<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias>> Acesso em: 12 mar. 2018.

FERRAREZ, A. H.; FILHO, D. O; TEIXEIRA, C. A. **Independência energética de granja suinícola a partir do uso de biogás**. Revista Engenharia na Agricultura, v.18, n.3, p. 248 - 257. Viçosa/MG. 2010.

FIGUEIREDO, N. J. V. **Utilização de biogás de aterro sanitário para geração de energia – Estudo de caso**. Dissertação de mestrado do Programa de Pós-Graduação em Energia da Universidade de São Paulo. São Paulo. 2011.

FLORES DA CUNHA. **Lei Municipal Nº 46/2008, de 28 de agosto de 2008**. Institui o Plano Diretor Municipal de Flores da Cunha. Disponível em: <https://www.camaraflores.rs.gov.br/legislacao_detalhes.aspx?id=3056>. Acesso em: 14 mar. 2018.

_____. **Lei Municipal Nº 47/2008, de 28 de agosto de 2008**. Dispõe sobre o Parcelamento do Solo no Espaço Urbano e dá outras providências. Disponível em: <https://www.camaraflores.rs.gov.br/legislacao_detalhes.aspx?id=3056>. Acesso em: 14 mar. 2018.

_____. **Lei Municipal Nº 30/2006, de 29 de novembro de 2009**. Dispõe sobre a Política do Meio Ambiente do município de Flores da Cunha, sobre as sanções aplicáveis aos infratores das normas ambientais, e dá outras providências. Disponível em: <https://www.camaraflores.rs.gov.br/legislacao_detalhes.aspx?id=179>. Acesso em: 14 mar. 2018.

FAMUYIWA, O. O.; OUGH, C. S. Grape pomace: Possibilities as Animal Feed. Am. **J. Enol. Vitic.** 1982, 33 (1), 44-46.

GASPAR R. M. B. L. **Utilização de biodigestores em pequenas e médias propriedades rurais com ênfase na agregação de valor: um estudo de caso na região de Toledo - PR**. Dissertação de Mestrado. Florianópolis, 2003.

GIOVANNINI, E. **Manual de Viticultura e Enologia**. Porto Alegre: Bookman, 2014.

GLATZ, P.; MIAO, Z.; RODDA, B. Handling and Treatment of Poultry Hatchery Waste: A Review **Sustainability**, v.3, jan. 2011, p. 216-237.

INSTITUCIONAL Cooperativa Vinícola Garibaldi 2018. In: Coop Vinícola Garibaldi, publicado em 5 abr. 2018. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=HAuzxirQKR>>. Acesso em: 8 ago. 2018.

INSTITUTO BRASILEIRO DE ADMINISTRAÇÃO MUNICIPAL – IBAM. **Manual de Gerenciamento Integrado de resíduos sólidos**. Rio de Janeiro: IBAM, 2001.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Malhas Digitais Municipais**. 2015

INSTITUTO BRASILEIRO DO VINHO – IBRAVIN. **Panorama geral**. Disponível em: <<http://www.ibravin.org.br/Panorama-Geral>>. Acesso em: 30 mar. de 2018.

ICLEI - Brasil - Governos Locais pela Sustentabilidade. **Manual para aproveitamento do biogás**: volume dois, efluentes urbanos. ICLEI - Governos Locais pela Sustentabilidade, Secretariado para América Latina e Caribe, Escritório de projetos no Brasil, São Paulo, 2010.

JORDÃO, E. P.; PESSOA, C. A.. **Tratamento de esgotos domésticos**. 3ª Edição. Rio de Janeiro. ABES, 1995.

KIEHL, E.J. **Fertilizantes orgânicos**. São Paulo: Agronômica Ceres. 1985. 492 p.

KIEHL, E.J. **Manual de compostagem**: maturação e qualidade do composto. Piracicaba: [s. n.], 1998.

KNÄPPER, C.F.U. **Vermicompostagem uma nova proposta de discussão**. Estudos Leopoldense, p.33-50, 1990.

LANDGRAF, M. D.; MESSIAS, R. A. e REZENDE, M. O. **A importância ambiental da Vermicompostagem**: Vantagens e aplicações. São Carlos: Rima, 2005.

LETTINGA, G.; REBAC, S.; ZEEMAN, G. Challenge of psychrophilic anaerobic wastewater treatment. **Trends in Biotechnology**, Amsterdam, v.19, n.9, p.363-370, 2001.

LIMA, S. **Avaliação do resíduo seco da industrialização da uva como alimento para caprinos e ovinos**. 1984. 122f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

LOBATO, L. C. D. S. **Aproveitamento energético do biogás gerado em reatores UASB tratando esgoto doméstico**. Tese de doutorado da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte. 2011.

LOPEZ, J. **Resíduos de vinificação na alimentação dos animais domésticos**. Porto Alegre: Sindicato Rural de Caxias do Sul, 1977.

MAO et al. Review on research achievements of biogas from anaerobic digestion. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [S.l.], v. 45, p. 540–555, 2015.

MARTINS, R. D. et al. Aproveitamento do Biogás a partir de Resíduos Vitivinícola para a Geração de Energia Elétrica Visando Corresponder a Demanda Futura no Rio Grande do Sul. In: **6º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente**. Bento Gonçalves – RS, abr. 2017.

MELLO, L.M.R. **Panorama da produção de uvas e vinhos no Brasil**. Bento Gonçalves: Embrapa Uva e Vinho, 2017. (Informe Técnico).

_____. **Atuação do Brasil no mercado vitivinícola mundial: panorama 2012**. Embrapa Uva e Vinho, 2012. Disponível em:

<<http://www.cnpuv.embrapa.br/publica/artigos/prodvit2010.pdf>>. Acesso em: 12 abr. de 2018.

MELO, P. S. Composição química e atividade biológica de resíduos agroindustriais. **Dissertação de Mestrado**. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2010.

MME (Brasil); Colaboração Empresa de Pesquisa Energética – EPE. **Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2017**. Brasília, 2017. Ministério das Minas e Energia – MME. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-160/topico-168/Anuario2017vf.pdf>>. Acesso em: 10 set. 2018.

MIYAWAKI, B. **Purificação de biogás através de cultivo de microalgas em resíduos agroindustriais**. Tese (Mestrado em Engenharia e Ciência dos Materiais) Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

MORAES, B. S. et al. **Anaerobic digestion of vinasse from sugarcane biorefineries in Brazil from energy, environmental, and economic perspectives: Profit or expense?** *Applied Energy*, n. 113, p.825-835, 2014.

NAGAO, N. et al. Maximum organic loading rate for the single-stage wet anaerobic digestion of food waste. *Bioresour Technol*, v. 118, p. 210-8, Aug 2012.

NETO, E. et al. **Implementação e avaliação de um biodigestor de produção descontínua**. Revista eletrônica Exacta, v.3, n.2. 2010.

NOGUEIRA, L.A.H. – **Biodigestão, a alternativa energética**. Editora Nobel, São Paulo, 1986.

ORRIOLS, I. Tecnologia de la destilacion en los aguardientes de orujo. **I Congresso internacional de la Viticultura Atlântica**. Isla de la Toja: España, 1994. p. 291-305.

PARKIN, G. F.; OWEN, W. F. Fundamentals of anerobic digestion of wastewater sludge. *Journal of Environmental Engineering*, v.112, n. 5, p. 867-920, set./out. 1986.

PATO, O.; **O vinho sua preparação e conservação**, 8ª ed., Livraria Clássica. Editora: Lisboa, 1998.

PECORA, V. **Implantação de uma unidade demonstrativa de geração de energia elétrica a partir do biogás de tratamento do esgoto residencial da USP – Estudo de Caso**. 2006. Dissertação (Mestrado em energia) Programa de Interunidades de Pós - graduação em Energia –PIPGE (EP/FEA/IEE/IF), Universidade de São Paulo. São Paulo, 2006.

PERECIN, D. **Comparação entre as estratégias de aproveitamento energético do biogás: geração de energia elétrica versus produção de biometano**. 2017. Dissertação (Mestrado em Ciências) Programa de Pós-Graduação em Energia da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2017.

PERES, J.A. **Projecto Biocombus**. Universidade de Trás Montes e Alto Douro. 2015

PORTAL RESÍDUOS SÓLIDOS - PRS. Biodigestor para dejetos de suínos e resíduos de silagem de milho na Alemanha. Disponível em: <<https://portalresiduossolidos.com/biodigestor-para-dejetos-de-suinos-e-residuos-de-silagem-de-milho-na-alemanha/>> . Acesso em: 18 jul. 2018.

PRATI, L. **Geração de energia elétrica a partir do biogás gerado por biodigestores**. Dissertação - Engenharia Elétrica, Setor de Tecnologia, Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Paraná, 2010.

PROZIL, S.O.; MENDES, J.A.; EVTUGUIN, D.V.; LOPES, L.P.C. **Caracterização do Engaço da Uva e Avaliação do seu Potencial como Matéria-Prima Lenhocelulósica**. *Millenium*, 44. Pp. 23-40. 2013.

QIAN, et al. Effects of Percolate Recirculation on Dry Anaerobic Co-digestion of Organic Fraction of Municipal Solid Waste and Corn Straw. Alemanha, 2017. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/320317270_Effects_of_Percolate_Recirculation_on_Dry_Anaerobic_Co-digestion_of_Organic_Fraction_of_Municipal_Solid_Waste_and_Corn_Straw>. Acesso em: 10 out. 2018.

RAPOSO, F. et al. Anaerobic digestion of solid organic substrates in batch mode: An overview relating to methane yields and experimental procedures. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [S.l.], v. 16, p. 861-877,2011.

REGO, E.E.; HERNÁNDEZ, F.M. **Eletricidade por digestão anaeróbia da vinhaça de cana-de-açúcar. Contornos técnicos, econômicos e ambientais de uma opção**. An. 6. Enc. Energ. Meio Rural 2006.

REICHERT, G.A.; Aplicação da Digestão Anaeróbia de Resíduos Sólidos Urbanos: Uma Revisão. In: 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. **Anais...** ABES - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. Campo Grande – MS. 2005.

REIS, M.F.P. **Avaliação do processo de compostagem de resíduos sólidos urbanos**. 2005. Tese - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, RS. 2005.

RIO GRANDE DO SUL. **Lei Estadual Nº 9.921/1993, de 27 de Julho de 2009**. Dispõe sobre a gestão dos resíduos sólidos, nos termos do artigo 247, parágrafo 3º da Constituição do Estado e dá outras providências. Disponível em: <<http://www.fepam.rs.gov.br/legislacao/arq/leg0000000028.pdf>>. Acesso em: 12 fev. 2018.

_____. **Lei Estadual N° 14.528/2014, de 16 de Abril de 2014.** Institui a Política Estadual de Resíduos Sólidos e dá outras providências. Disponível em: <<http://www.al.rs.gov.br/filerepository/replegis/arquivos/lei%2014.528.pdf>>. Acesso em: 12 fev. 2018.

_____. **Lei Estadual N° 14.864/2016, de 11 de Maio de 2016.** Institui a Política Estadual do Biometano, o Programa Gaúcho de Incentivo à Geração e Utilização de Biometano - RS-GÁS - e dá outras providências. Disponível em: <<http://www.legislacao.sefaz.rs.gov.br/Site/Document.aspx?inpKey=249414&inpCodDispositivo=&inpDsKeywords=14864>>. Acesso em: 22 fev. 2018.

RIZZON, L.A.; **Sistema de produção de vinho tinto.** Sistemas de Produção - EMBRAPA Uva e Vinho - CNPUV. Bento Gonçalves, 2006.

RIZZON, L.A.; DALL`AGNOL, I. **Vinho tinto.** Sistemas de Produção - Agroindústria Familiar – Bento Gonçalves: EMBRAPA Uva e Vinho, 2007.

RIZZON, L.A.; MENEGUZZO, J. **Suco de uva.** Sistemas de Produção - Agroindústria Familiar – Bento Gonçalves: EMBRAPA Uva e Vinho, 2007.

RIZZONI, L. B.; TOBIAS, A. C. T.; DEL BIANCHI, M.; GARCIA, J. A. D. Biodigestão anaeróbia no tratamento de dejetos de suínos. **Revista Científica Eletrônica De Medicina Veterinária**, Alfenas, p.7-8, 2012.

ROS, C. da et al. Renewable energy from thermophilic anaerobic digestion of winery residue: Preliminary evidence from batch and continuous lab-scale trials. **Biomass And Bioenergy**, [s.l.], v. 91, p.150-159, ago. 2016. Elsevier BV. Disponível em: <<https://www-sciencedirect.com.ez314.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0961953416301696>>. Acesso em: 20 Dez. 2017.

SALOMON, Karina Ribeiro; LORA, Electo Eduardo Silva. Estimativa do Potencial de Geração de Energia Elétrica para diferentes fontes de Biogás no Brasil. **Renabio**, Itajubá - Mg, v. 2, n. 1, p.57-67, 03 mar. 2006.

SAN PEDRO. 360º Sustentabilidade. Disponível em: <<http://www.sanpedro.cl/sustainability-medioambiente/>>. Acesso em: 10 abr. 2018.

SASSE, L. B. **Decentralized Wastewater Treatment in Developing Countries.** Bremen: Bremen Overseas Research and Development Association . 1998.

SCHIEBER, A.; STINTZING, F. C.; CARLE, R. Byproducts of plant food processing as a source of functional compounds: recent developments. **Trends Food Science Technology**, Cambridge, v. 12, p. 401-413, 2001.

SGORLON, J.G.; RIZK, M.C.; BERGAMASCO, R.; TAVARES, C.R.G.; Avaliação da DQO e da Relação C/N Obtidas no Tratamento Anaeróbio de Resíduos Fruti-hortícolas. **Acta Scientiarum Technology**, v.33, n.4, p.421-424. 2011.

SILVA, Luís Manuel Lopes Rodrigues Da. **Caracterização dos subprodutos da vinificação**, 2003. Disponível em: <<http://www.ipv.pt/millennium/millennium28/10.pdf>>. Acesso em: 22 de agosto de 2016.

SOARES, M; WELTER, L; KUSKOSKI, E.M; GONZAGA, L; FETT, R. Compostos fenólicos e atividade antioxidante da casca de uvas Niágara e Isabel. **Rev. Bras. Frutic.**, v. 30, p. 059-064, 2008. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-29452008000100013>> Acesso em: 22 de mar. 2018.

SOSA, R.; CHAO, R.; RÍO, D. J. **Aspectos Bioquímicos y Tecnológicos del Tratamiento de Residuales Agrícolas con Producción de Biogás**, 2004.

SOUZA, M. L. B.; LAGE, F. A. **Emprego de biodigestores anaeróbios no aproveitamento energético de resíduos animais e controle da poluição ambiental**. Disponível em: <http://revista.oswaldocruz.br/Content/pdf/Edicao_06_Maria_Luiza_Borges_souza.pdf>. Acesso em: 12 de mar. 2018.

VANDEVIVERE P. et. al. **Types of anaerobic digesters for solid wastes in biomethanization of the organic fraction of municipal solid wastes**. v. 4, p. 111 - 147, London, IWA Publishing. 2002.

VEDANA, M. **Projeto de reator anaeróbio para obtenção de metano a partir de resíduos vínicos**. 2017. 51 f. Dissertação – Curso de Engenharia Química, Universidade de Caxias do Sul, 2017.

VILLELA, I.A.C; SILVEIRA, J.L. **Aspectos históricos e técnicos do biogás produzido por biodigestores rurais**. No prelo.2002.

XAVIER, C. A. N.; LUCAS JÚNIOR, J. de. Parâmetros de dimensionamento para biodigestores batelada operados com dejetos de vacas leiteiras com e sem uso de inoculo. **Revista Engenharia Agrícola, Jaboticabal**, v. 30, n.2, p. 212-223, mar./abr. 2010. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-69162010000200003>> Acesso em: 22 maio. 2018.

YADVIKA, S.; SREEKRISHNAN, T.R.; KOHLI, S.; RANA, V. Enhancement of biogas production from solid substrates using different techniques - a review. **Bioresource Technology**, Essex, v.95, n.1, p.1-10, 2004.

APÊNDICES

APÊNDICE A: ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS

As especificações técnicas referem-se às características a serem observadas para a execução do projeto em termos de dimensões, equipamentos, materiais e serviços. O presente projeto compreende uma planta de tratamento anaeróbio de resíduos sólidos gerados no processo de vinificação, visando à produção de biogás, composto e energia elétrica.

1 LICENCIAMENTO AMBIENTAL

Para a viabilização deste empreendimento serão necessárias as licenças ambientais que devem ser solicitadas junto a FEPAM. Como o local não possui licenciamento ambiental deverá ser feito o pedido das seguintes licenças: Licença Prévia, Licença de Instalação e Licença de Operação.

1.1 LICENÇA PRÉVIA

Esta licença será necessária para a aprovação da área e do projeto a ser implantado. Aprova a viabilidade ambiental do empreendimento, não autorizando o início das obras. Para encaminhar a licença devem ser preenchidos os formulários e efetuar o pagamento das taxas solicitadas junto a FEPAM.

1.2 LICENÇA DE INSTALAÇÃO

Tendo a liberação da Licença Prévia deve-se encaminhar o pedido da Licença de Instalação, juntamente com a apresentação do projeto proposto à FEPAM, e novamente realizar o pagamento das taxas necessárias. Essa licença é a que irá permitir o início das obras.

1.3 LICENÇA DE OPERAÇÃO

Após o atendimento das exigências da Licença de Instalação, deve-se fazer o pedido da Licença de Operação do empreendimento. Com o encaminhamento da documentação e o pagamento da taxa, a FEPAM realizará vistoria para verificação da

execução do projeto. Se as condições e restrições presentes nas licenças anteriores estiverem de acordo, a Licença de Operação será emitida, na qual estarão estabelecidas condicionantes ambientais para a sua operação.

2 PREPARAÇÃO DO TERRENO E TERRAPLENAGEM

O sistema de tratamento com geração de energia elétrica ocupará uma área de 15.000 m² aproximadamente. Antes da instalação das unidades, será necessária a preparação de todo terreno, através da limpeza (manual e mecânica) e terraplenagem das áreas que apresentam alguma declividade.

3 ÁREA DE ENSILAGEM

Conforme citado anteriormente, será utilizado o sistema de ensilagem para o armazenamento dos resíduos e para proporcionar o abastecimento dos biodigestores durante o ano. Anualmente, serão recebidos 52.096,5 m³, parte desse volume será direcionada diretamente para as garagens e o restante para a área de ensilagem, onde ocorre uma redução do volume devido à compactação. Desta forma o espaço para armazenamento foi dimensionado para um volume de 29.700 m³.

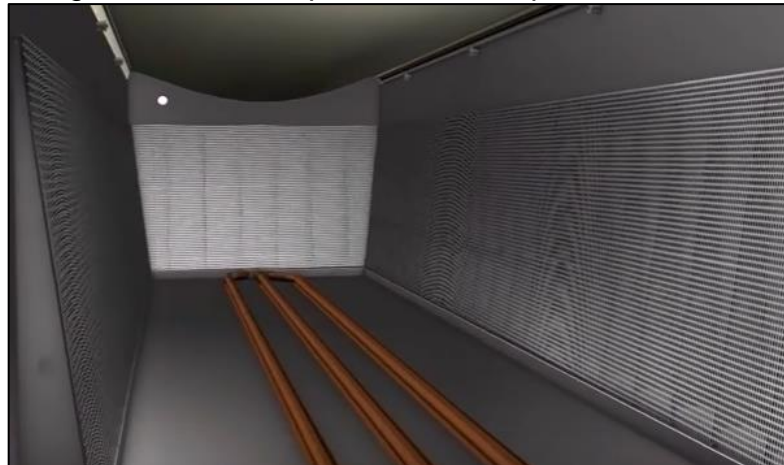
Esse espaço será composto por um piso impermeabilizado de concreto de 120 metros de largura por 45 metros de comprimento com declividade de 1%, subdivido em quatro baias através de paredes de 5,5 metros de altura, com 0,20 metros de espessura. Por tratar-se de um processo anaeróbio, os resíduos serão vedados com uso de lonas plásticas para silagem de alta qualidade e resistência. A área contará ainda com telhado meia água.

O sistema de contenção para possível geração de lixiviado será composto por uma canaleta de concreto no formato semicírculo com 0,15 metros de profundidade, 0,3 metros de largura, espessura de extensão igual do piso e 0,41% de declividade. A canaleta ficará na parte da frente das baias e terá na sua parte superior grade para canaleta de ferro fundido. Uma tubulação de PVC DN 75 será instalada no final da canaleta, conectando-a ao tanque de armazenamento de lixiviado.

4 REATORES TIPO GARAGEM

Os reatores tipo garagem serão construídos em concreto armado, dispostos na horizontal, de formato retangular (6 X 22 X 6 m) e paredes com 0,15 m de espessura, com uma declividade de 2%. Ao longo de todo o perímetro dos reatores haverá canaletas para coleta do lixiviado gerado durante o processo de digestão. Para auxiliar a retirada do lixiviado e evitar entupimentos nas canaletas, os reatores contarão com grades perfuradas de aço inox nas paredes laterais e também na parede do fundo, que serão instaladas de forma inclinada (Figura 1 e 2). As grades laterais terão espessura de 5 mm, comprimento de 21,5 m e 4,5 m de altura, a grade que ficará ao fundo será de 5,74 m de largura. A fim de garantir um ambiente anaeróbico no interior das garagens, será utilizada porta inteiriça com fechamento hermético, de 5 m de largura e 4 m de altura.

Figura 1 – Grades perfuradas nas paredes laterais



Fonte: Zero Waste Energy's SMARTFERM (2014)

Figura 2 – Grade perfurada de aço inox



Fonte: INOXPLASMA⁷ (2018)

Os resíduos serão inseridos nos reatores e retirados ao fim do processo de digestão através de pá carregadeira. Para o presente projeto, considerou-se a utilização de pá carregadeira braço longo com alcance de 5,4 metros de altura, caçamba com capacidade de carregamento de 1,4 m³. Diante da quantidade de resíduo, optou-se por trabalhar com duas máquinas disponíveis na planta. Para o preenchimento de cada reator foi previsto o período de 7 horas, e para a retirada dos resíduos, entre 4 e 5 horas.

4.1 SISTEMA DE AERAÇÃO

A introdução de ar no sistema tem o objetivo de iniciar o processo de degradação aeróbica, e será utilizada, antes da inoculação, através de uma aeração curta com difusores de ar localizados abaixo do substrato depositado. O ar fornecido também irá aquecer o sistema rápida e uniformemente. Depois disso, o aquecimento incorporado às paredes dos reatores assegura uma temperatura de processo ideal (30 a 35°C). Ao final do ciclo de digestão, antes da abertura, o reator também será aerado a fim de promover uma secagem prévia do material antes de sua remoção e evitar a emissão de metano, que pode criar um ambiente explosivo.

A especificação do soprador foi realizada através de consulta ao fabricante. Para essa especificação, informou-se ao fabricante a vazão de ar (1.000 m³/min) e a pressão necessária (600 mbar). Esses dados foram adotados com base no processo de compostagem, conforme Fernandes e Silva (1999). Diante disso, a aeração será realizada através de soprador tipo roots modelo SRBS-46/2 – MOTOR 40 CV/2P (Figura 3), por três tubulações de aço inox diâmetro 75 mm, de 20 m de comprimento, sendo os orifícios de saída de ar de 20 mm de diâmetro e espaçados de 0,2 m. As tubulações serão instaladas 0,5 m distantes uma da outra na parte inferior interna de cada garagem, de modo que fiquem abaixo do substrato, conforme é apresentado na Figura 4.

⁷ INOXPLASMA. Produtos. Disponível em: <<http://www.inoxplasma.com.br/produtos>>. Acesso em: 13 set. 2018

Figura 3 – Soprador de ar



Fonte: Robuschi, 2018

Figura 4 – Tubulações para injeção de ar no reator



Fonte: Zero Waste Energy's SMARTFERM (2014)

Para evitar entupimentos, as tubulações serão recobertas com uma camada de 0,2-0,3 m de resíduo estruturante seco. Devido a sua porosidade e resistência mecânica, optou-se pela utilização de cavacos de madeira.

O ar injetado ao final do ciclo será direcionado por tubulação aço inox diâmetro 75 mm até o filtro de carvão ativado, para o devido tratamento.

4.2 SISTEMA DE RECIRCULAÇÃO DO LIXIVIADO

Conforme já citado, no interior das garagens não existirá equipamentos e sistema de agitação. Desta forma o processo de fermentação será facilitado através da recirculação do lixiviado, que envolve a pulverização da biomassa com o próprio

lixiviado gerado no processo, o qual será coletado pelo fundo do reator. Este lixiviado servirá como inóculo (contém bactérias), mantendo a biomassa úmida (>70% de umidade) e aumentando as interações resíduo-bactérias.

A recirculação será realizada 10 minutos por hora, 6 horas por dia (no total 60 minutos por dia) durante os primeiros 20 dias do processo. O lixiviado será recirculado por tubulação de PPR de 20 m de comprimento e diâmetro 32 mm instalada na parte superior interna de cada garagem, a qual estará interligada ao tanque de armazenamento através de uma tubulação de PPR de 42 m de comprimento e 90 mm de diâmetro, instalada aos fundos, na parte externa das garagens com o uso de joelhos e luvas de PPR. Do tanque de armazenamento para as garagens, o lixiviado será bombeado através de bomba centrífuga com capacidade de 10 m³/h. Para a pulverização serão utilizados 4 aspersores instalados na tubulação interna com uma distância de 5 m um do outro.

4.3 COLETA DO LIXIVIADO

Nas laterais e no fundo dos reatores serão feitas canaletas de concreto no formato semicircular com 0,20 m de largura e 0,10 m de profundidade, nas laterais as canaletas terão 21,5 m de comprimento e no fundo 5,6 m, instaladas de modo que fiquem para o lado de fora das grades perfuradas, conforme apresentado na Figura 5.

Figura 5 – Canaleta para o lado de fora das grades



Fonte: Zero Waste Energy's SMARTFERM (2014)

Através das canaletas o lixiviado será direcionado até um compartimento de formato retangular (48 X 1 X 1 m), também de concreto, que ficará abaixo do solo na

parte de trás dos reatores. Para isso, será necessária escavação de 1 m para que a estrutura do compartimento seja construída. No final das canaletas serão instaladas tubulações de PPR DN 75, para que ocorra o direcionamento do líquido para esse compartimento. Da mesma forma, na parte final do compartimento haverá uma tubulação de PVC DN 200, interligando-o ao tanque de armazenamento de lixiviado.

4.4 COLETA DO BIOGÁS

A coleta do biogás será realizada através de tubulação de aço inox 304 diâmetro 75 mm, instalada externamente aos fundos dos reatores, a qual terá 0,5 m de comprimento para dentro dos reatores. Através desta tubulação, o biogás será direcionado até o gasômetro dupla membrana.

5 ARMAZENAMENTO DO COMPOSTO RESULTANTE DO PROCESSO

No presente projeto, é proposto que o material digerido seja utilizado como composto, sendo armazenado por um período de 7 dias, após o fim da digestão anaeróbia, na área projetada para este fim, e posteriormente destinado diretamente para o uso final (propriedades rurais ou distribuidoras de composto). Não está previsto no projeto, porém sugere-se que sejam feitas análises para confirmar se o material poderá ser utilizado diretamente como composto, ou deverá ser encaminhado para compostagem.

O material digerido será retirado dos reatores por pá carregadeira e depositado na área de armazenamento, a qual será construída em concreto armado, localizada em frente aos reatores.

6 IMPERMEABILIZAÇÃO DAS ÁREAS

A impermeabilização do piso da área de ensilagem e dos reatores será concebida de forma a garantir dupla camada de proteção contra infiltrações no solo. Será composta basicamente pelas seguintes camadas:

- Concreto – função estrutural

- Geotextil – função mecânica
- Geomembrana – função impermeabilizante
- GCL – função impermeabilizante

O objetivo da impermeabilização é que qualquer material líquido que venha a atravessar a camada de concreto estrutural seja contido pela camada de geomembrana, e caso a geomembrana venha apresentar alguma falha, esse material líquido seja contido pela camada de GCL instalada.

7 TANQUE DE ARMAZENAMENTO DE LIXIVIADO

Após coletado no compartimento que ficará abaixo dos reatores, o lixiviado será direcionado até o tanque de armazenamento por gravidade, através de tubulação de PVC DN 200, localizada ao fim do compartimento. O tanque será em formato cilíndrico, de concreto armado com paredes de 0,2 m de espessura.

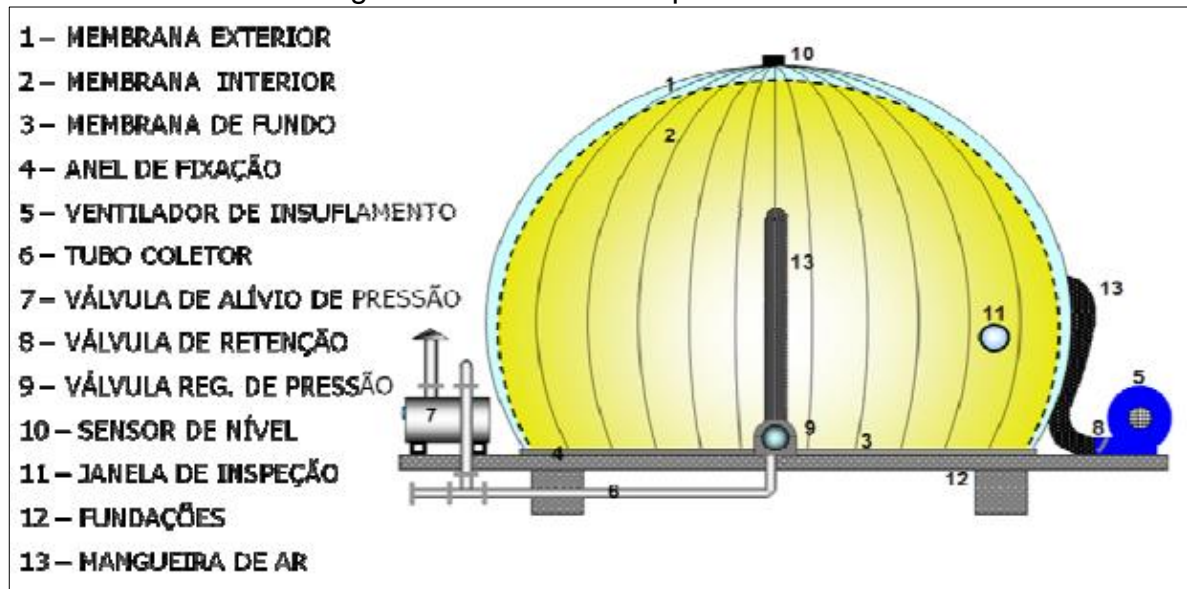
8 ARMAZENAMENTO DO BIOGÁS

Para o armazenamento do biogás será utilizado gasômetro do tipo bolha, o qual será instalado sobre uma base de concreto de 21 m de largura por 21 m de comprimento (Figura 6). O gasômetro será composto por três membranas, de fundo, interna e externa. A membrana externa em tecido poliéster, recoberta por ambos os lados de PVC resistente a radiação ultravioleta, protegida por fungicida, em forma de bola 3/4, adicionalmente reforçada em todas as uniões e termosoldado por alta frequência, resistente a ruptura instantânea aproximadamente 5.000 N/5 cm (TECON, 2018). As membranas interior e de fundo também serão em tecido poliéster e recoberta em ambos os lados de PVC. Um ventilador sopra ar entre as membranas interna e externa em combinação com uma válvula reguladora de pressão para assegurar uma pressão de funcionamento constante.

Para a fixação do balão contra a parte de alvenaria, é utilizado o anel de ancoragem, em perfil “U”, confeccionado em aço inox 304. A quantidade de gás armazenado é medida por medidor ultrassônico. Para proteger o gasômetro contra excesso de pressão, tem-se a válvula de alívio de pressão. A entrada e saída do biogás acontecem por meio de um tubo de aço inox instalado na base de concreto.

Composta de anel de vedação e placa acrílica de 550 mm, o gasômetro conta ainda com uma janela transparente, permitindo a visualização do interior do mesmo.

Figura 6 - Gasômetro dupla membrana



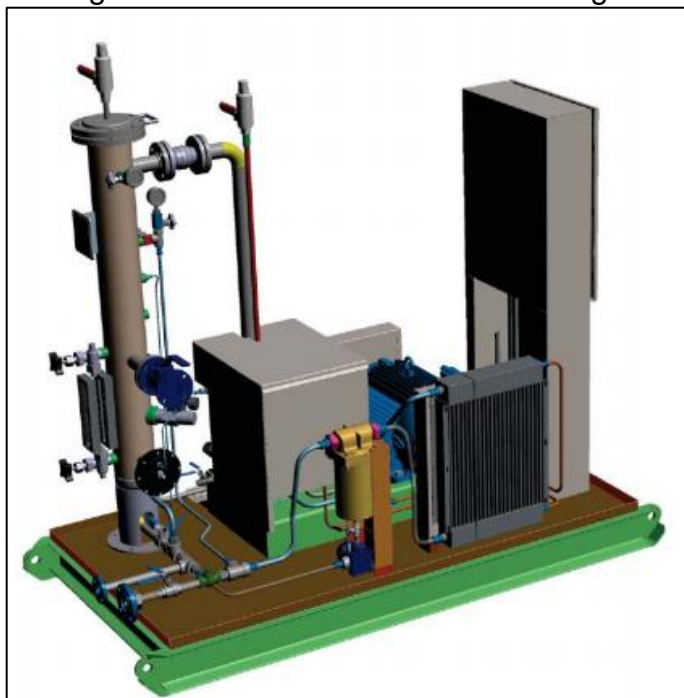
Fonte: TECON, 2018

9 PURIFICAÇÃO DO BIOGÁS

Para a realização da compressão do gás combustível, e seu tratamento subsequente, será utilizado o sistema de tratamento apresentado na Figura 7. O sistema é constituído por um estrado de aço estrutural reforçado, no qual serão montados os equipamentos que o compõe.

No compressor, o processo começa com um filtro de sucção, que por sua vez será acoplado ao motor elétrico por polias e correias. Como o compressor é integral, a mistura de gases se separa no mesmo cárter do compressor, um cartucho de filtro termina separando o gás do óleo, através de um filtro de óleo. O sistema possui válvulas manuais na sucção e descarga e uma válvula reguladora de pressão na descarga. Para o gás de descarga é fornecido um aerotermo, após o resfriamento o gás passa por um filtro de coalescência e um filtro de partículas para reter a condensação que poderia ser causada.

Figura 7 – Sistema de tratamento de gás

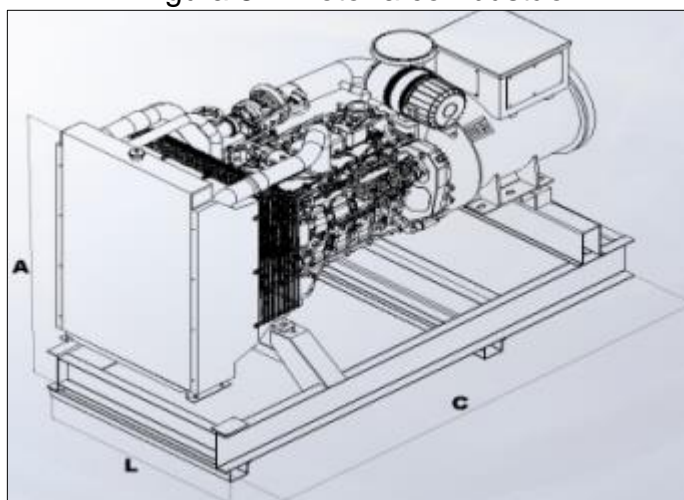


Fonte: Capstone⁸, 2018

10 GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

Para geração de energia elétrica será utilizado motor a combustão, com regime de potência 420 KVA/ 336 KW, dimensões A = 2,125 m, L = 1,335 m e C = 3,275 m conforme apresentado na Figura 8.

Figura 8 – Motor a combustão



Fonte: Leão Energia, 2018.

⁸ CAPSTONE. **Informações sobre purificador de biogás** [Mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <Matheus.cardozo@fluxosolutions.com.br> em 25 set. 2018.

11 MONITORAMENTO E OPERAÇÃO DA PLANTA

11.1 PARTIDA DO SISTEMA

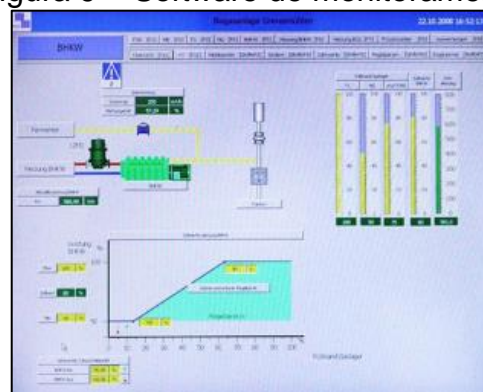
O processo será iniciado pelo preenchimento de um dos reatores tipo garagem. Na partida, os resíduos serão descarregados diretamente no reator, sem passar pelo processo de ensilagem. Em seguida, o reator será fechado e a injeção de ar realizada por aproximadamente 20 minutos, para que o ambiente se torne anaeróbio e a temperatura fique próxima de 20°C.

Para partida do sistema será avaliada a utilização do efluente vinícola para aspersão no substrato, tendo em vista que a geração de lixiviado suficiente para recirculação será obtida a partir do terceiro dia do processo. Diante disso, é previsto o recebimento e armazenamento de 4 m³ de efluente vinícola no tanque de armazenamento de lixiviado.

11.2 MONITORAMENTO DO SISTEMA

Para o monitoramento do sistema, a planta contará com um controle eletrônico central. A aquisição de dados inclui todas as informações técnicas essenciais da usina como: quantidade de entrada de substratos nos recipientes de armazenagem; volume de substratos que alimentam os reatores; nível e temperatura dos substratos; quantidade e qualidade de geração de gás; eficiência térmica e elétrica de geração, temperatura, pH, etc. Estes dados serão apresentados por um software de monitoramento, como pode ser visualizado na Figura 9.

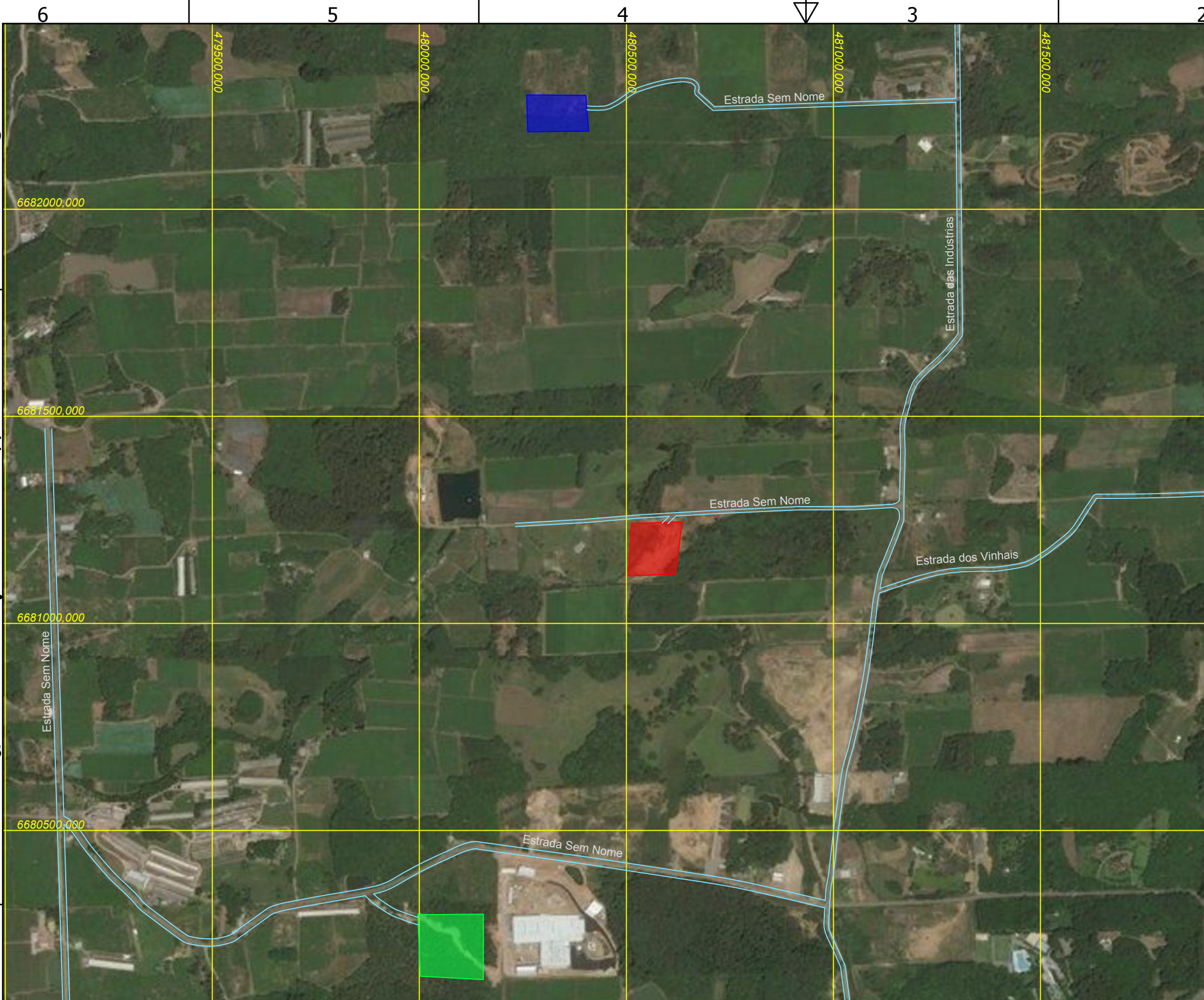
Figura 9 – Software de monitoramento



Fonte: SNSA (2015).

Os dados serão armazenados na central e exibidos no monitor central. O controle dos componentes, relatório e *check list* serão realizados diariamente. No software também está incluso a informação automática sobre distúrbios da planta, com avisos imediatos por telefone e *e-mail*. A automatização da planta e de seu monitoramento contribui para a eficiência do funcionamento e produção constante de energia da planta.

APÊNDICE B: PEÇAS GRÁFICAS



- Legenda**
- Área 1
 - Área 2
 - Área 3

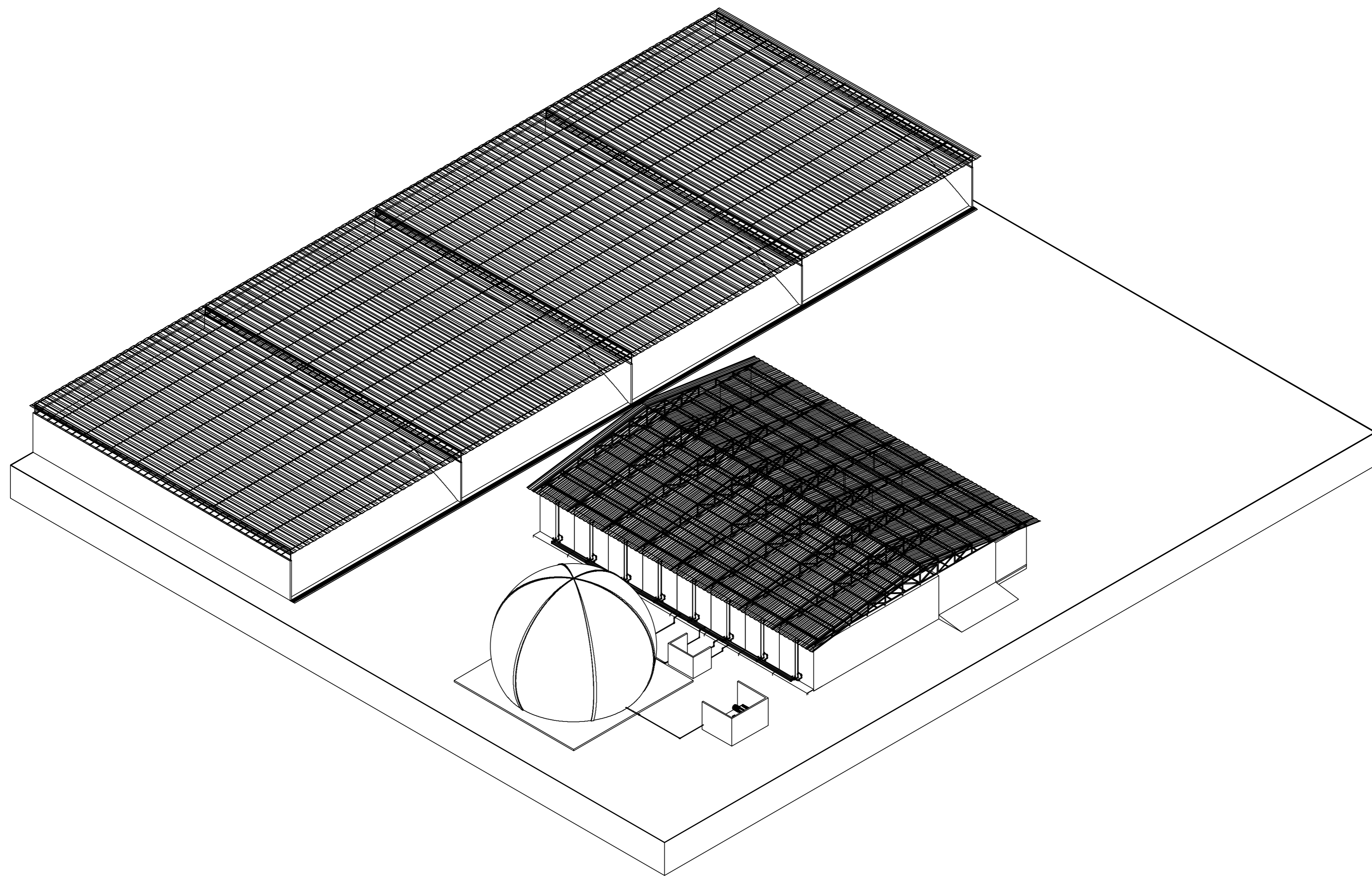
Universidade de Caxias do Sul - UCS				
Aluno (a): Natália da Cunha	Disciplina: Trabalho de Conclusão de Curso II	Data: 19/11/2018		
PROJETO DE UMA PLANTA DE TRATAMENTO ANAERÓBIO DE RESÍDUOS VÍNICOS COM APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DO BIOGÁS GERADO		Planta de Localização e Situação		
		Prancha: 1 / 20	Unidade: Metro	Form: A3



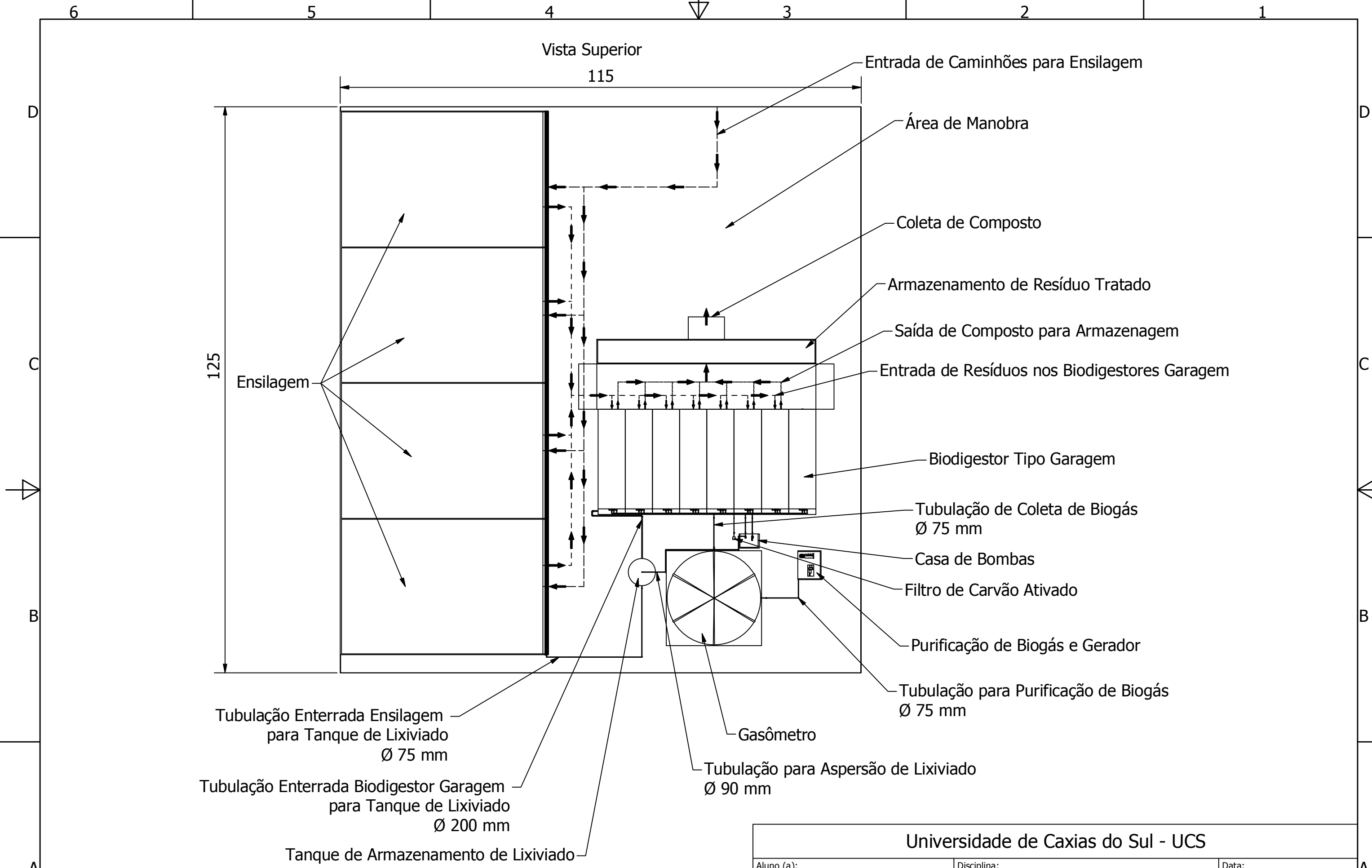
Universidade de Caxias do Sul - UCS				
Aluno (a): Natália da Cunha		Disciplina: Trabalho de Conclusão de Curso II		Data: 19/11/2018
PROJETO DE UMA PLANTA DE TRATAMENTO ANAERÓBIO DE RESÍDUOS VÍNICOS COM APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DO BIOGÁS GERADO			Planta de Localização e Situação Área 3	
			Prancha 2 / 20	Unidade Metro



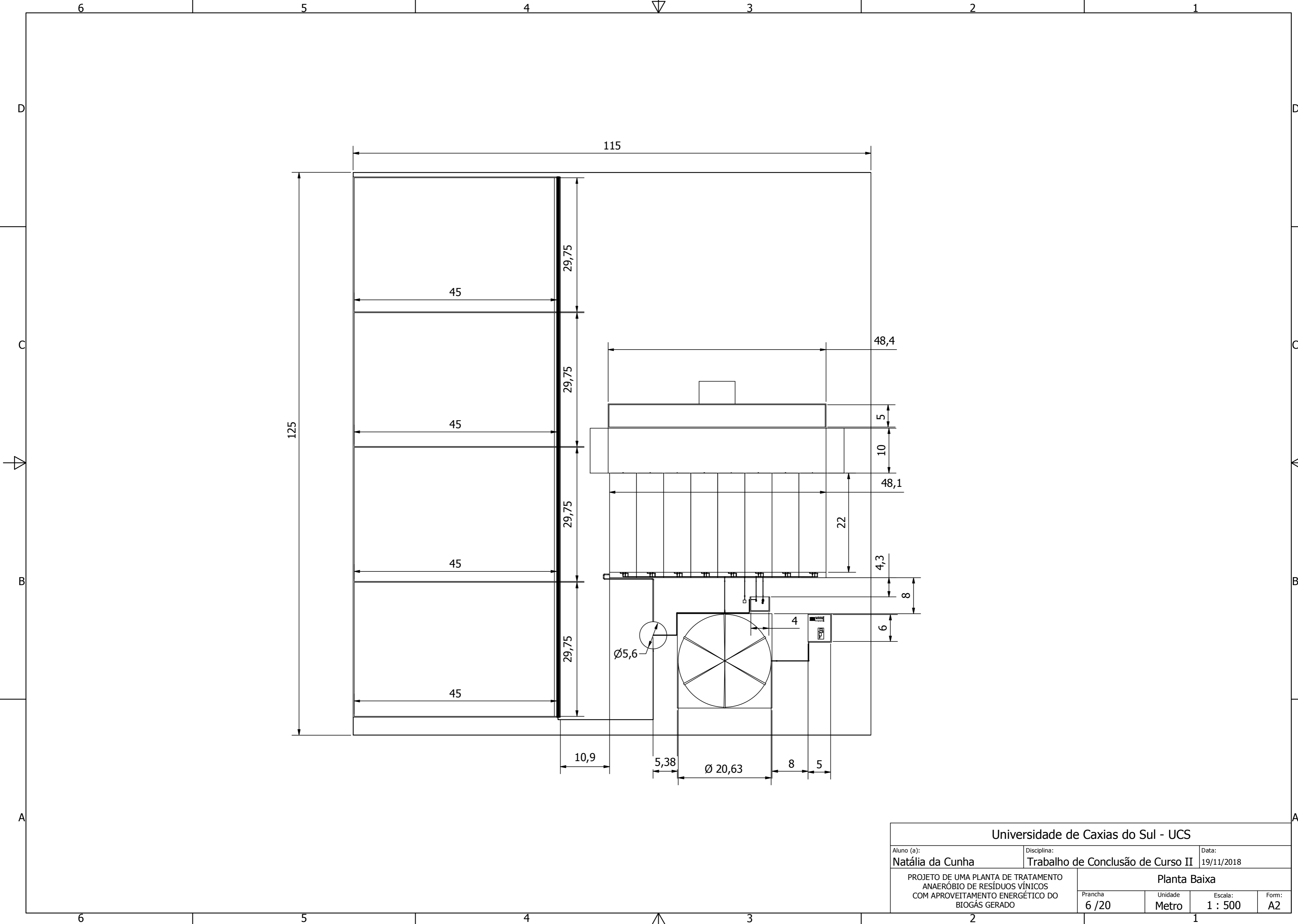
Universidade de Caxias do Sul - UCS				
Aluno (a): Natália da Cunha		Disciplina: Trabalho de Conclusão de Curso II		Data: 19/11/2018
PROJETO DE UMA PLANTA DE TRATAMENTO ANAERÓBIO DE RESÍDUOS VÍNICOS COM APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DO BIOGÁS GERADO			Planta de Localização e Situação Área 3	
			Prancha 3 / 20	Unidade Metro



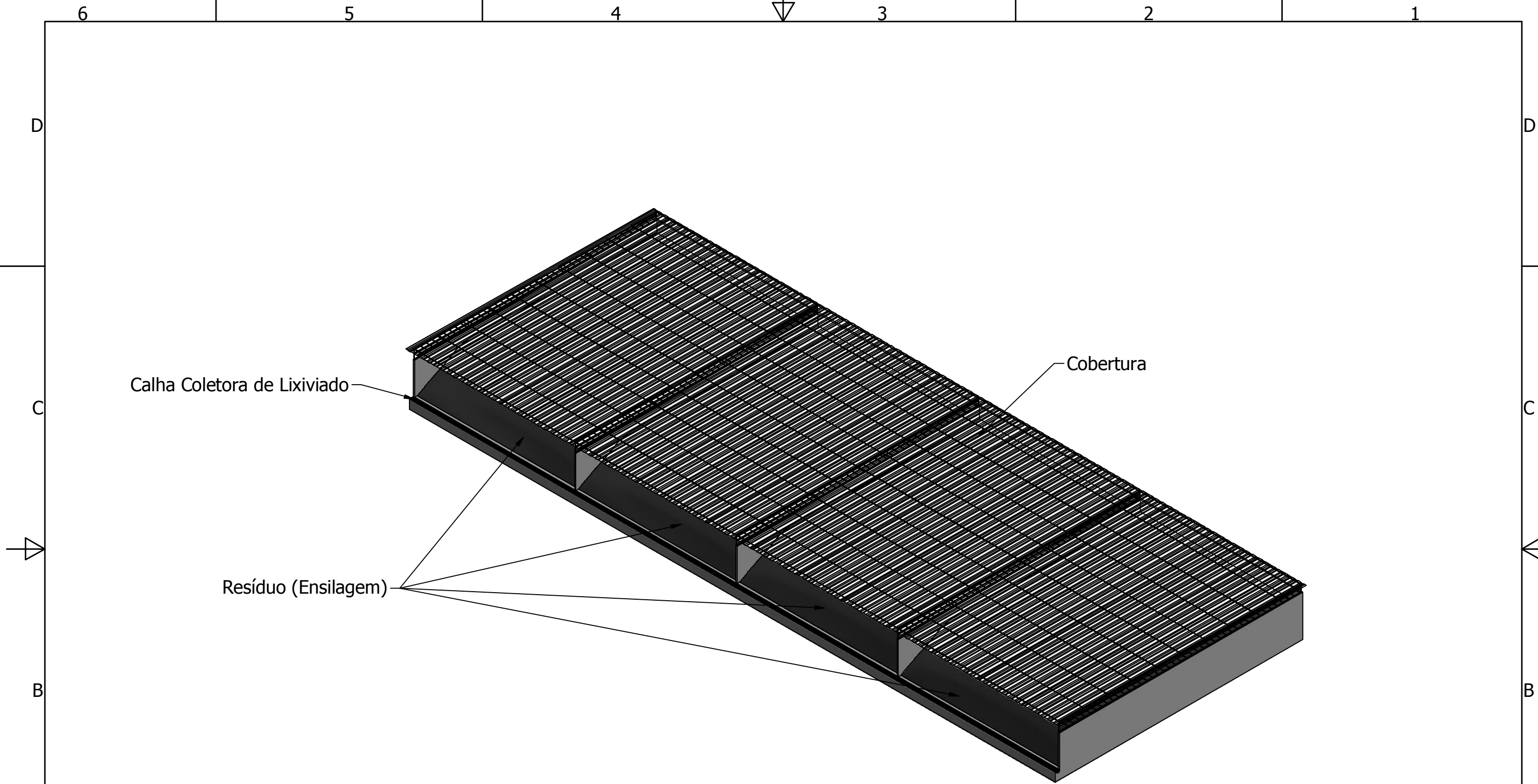
Universidade de Caxias do Sul - UCS				
Aluno (a): Natália da Cunha	Disciplina: Trabalho de Conclusão de Curso II	Data: 19/11/2018		
PROJETO DE UMA PLANTA DE TRATAMENTO ANAERÓBIO DE RESÍDUOS VÍNICOS COM APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DO BIOGÁS GERADO		Visão Geral		
		Prancha 4 / 20	Unidade Metro	Escala: 1 : 350
				Form: A2



Universidade de Caxias do Sul - UCS				
Aluno (a): Natália da Cunha		Disciplina: Trabalho de Conclusão de Curso II		Data: 19/11/2018
PROJETO DE UMA PLANTA DE TRATAMENTO ANAERÓBIO DE RESÍDUOS VÍNICOS COM APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DO BIOGÁS GERADO			Planta Baixa	
			Prancha 5 / 20	Unidade Metro



Universidade de Caxias do Sul - UCS				
Aluno (a): Natália da Cunha		Disciplina: Trabalho de Conclusão de Curso II		Data: 19/11/2018
PROJETO DE UMA PLANTA DE TRATAMENTO ANAERÓBIO DE RESÍDUOS VÍNICOS COM APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DO BIOGÁS GERADO			Planta Baixa	
			Prancha 6 / 20	Unidade Metro



A

A

B

B

C

C

D

D

6

5

4

3

2

1

Universidade de Caxias do Sul - UCS				
Aluno (a): Natália da Cunha		Disciplina: Trabalho de Conclusão de Curso II		Data: 19/11/2018
PROJETO DE UMA PLANTA DE TRATAMENTO ANAERÓBIO DE RESÍDUOS VÍNICOS COM APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DO BIOGÁS GERADO			Ensilagem	
			Prancha 7 / 20	Unidade Metro

6

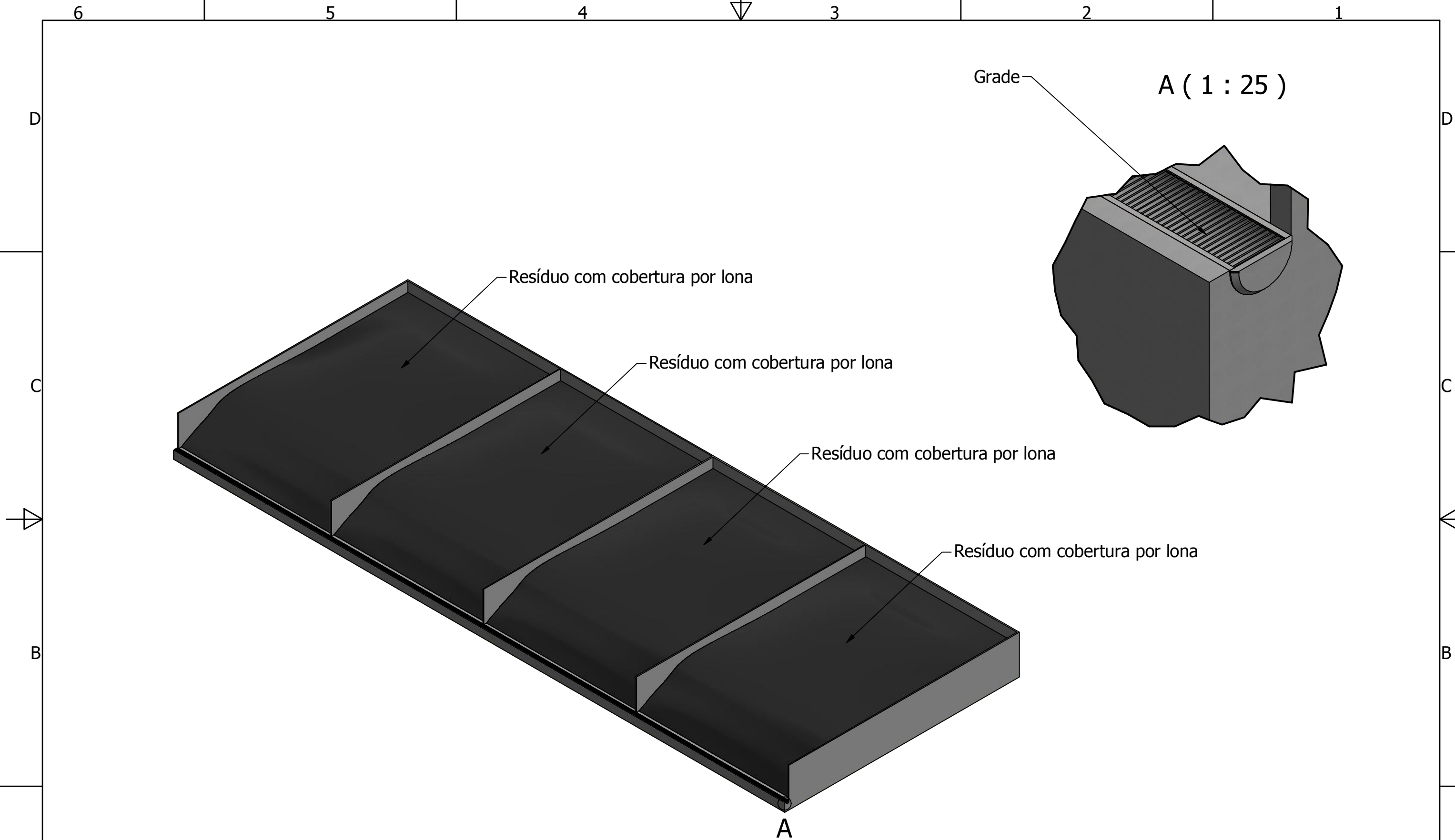
5

4

3

2

1



A

A

Universidade de Caxias do Sul - UCS				
Aluno (a): Natália da Cunha		Disciplina: Trabalho de Conclusão de Curso II		Data: 19/11/2018
PROJETO DE UMA PLANTA DE TRATAMENTO ANAERÓBIO DE RESÍDUOS VÍNICOS COM APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DO BIOGÁS GERADO			Ensilagem	
			Prancha 8 / 20	Unidade Metro

6

5

4

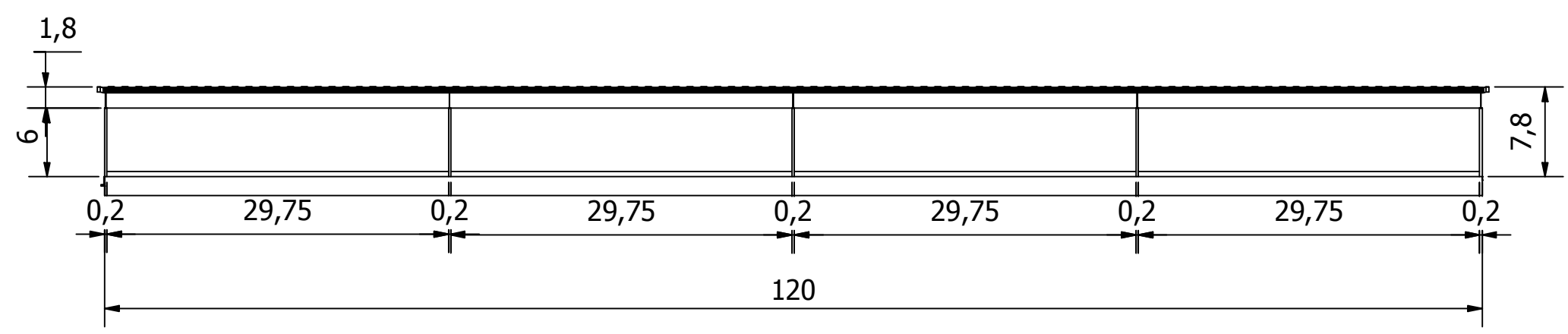
3

2

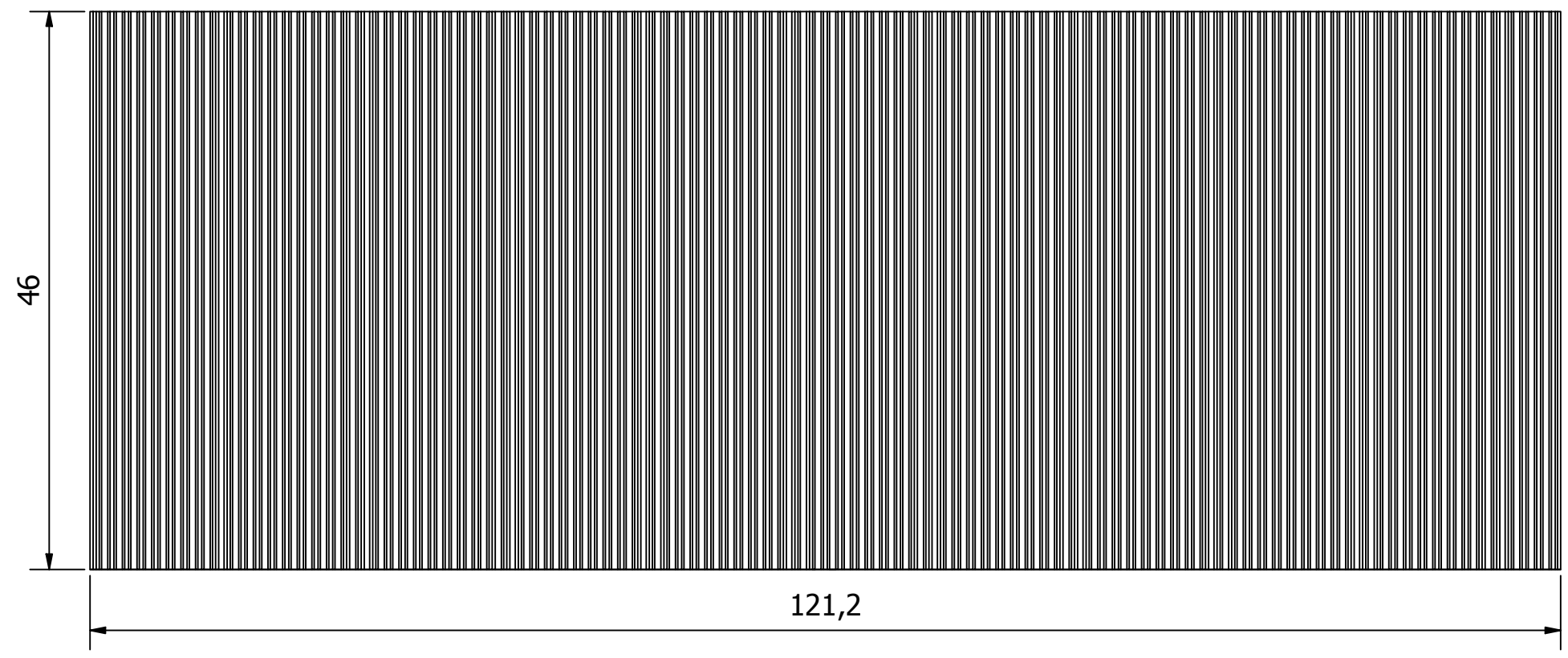
1

6 5 4 3 2 1

Vista Frontal



Vista Superior



D

C

B

A

D

C

B

A

Universidade de Caxias do Sul - UCS

Aluno (a): Natália da Cunha	Disciplina: Trabalho de Conclusão de Curso II	Data: 19/11/2018
---------------------------------------	---	----------------------------

PROJETO DE UMA PLANTA DE TRATAMENTO ANAERÓBIO DE RESÍDUOS VÍNICOS COM APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DO BIOGÁS GERADO

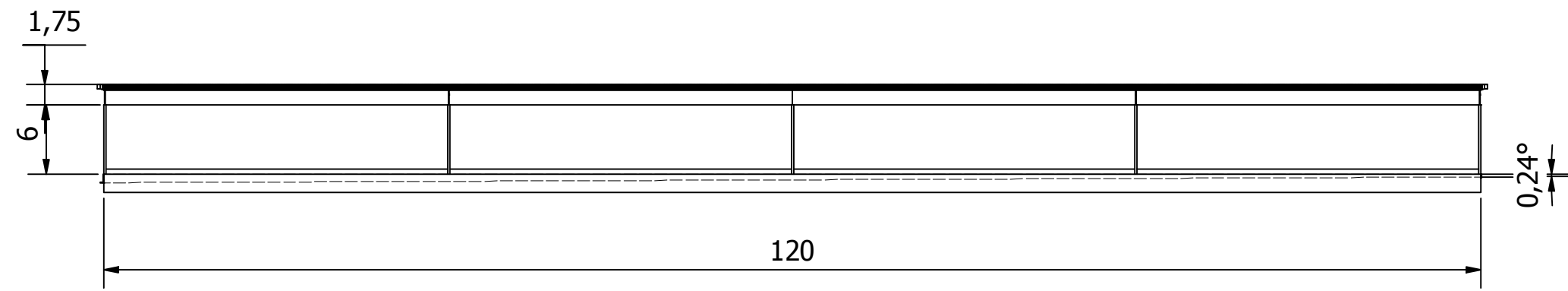
Ensilagem

Prancha 9 / 20	Unidade Metro	Escala: 1 : 500	Form: A3
--------------------------	-------------------------	---------------------------	--------------------

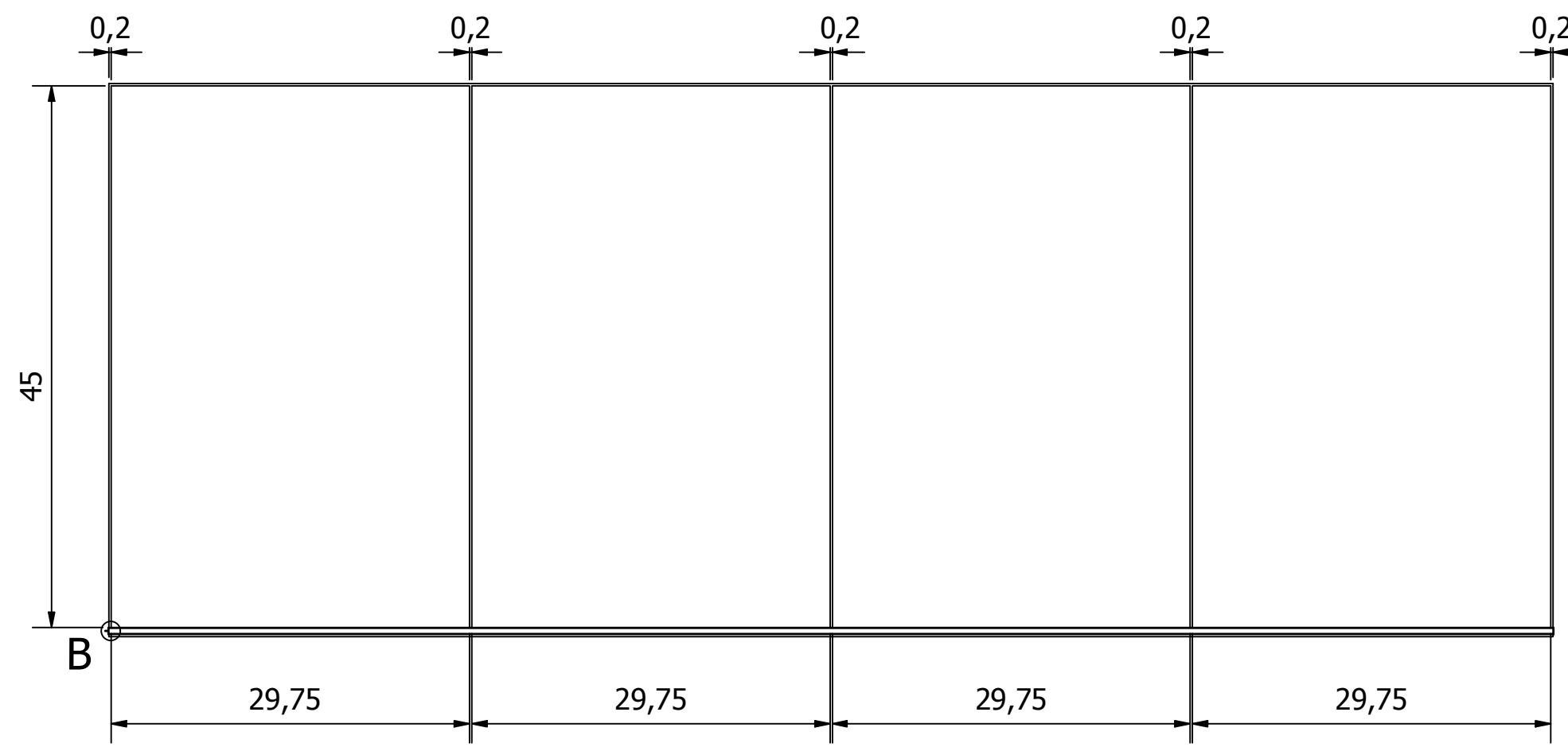
6 5 4 3 2 1

6 5 4 3 2 1

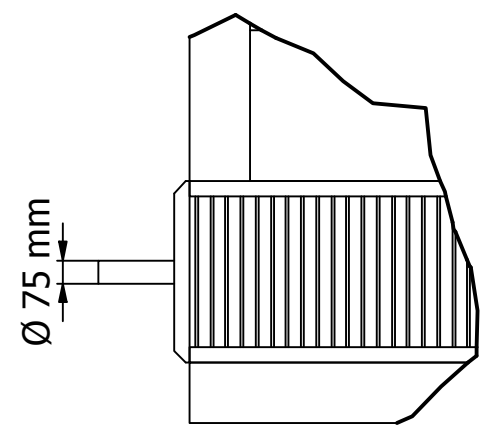
Vista Frontal



Vista Superior



B (1 : 25)



D
C
B
A

D
C
B
A

6 5 4 3 2 1

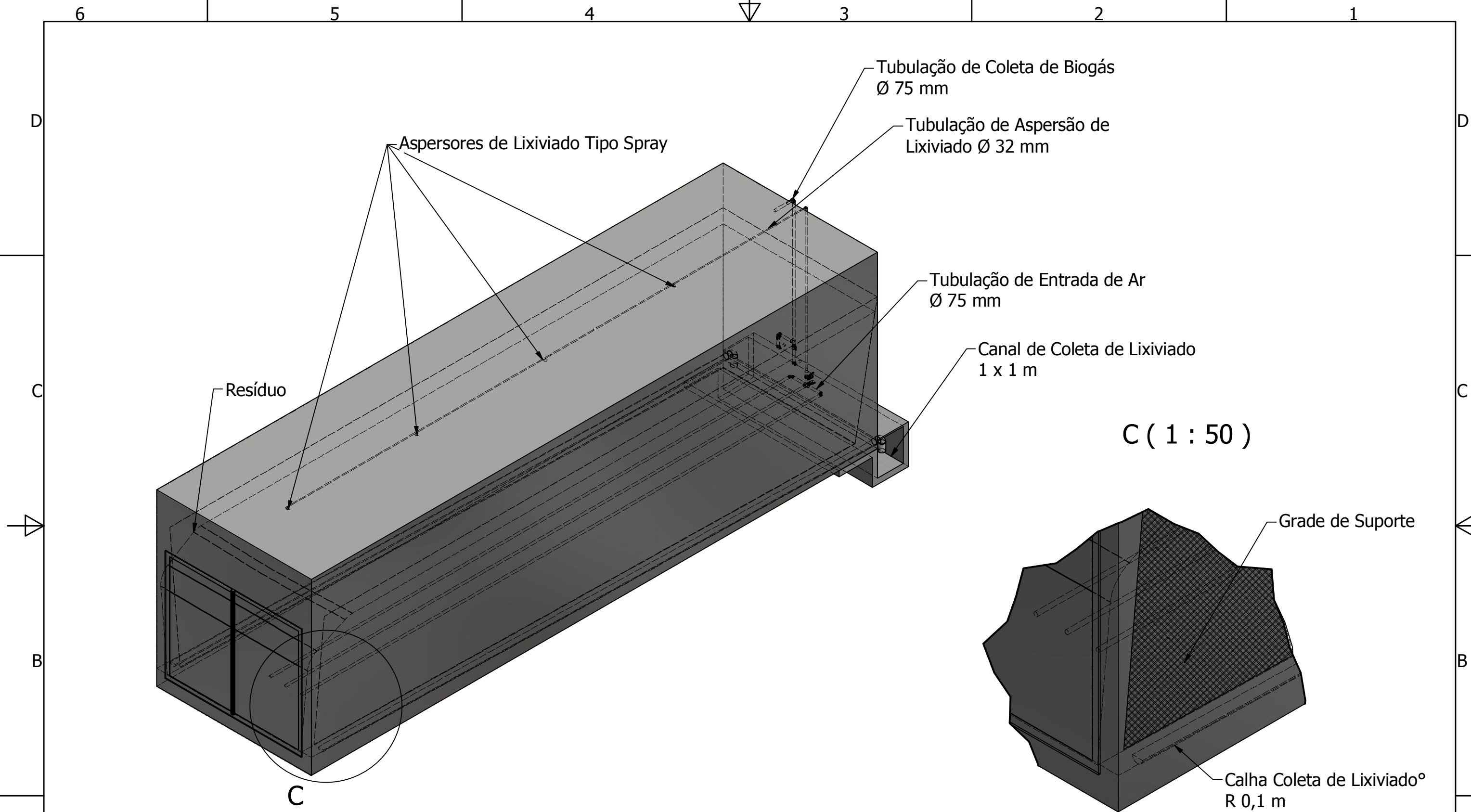
Universidade de Caxias do Sul - UCS

Aluno (a): Natália da Cunha	Disciplina: Trabalho de Conclusão de Curso II	Data: 19/11/2018
---------------------------------------	---	----------------------------

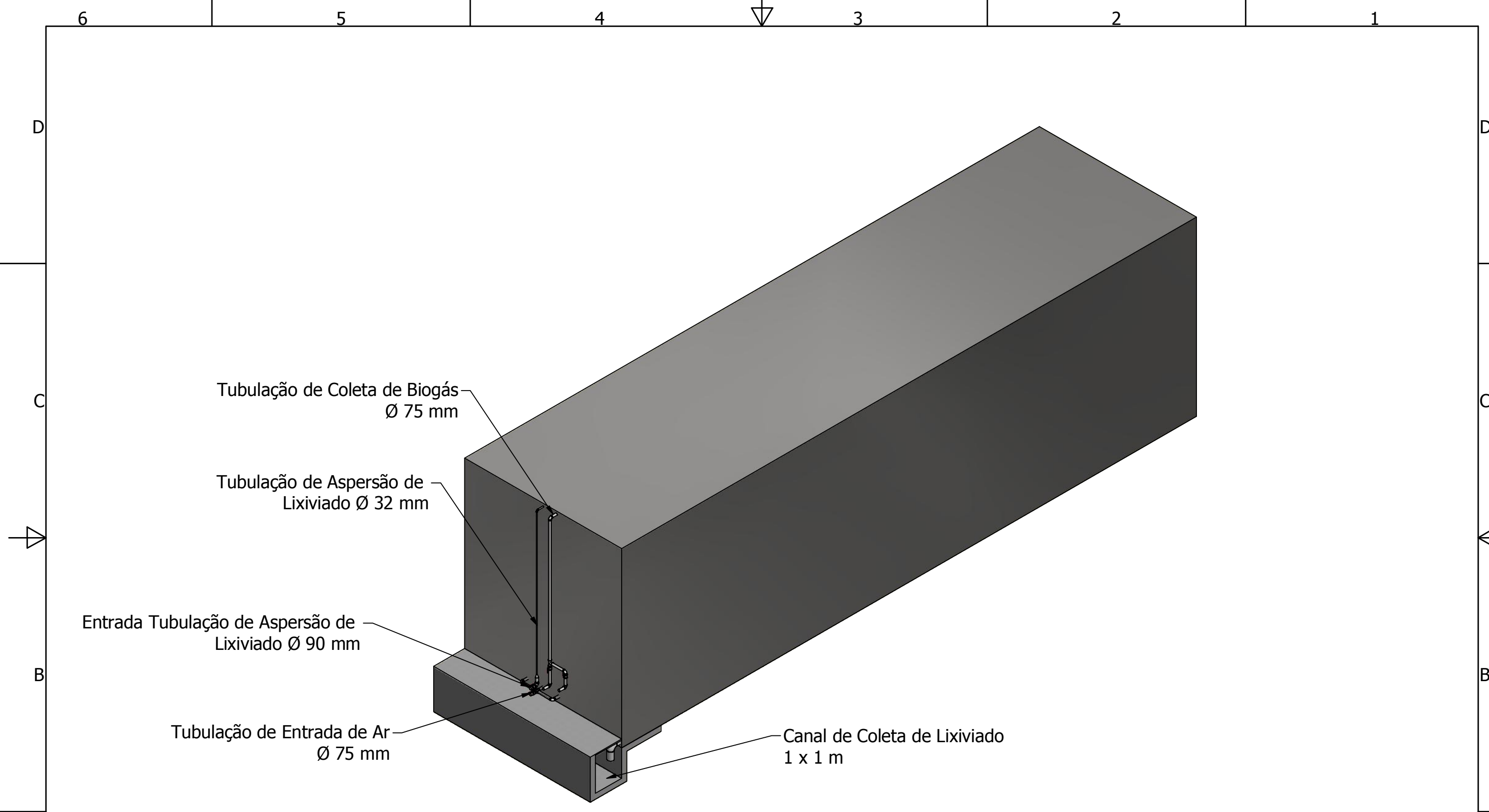
PROJETO DE UMA PLANTA DE TRATAMENTO ANAERÓBIO DE RESÍDUOS VÍNICOS COM APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DO BIOGÁS GERADO

Ensilagem

Prancha 10 / 20	Unidade Metro	Escala: 1 : 500	Form: A3
---------------------------	-------------------------	---------------------------	--------------------



Universidade de Caxias do Sul - UCS				
Aluno (a): Natália da Cunha		Disciplina: Trabalho de Conclusão de Curso II		Data: 19/11/2018
PROJETO DE UMA PLANTA DE TRATAMENTO ANAERÓBIO DE RESÍDUOS VÍNICOS COM APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DO BIOGÁS GERADO			Biodigestor Garagem	
Prancha 11 /20	Unidade Metro	Escala: 1 : 100	Form: A3	



6

5

4

3

2

1

D

D

C

C

B

B

A

A

Universidade de Caxias do Sul - UCS				
Aluno (a): Natália da Cunha		Disciplina: Trabalho de Conclusão de Curso II		Data: 19/11/2018
PROJETO DE UMA PLANTA DE TRATAMENTO ANAERÓBIO DE RESÍDUOS VÍNICOS COM APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DO BIOGÁS GERADO			Biodigestor Garagem	
Prancha 12 /20		Unidade Metro	Escala: 1 : 100	Form: A3

6

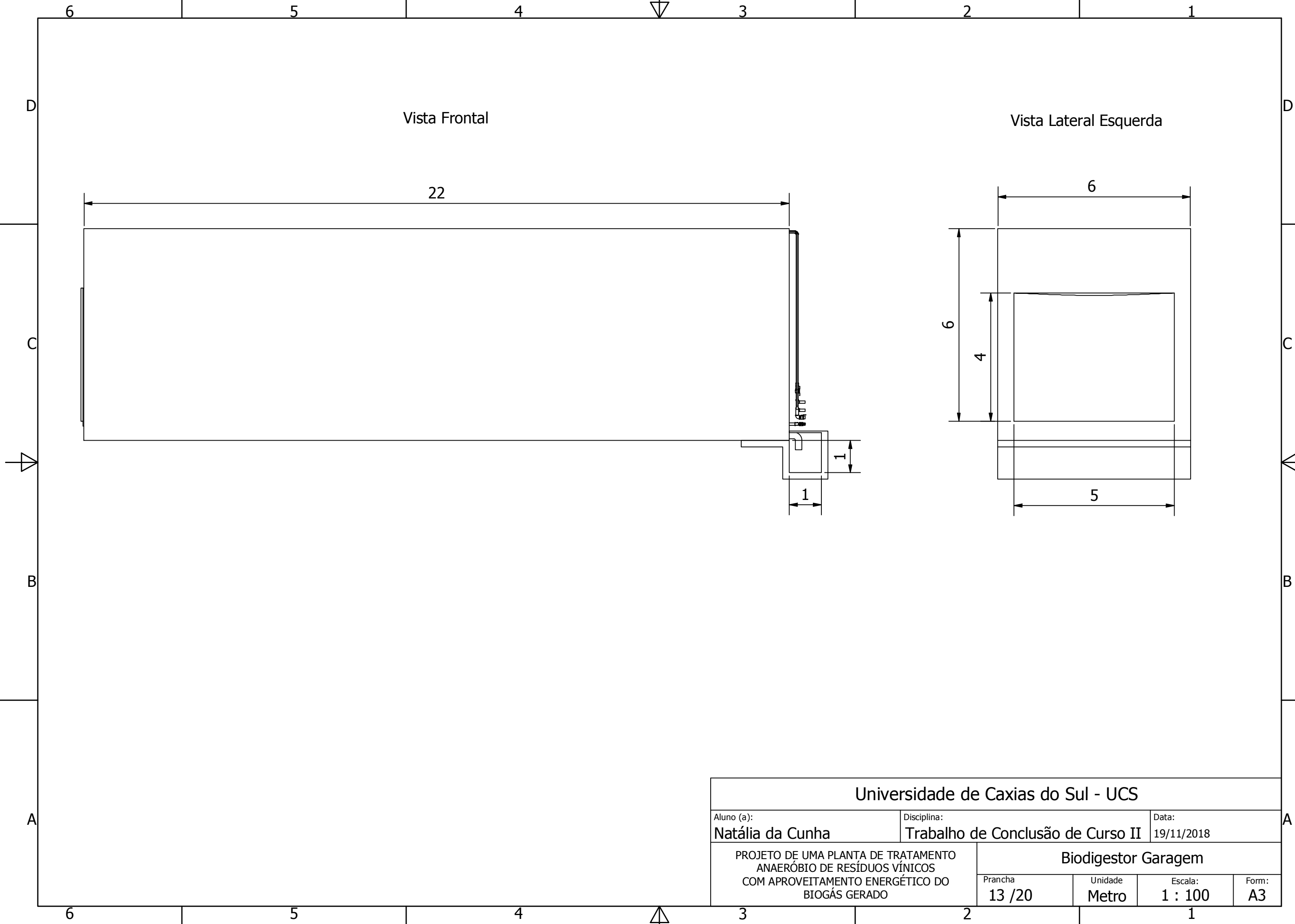
5

4

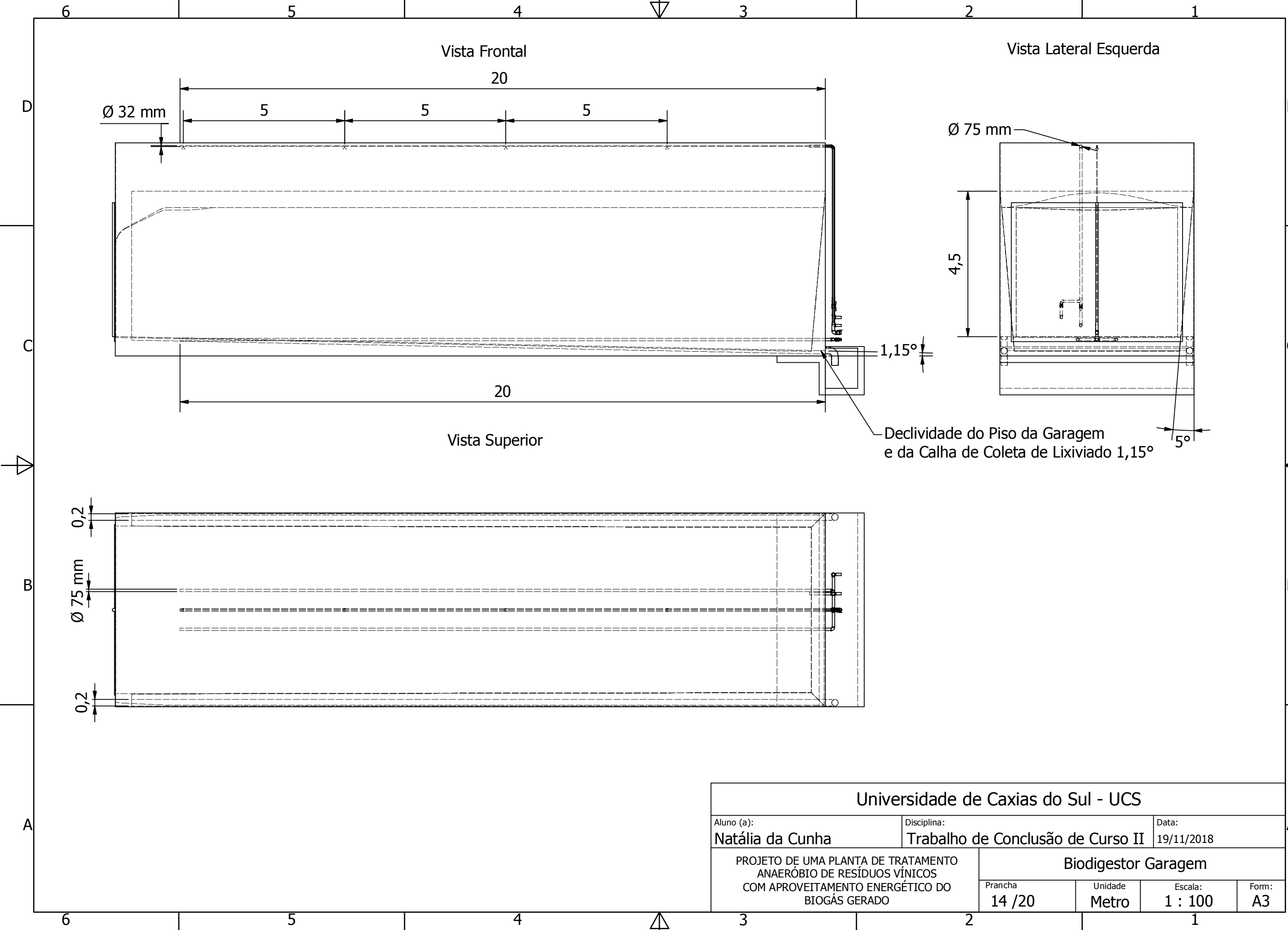
3

2

1



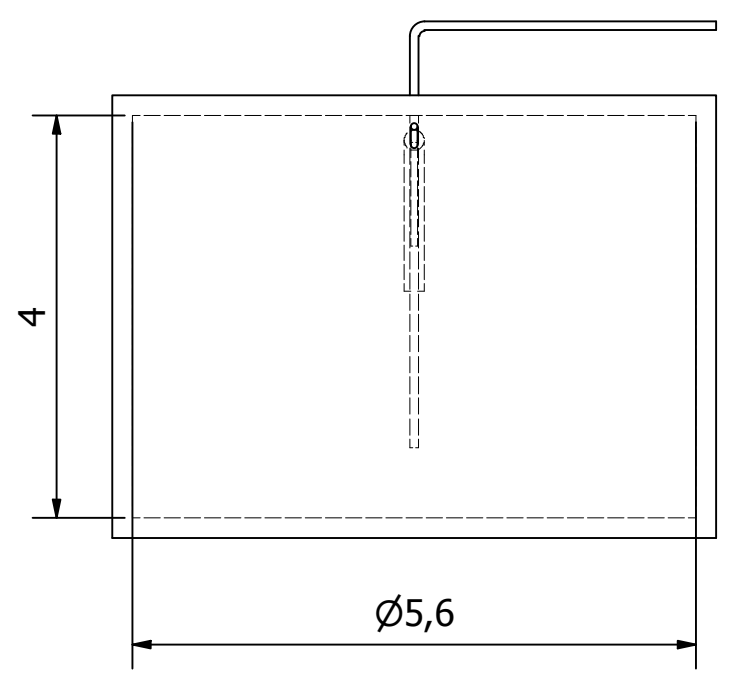
Universidade de Caxias do Sul - UCS				
Aluno (a): Natália da Cunha		Disciplina: Trabalho de Conclusão de Curso II		Data: 19/11/2018
PROJETO DE UMA PLANTA DE TRATAMENTO ANAERÓBIO DE RESÍDUOS VÍNICOS COM APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DO BIOGÁS GERADO			Biodigestor Garagem	
			Prancha 13 /20	Unidade Metro



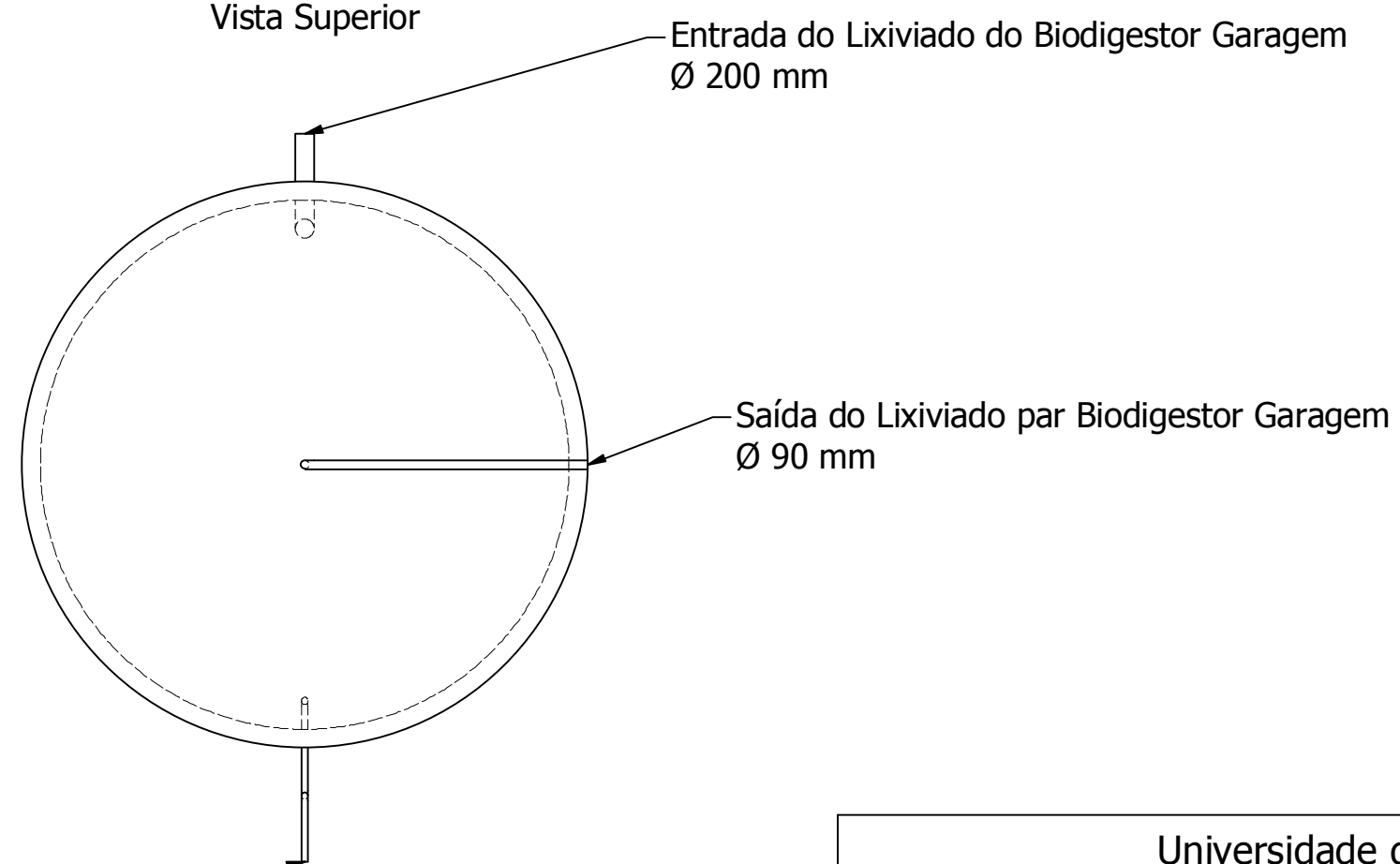
Universidade de Caxias do Sul - UCS				
Aluno (a): Natália da Cunha		Disciplina: Trabalho de Conclusão de Curso II		Data: 19/11/2018
PROJETO DE UMA PLANTA DE TRATAMENTO ANAERÓBIO DE RESÍDUOS VÍNICOS COM APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DO BIOGÁS GERADO			Biodigestor Garagem	
Prancha 14 /20	Unidade Metro	Escala: 1 : 100	Form: A3	

6 5 4 3 2 1

Vista Frontal



Vista Superior



Entrada do Lixiviado da Ensilagem
Ø 75 mm

Universidade de Caxias do Sul - UCS

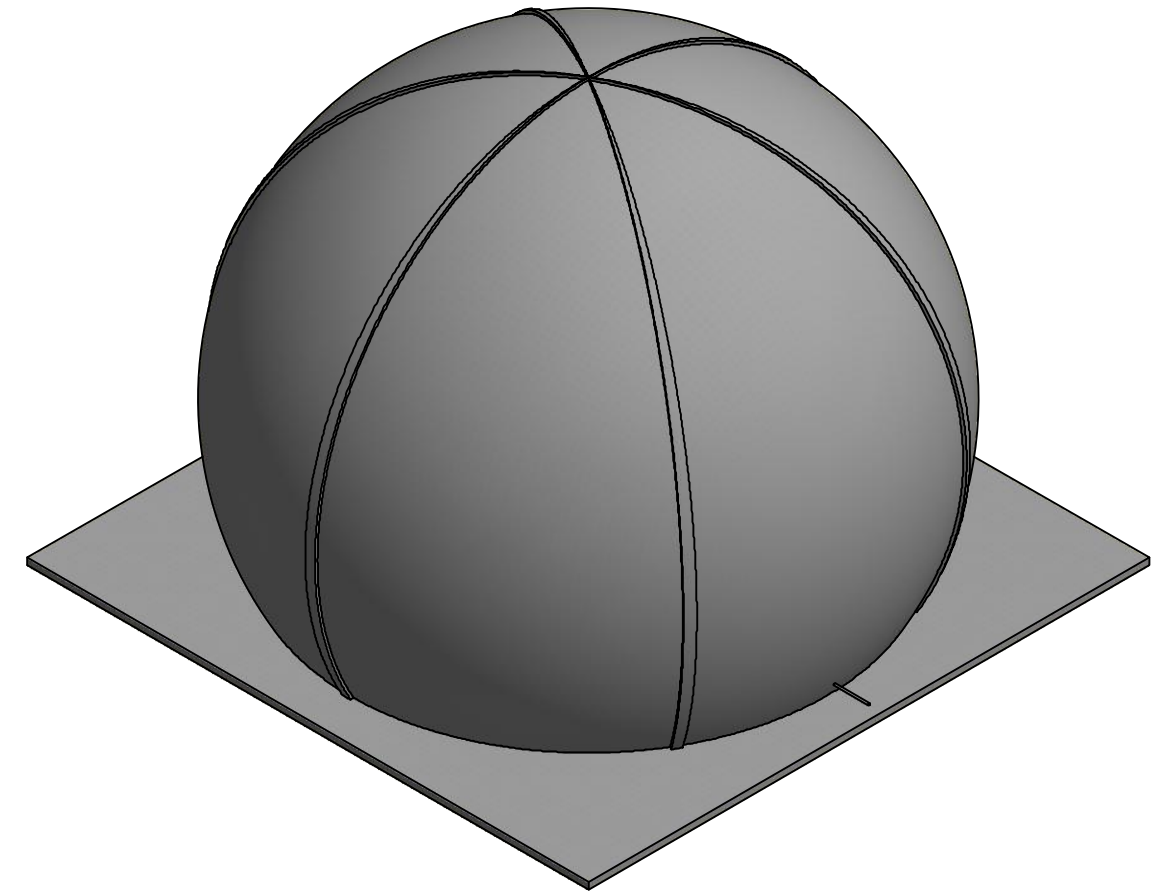
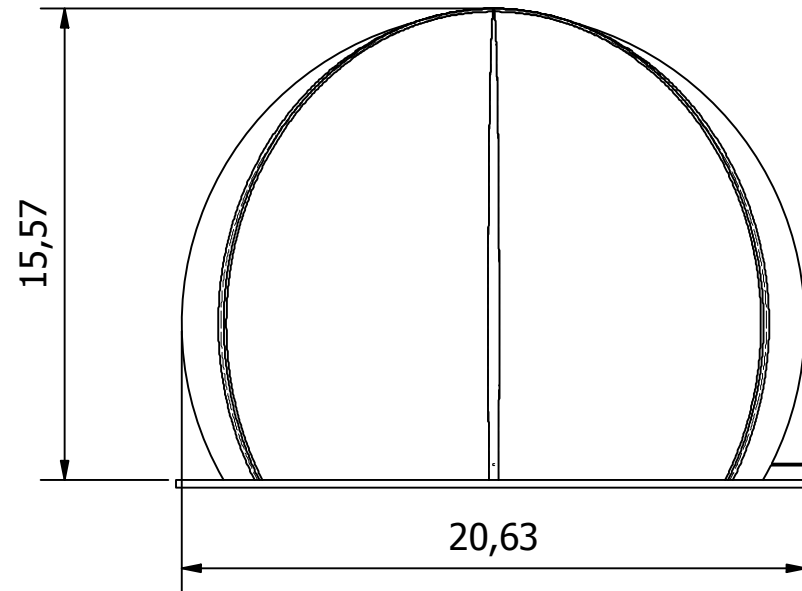
Aluno (a): Natália da Cunha	Disciplina: Trabalho de Conclusão de Curso II	Data: 19/11/2018
---------------------------------------	---	----------------------------

PROJETO DE UMA PLANTA DE TRATAMENTO ANAERÓBIO DE RESÍDUOS VÍNICOS COM APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DO BIOGÁS GERADO	Tanque de Lixiviado			
	Prancha 15 /20	Unidade Metro	Escala: 1 : 75	Form: A3

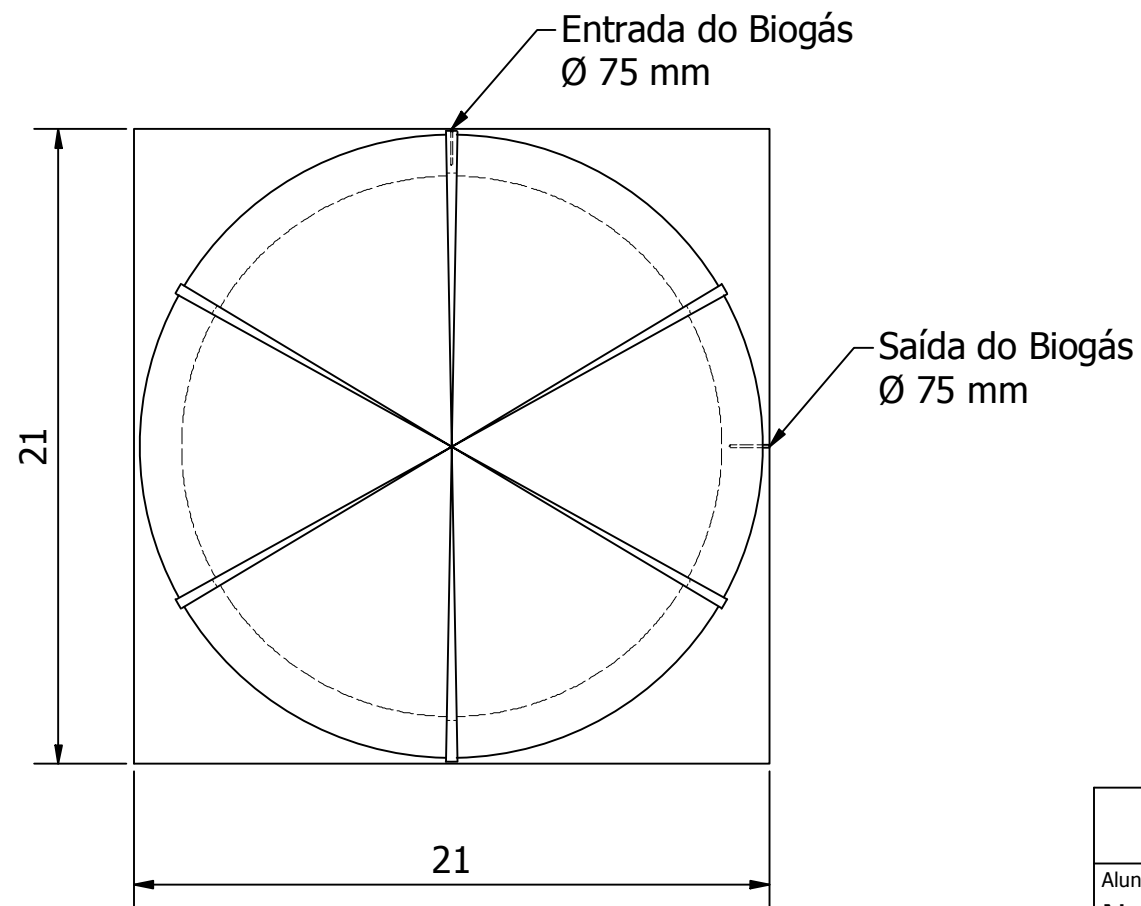
6 5 4 3 2 1

6 5 4 3 2 1

Vista Frontal



Vista Superior



Universidade de Caxias do Sul - UCS

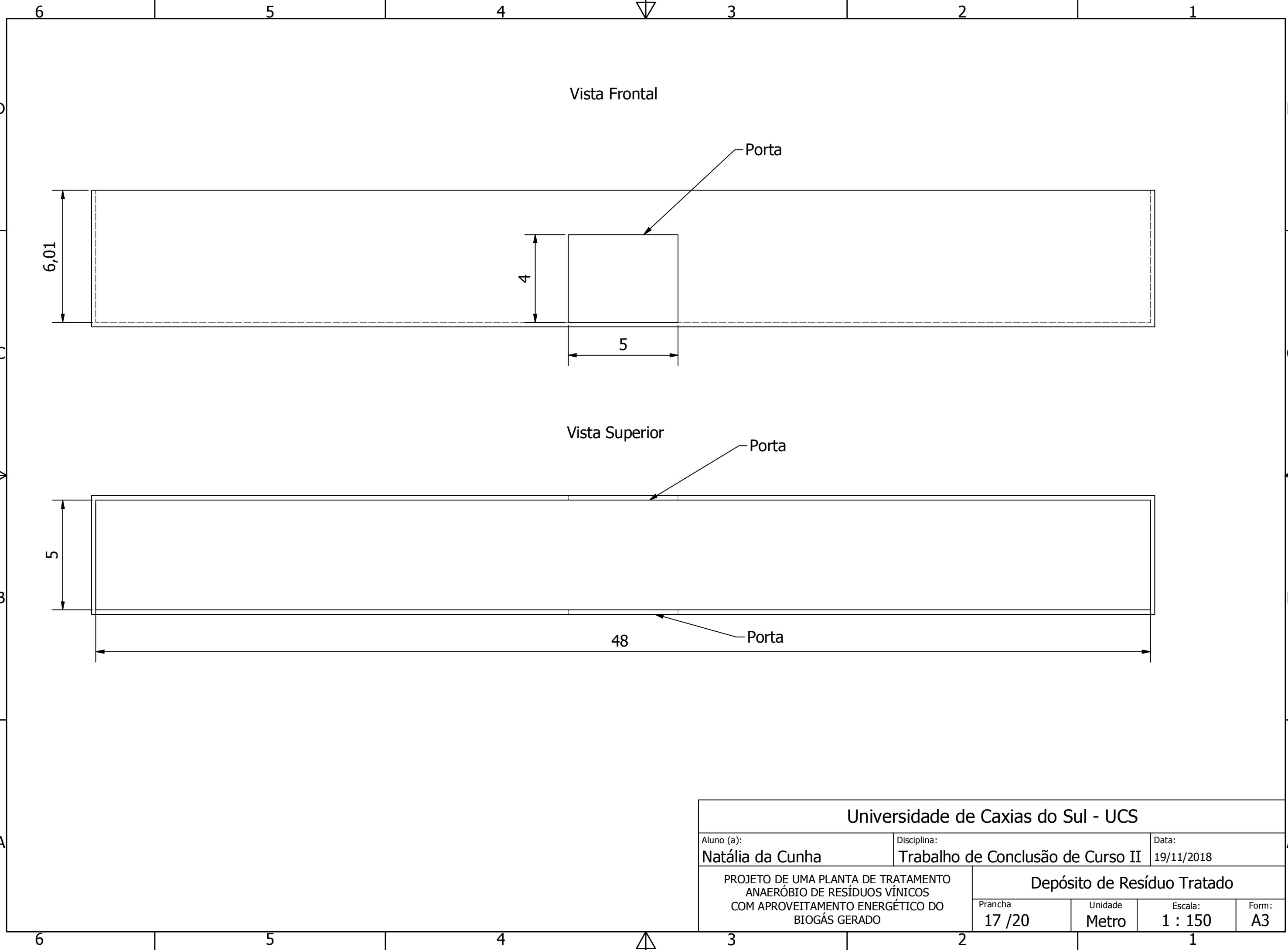
Aluno (a): Natália da Cunha	Disciplina: Trabalho de Conclusão de Curso II	Data: 19/11/2018
---------------------------------------	---	----------------------------

PROJETO DE UMA PLANTA DE TRATAMENTO
ANAERÓBIO DE RESÍDUOS VÍNICOS
COM APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DO
BIOGÁS GERADO

Gasômetro

Prancha 16 /20	Unidade Metro	Escala: 1 : 250	Form: A3
--------------------------	-------------------------	---------------------------	--------------------

6 5 4 3 2 1



Vista Frontal

Porta

6,01

4

5

Vista Superior

Porta

5

48

Porta

Universidade de Caxias do Sul - UCS

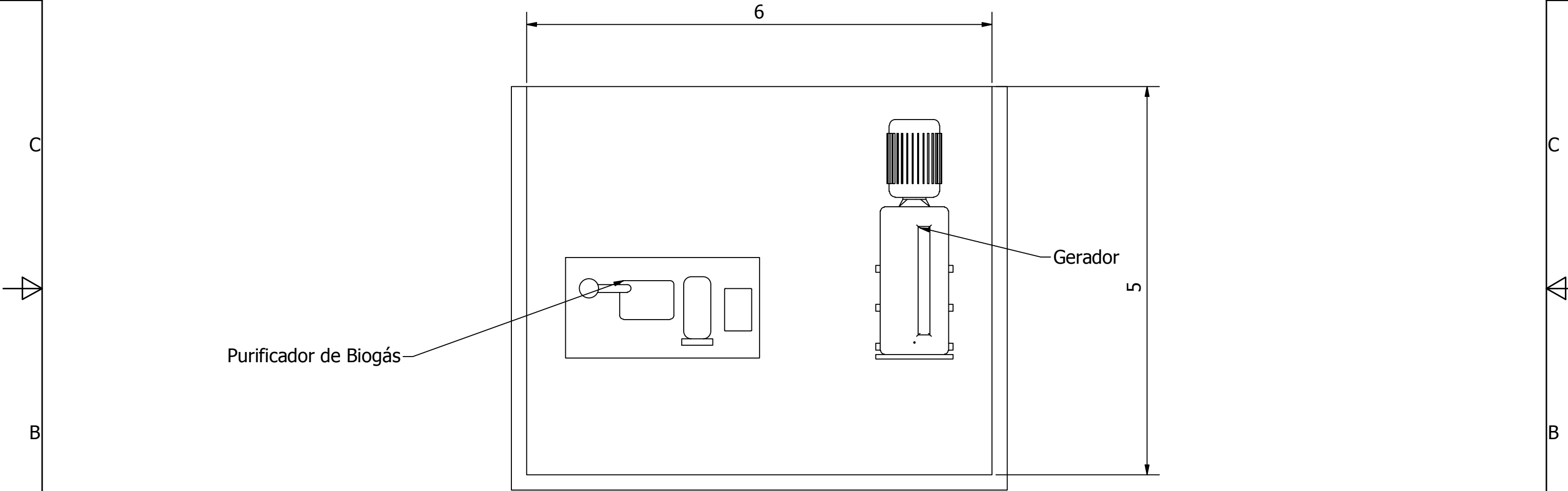
Aluno (a): Natália da Cunha	Disciplina: Trabalho de Conclusão de Curso II	Data: 19/11/2018
---------------------------------------	---	----------------------------

PROJETO DE UMA PLANTA DE TRATAMENTO ANAERÓBIO DE RESÍDUOS VÍNICOS COM APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DO BIOGÁS GERADO

Depósito de Resíduo Tratado

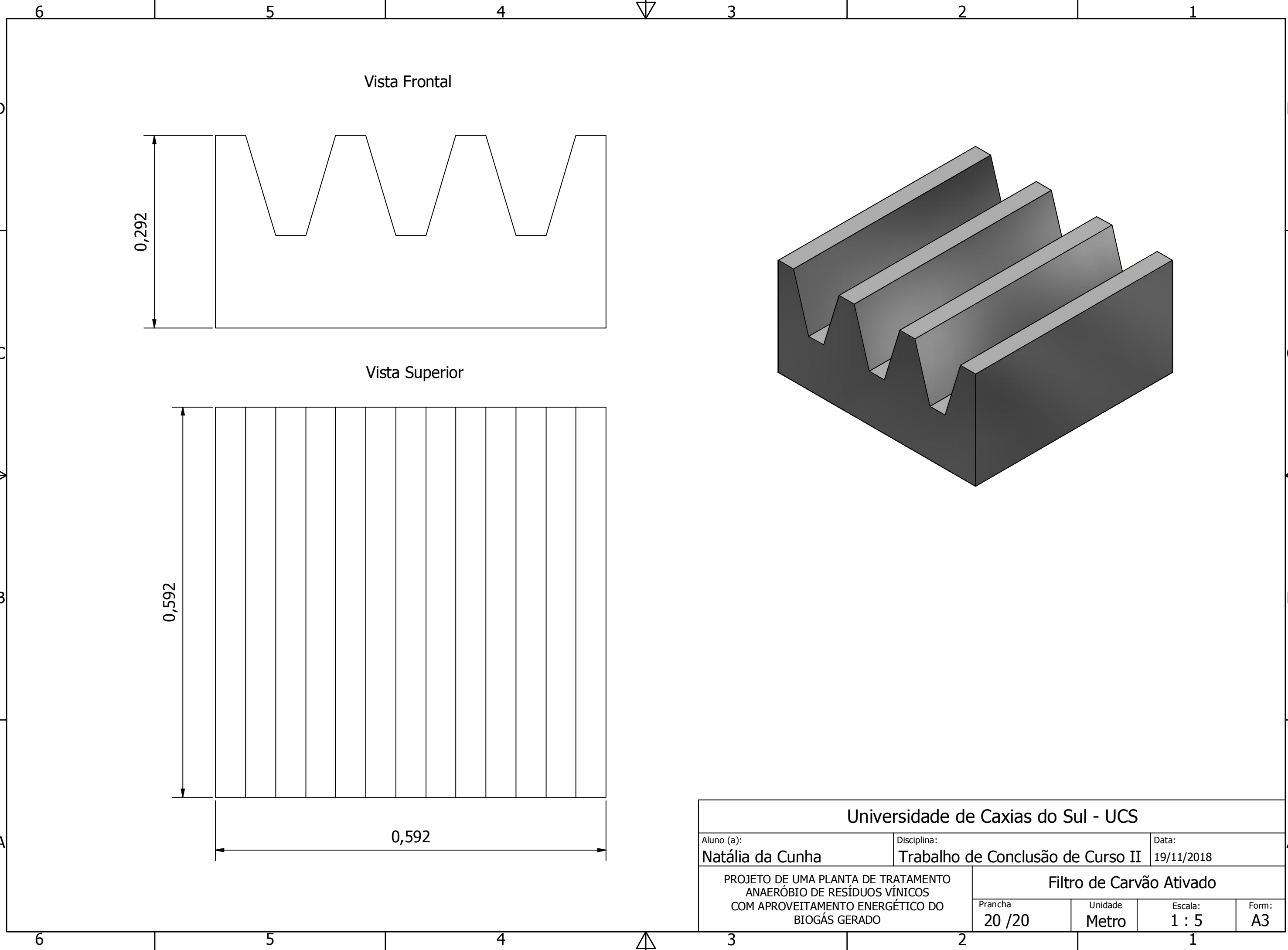
Prancha 17 /20	Unidade Metro	Escala: 1 : 150	Form: A3
--------------------------	-------------------------	---------------------------	--------------------

Vista Superior

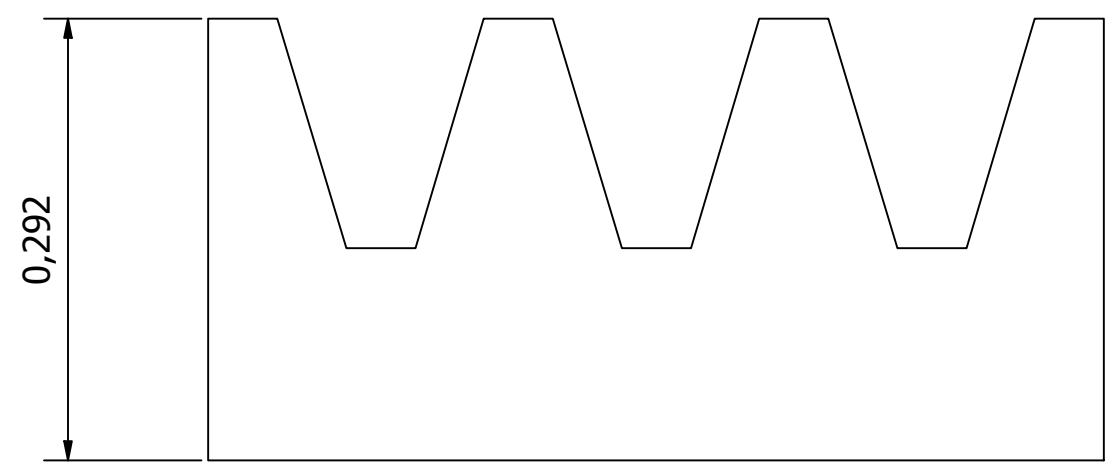


Universidade de Caxias do Sul - UCS

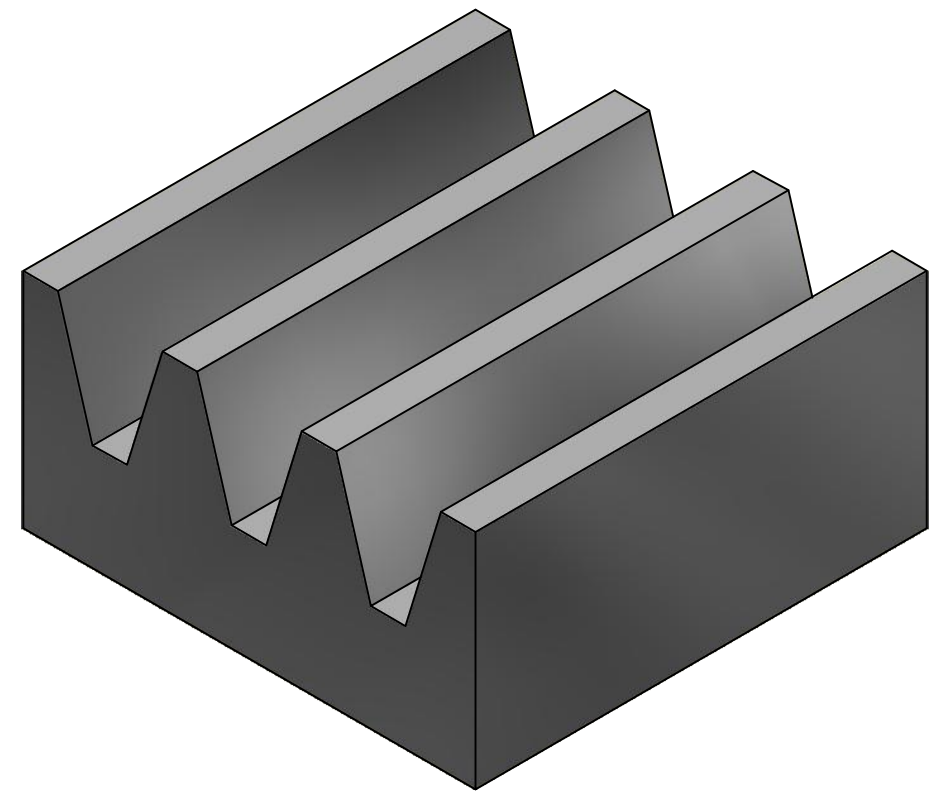
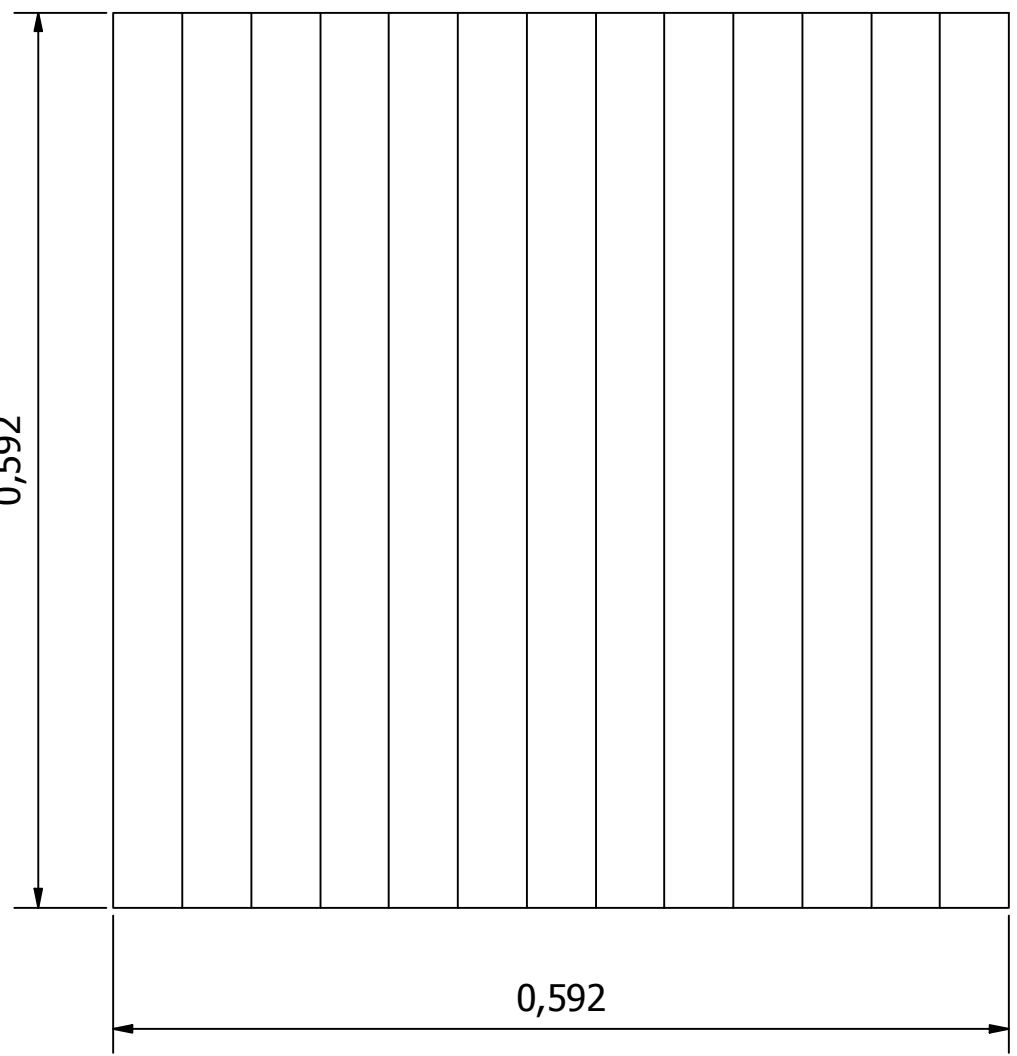
Aluno (a): Natália da Cunha		Disciplina: Trabalho de Conclusão de Curso II		Data: 19/11/2018	
PROJETO DE UMA PLANTA DE TRATAMENTO ANAERÓBIO DE RESÍDUOS VÍNICOS COM APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DO BIOGÁS GERADO			Gerador de Energia		
			Prancha 19 /20	Unidade Metro	Escala: 1 : 50



Vista Frontal



Vista Superior



Universidade de Caxias do Sul - UCS				
Aluno (a): Natália da Cunha		Disciplina: Trabalho de Conclusão de Curso II		Data: 19/11/2018
PROJETO DE UMA PLANTA DE TRATAMENTO ANAERÓBIO DE RESÍDUOS VÍNICOS COM APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DO BIOGÁS GERADO		Filtro de Carvão Ativado		
		Prancha 20 /20	Unidade Metro	Escala: 1 : 5
				Form: A3