UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS FLORESTAL
CURSO DE ENGENHARIA FLORESTAL

Junior Joel Dewes

ENGENHARIA NATURAL: METODOLOGIAS DE PESQUISA, EXECUÇÃO E ACOMPANHAMENTO DE OBRAS EM TERRITÓRIO AUSTRÍACO

Santa Maria, RS
2016

Junior Joel Dewes

ENGENHARIA NATURAL: METODOLOGIAS DE PESQUISA, EXECUÇÃO E ACOMPANHAMENTO DE OBRAS EM TERRITÓRIO AUSTRÍACO

Relatório apresentado ao Curso de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Santa Maria, como parte das exigências da disciplina **EFL 1001 – Estágio Supervisionado em Engenharia Florestal**

Orientador: Fabrício Jaques Sutili

Supervisor: Johann Peter Rauch

Santa Maria, RS
2016

Junior Joel Dewes

ENGENHARIA NATURAL: METODOLOGIAS DE PESQUISA, EXECUÇÃO E ACOMPANHAMENTO DE OBRAS EM TERRITÓRIO AUSTRÍACO

A Comissão examinadora, abaixo assinada, aprova o Relatório de Estágio como parte das exigências da disciplina EFL 1001 – **Estágio Supervisionado em Engenharia Florestal,** e como requisito parcial para obtenção do grau de **Engenheiro Florestal.**

Aprovado em 21 de junho de 2016:

_____

Fabrício Jaques Sutili, Dr. (UFSM)
(Presidente/Orientador)

_____

Luciano Denardi, Dr. (UFSM)

_____

Charles Rodrigo Belmonte Maffra, Msc. (UFSM)

Santa Maria, RS
2016

DEDICATÓRIA

À minha família, à minha mãe Márcia Inês, ao meu pai Renato Luís,
à minha irmã Daila Carine e ao meu irmão Juliano Joel

AGRADECIMENTOS

A viabilização e concretização deste estágio supervisionado só foi possível graças ao trabalho e esforço conjunto de diferentes instituições e pessoas. Deste modo, em especial, agradeço:

- ao meu orientador Prof. Dr. Fabrício Jaques Sutili pela oportunidade concedida na área de Engenharia Natural, pela amizade, confiança e por todo aprendizado proporcionado. Meu muito obrigado!;

- ao O. Univ. Prof. Dr. phil. Florin Florineth pelo seu aceite em me receber como estagiário do Instituto e pelos valiosíssimos conhecimentos transmitidos em sala de aula e durante conversas informais;

- ao meu supervisor de estágio Priv.-Doz. Dipl.-Ing. Dr. Hans Peter Rauch pela atenção e auxílios prestados durante as atividades realizadas a campo e em laboratório;

- a Dipl.-Ing. Stephan Hörbinger, pela amizade e intermediação com a BOKU para a criação desta vaga de estágio. Obrigado por tudo, amigo!;

- a todos os colaboradores do Instituto pela amizade e pelo ótimo ambiente de trabalho proporcionado durante todo o período de estágio;

- a minha família, que sempre me apoiou em todas as minhas escolhas e por ser minha fonte de inspiração e dedicação;

- a CAPES, por meio do programa Ciência sem Fronteiras (CsF), pelo auxílio financeiro e pelo contato cultural e científico proporcionado;

- a Universität für Bodenkultur (BOKU) e ao Institut für Ingenieurbiologie und Landschaftsbau (IBLB) pela receptividade e oportunidade que me concederam;

- a minha universidade de origem, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) e a Secretaria de Apoio Internacional (SAI) pela ajuda com assuntos de cunho burocrático durante minha estadia no exterior;

- aos colegas do Laboratório de Engenharia Natural (LabEN) da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) pela leitura e contribuições para com este relatório de estágio. Agradecido!

- a todas as demais pessoas, que de forma direta ou indireta, tornaram esse estágio realizável, contribuindo, desta forma, para minha formação profissional, cultural e pessoal.

A profissão de Engenheiro Florestal é metade conhecimento, metade arte, somente a prática fará o mestre.

(Johann Heinrich Cotta)

RESUMO

ENGENHARIA NATURAL: METODOLOGIAS DE PESQUISA, EXECUÇÃO E ACOMPANHAMENTO DE OBRAS EM TERRITÓRIO AUSTRÍACO

AUTOR: Junior Joel Dewes
ORIENTADOR: Fabrício Jaques Sutili

A Engenharia Natural é uma técnica que visa combinar, ou não, materiais inertes e materiais vivos, a fim de garantir a estabilidade e o controle dos processos erosivos da área tratada. Este ramo da Engenharia é relativamente recente no Brasil, o que faz com que existam poucos profissionais habilitados no mercado de trabalho. Portanto, o objetivo deste trabalho de estágio foi desenvolver e aperfeiçoar conhecimentos técnicos em Engenharia Natural, por meio de acompanhamento de metodologias de trabalho, visualização e execução de obras. O estágio foi realizado no Institut für Ingenieurbiologie und Landschaftsbau da Universität für Bodenkultur Wien, em Viena, Áustria. As atividades realizadas compreenderam trabalhos de laboratório e de campo. Em laboratório realizou-se dois experimentos com germinação de sementes, elaboração de desenhos técnicos em AutoCAD e processamento de dados de sensores de quantificação da umidade do solo. As atividades de campo consistiram na execução de hidrossemeaduras, visitas técnicas para análise e descrição de obras implantadas e em processo de implantação, participação na estabilização hidráulica e geotécnica de um curso de água e excursão técnica para identificação de espécies reófilas empregadas em obras. Como atividades complementares foram assistidas as disciplinas de *Engenharia Natural* e *Técnicas Vegetativas* no local do estágio, além da participação em eventos relacionados ao tema. A experiência mostrou-se valiosa e importante no ganho e aperfeiçoamento de conhecimentos técnico-científicos e na aquisição de experiência prática em execução de obras de contenção. Esta experiência será de fundamental importância na correta aplicação das técnicas de Engenharia Natural enquanto futuro profissional.

Palavras-chave: Biongenharia de Solos. Controle de Processos Erosivos. Biotécnicas.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Mapa do território austríaco e localização da capital Viena (Wien, em alemão). Fonte: Google Imagens. 13
Figura 2 - Edifício Wilhelm Exnerhaus e logotipo da instituição. 14
Figura 3 – Interior do edifício do departamento e logotipo do instituto. 15
Figura 4 – Local de condução e aspecto geral do teste de germinação de sementes após instalação. 16
Figura 5 – Diferentes tipos de substratos utilizados para a condução do teste de germinação de sementes. Areia (esquerda); Substrato orgânico (direita). 17
Figura 6 - Aspecto geral dos recipientes com os substratos e sementes das espécies vegetais logo após a instalação do teste de germinação de sementes. Espécie vegetal sem necessidade de cobertura das sementes (esquerda); Espécie leguminosa com cobertura das sementes com fina camada de areia (direita). 17
Figura 7 - Condições de temperatura (°C) e umidade do ar (%) durante os 28 dias de realização do teste de germinação de sementes. 18
Figura 8 - Taxas de germinação das espécies testadas após 5, 21 e 28 dias da implantação do teste. 19
Figura 9 – Diferentes tipos de substratos submetidos ao teste bioindicador com agrião (*Lepidium sativum* L.). Quartzphyllit (esquerda); Bündner Schiefer (direita). ..21
Figura 10 – Local de condução do teste bioindicador e disposição geral dos recipientes com os diferentes tipos de substratos (esquerda); Detalhe (direita). 21
Figura 11 - Resultados de germinação (%), altura (cm), massa verde (g) e massa seca (g) apresentados pelos diferentes tipos de substratos após 14 dias de implantação do teste bioindicador. 22
Figura 12 - Instrumentação utilizada para a análise de pH atual e potencial (esquerda) e para a quantificação de carbonato de cálcio (CaCO3) para os diferentes tipos de solos analisados (direita). 23
Figura 13 - pH atual, pH potencial e concentração de cálcio para os dois tipos de solos analisados. 23
Figura 14 – Condições de temperatura atmosférica (°C) e precipitação (mm) de agosto a dezembro de 2013 para o aterro sanitário municipal de Viena. 26
Figura 15 – Quantificação volumétrica de água para cada sensor a diferentes profundidades em função de chuvas pluviométricas de agosto a dezembro de 2013 para o aterro sanitário municipal de Viena. 27
Figura 16 - Perfil padrão de construção dos taludes do aterro sanitário municipal de Viena. 28
Figura 17 - Preparação da mistura para hidrossemeadura. 29
Figura 18 - Aplicação de hidrossemeadura sobre os taludes artificiais do aterro sanitário municipal de Viena. 30
Figura 19 – Início do desenvolvimento vegetativo das espécies vegetais hidrossemeadas 30 dias após a execução da intervenção. 31
Figura 20 - Vista a montante do corpo terroso fixado e revegetado no fundo do leito concretizado do rio Viena. 32

Figura 21 - Vista a jusante da estrutura implantada no fundo do leito concretizado do rio Viena, com detalhe para a área de deposição de material orgânico transportado pelo rio durante um evento de cheia. 33
Figura 22 - Rampa hidráulica para migração de peixes (esquerda); Soleira de madeira e pedra para formação de perfis de compensação (direita). 34
Figura 23 - Vista a jusante das intervenções biotécnicas executadas no rio Viena. .35
Figura 24 – Execução de soleira em pedra para criação de um perfil de compensação para diminuição da velocidade da água e retenção de sedimentos…35
Figura 25 - Vista a montante com as obras transversais e longitudinais executadas no rio Viena. 36
Figura 26 - Vista a jusante com as intervenções realizadas no rio Eckbach para o controle de erosão do fundo do leito e das margens do canal. 37
Figura 27 - Vista a jusante com as intervenções realizadas no rio Eckbach para o controle de erosão do fundo do leito e das margens do canal. 37
Figura 28 - Vista a jusante com as intervenções realizadas no rio Eckbach para o controle de erosão do fundo do leito e das margens do canal. 38
Figura 29 - Vista a montante com a configuração antiga e a configuração atual do leito e das margens do rio Liesing. 39
Figura 30 - Vista a jusante com a execução de um enrocamento para a estabilização de um trecho da margem direita do rio Liesing. A árvore ancorada na base do talude aumenta a rugosidade hidráulica e diminui a velocidade da água neste ponto.....40
Figura 31 - Vista a montante com a reconfiguração atual do leito e das margens do rio Liesing com as respectivas áreas a serem revegetadas. 40
Figura 32 - Vista a jusante com a nova conformação do leito e das margens do rio Liesing com as respectivas áreas a serem revegetadas. 41
Figura 33 – Imagem aérea de localização do córrego Dorfstetten, em Dorfstetten, na Baixa Áustria (Niederösterreich).....42
Figura 34 - Instabilidade das margens laterais do córrego.....43
Figura 35 - Instabilidade do talude e do fundo do leito do canal. 43
Figura 36 - Novo leito a ser configurado ao longo do curso de água após intervenções biotécnicas. 44
Figura 37 - Técnicas a serem executadas ao longo do curso de água para o controle de erosão do fundo do leito e desconfinamento das margens laterais.....44
Figura 38 - Enrocamento vivo e soleira em pedra executadas no início do córrego. Estas técnicas foram adotadas para diminuir a velocidade da água canalizada das estradas adjacentes e diminuir o risco de ocorrência de erosão no trecho inicial do curso de água.....45
Figura 39 - Execução de parede krainer a jusante do enrocamento vivo e soleira em pedra. 45
Figura 40 - Vista a jusante da instalação de feixe vivo e estacas vivas para a estabilização das margens do curso de água. 46
Figura 41 - Visão a montante com a execução de esteira viva para a estabilização de um trecho da margem esquerda do curso de água. 46

Figura 42 - Vista a montante com o início da execução de parede krainer com esteira viva para estabilização do fundo do leito e de um trecho da margem esquerda do curso de água.....47
Figura 43 - Vista a jusante com a execução de esteira viva e paliçadas transversais para a estabilização do fundo do leito e de um trecho da margem esquerda do curso de água. 47
Figura 44 - Vista a montante após o término da execução das biotécnicas na porção final do curso de água. 48
Figura 45 - Identificação in loco de espécies reófilas utilizadas em Engenharia Natural.....49
Figura 46 - Identificação in loco de espécies reófilas utilizadas em Engenharia Natural.....49
Figura 47 - Disciplina de Ingenieurbiologie (Engenharia Natural) na Universität für Bodenkultur, Wien (BOKU).....51
Figura 48 - Capa frontal da revista com as pesquisas apresentadas durante o evento. 52

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Espécies botânicas e respectivas quantidades hidrossemeadas.....29

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AIEA	Agência Internacional de Energia Atômica
BOKU	Universität für Bodenkultur Wien
EIU	Economist Intelligence Unit
EN	Engenharia Natural
IBLB	Institut für Ingenieurbiologie und Landschaftsbau
LabEN	Laboratório de Engenharia Natural
ONU	Organização das Nações Unidas
OPEP	Organização dos Países Exportadores de Petróleo
OSCE	Organização para a Segurança e Cooperação na Europa
UFES	Universidade Federal do Espírito Santo
UFOP	Universidade Federal de Ouro Preto
UFSM	Universidade Federal de Santa Maria
UFS	Universidade Federal do Sergipe

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 12
2 CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL DE ESTÁGIO 13
2.1 A CAPITAL VIENA 13
2.2 A UNIVERSIDADE RURAL DE VIENA 14
2.3 O INSTITUTO DE ENGENHARIA NATURAL E CONSTRUÇÃO DA PAISAGEM 15
3 ATIVIDADES DESENVOLVIDAS 16
3.1 ATIVIDADES LABORATORIAIS 16
3.1.1 Teste de germinação de sementes para vegetação de taludes e estradas cascalhadas 16
3.1.2 Teste bioindicador com agrião (*Lepidium sativum* L.) em solos de origem xistosa (Bündner Schiefer) e quartzosa (Quatzphyllit) 20
3.1.3 Elaboração de desenhos técnicos 25
3.1.4 Processamento de dados de sensores de umidade do solo 25
3.2 ATIVIDADES A CAMPO 28
3.2.1 Execução de hidrossemeadura em taludes 28
3.2.2 Visitas técnicas em obras de Engenharia Natural 31
3.2.2.1 Rio Viena (Wienerfluss) 31
3.2.2.2 Estabilização do leito e margens fluviais do rio Eckbach 36
3.2.2.3 Renaturalização do leito e das margens do rio Liesing 38
3.2.3 Estabilização do fundo do leito e das margens do córrego Dorfstetten 41
3.2.4 Viagem para identificação de plantas reófilas 48
3.3 DEMAIS ATIVIDADES REALIZADAS 50
3.3.1 Aulas teóricas 50
3.3.2 Congresso de Engenharia Natural 51
4 CONSIDERAÇÕES FINAIS 53
5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 54

1 INTRODUÇÃO

A Engenharia Natural é um ramo da Engenharia que, por meio da combinação de materiais inertes (pedra, madeira) e materiais vivos (plantas), busca a estabilização geotécnica de taludes naturais ou artificiais (SCHIECHTL, 1980; SOUSA, 2015). Também pode ser utilizada para estabilização hidráulica de cursos de água e controle de processos erosivos superficiais (SOUSA, 2015).

Esta técnica surge recentemente no Brasil, mais fortemente no sul do país, como uma disciplina, cujo enfoque principal é o tratamento de processos fluviais e a perenização de cursos de água.

Neste cenário, a Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), por meio do Laboratório de Engenharia Natural (LabEN) do Curso de Engenharia Florestal, vem desenvolvendo um trabalho pioneiro na introdução e aplicação das técnicas de Engenharia Natural no Rio Grande do Sul e em outras regiões do Brasil, através da pesquisa e produção de conhecimento técnico-científico para a correta execução de obras de estabilização de taludes e recuperação de áreas alteradas.

Com o objetivo de fortalecimento científico na área, a UFSM também possui parcerias com outras instituições públicas de ensino e pesquisa como a Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP), a Universidade Federal do Sergipe (UFS) e a Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), comprometidas com o estudo e a compreensão das particularidades florísticas e ambientais de outras regiões do Brasil, pré-requisito fundamental para a aplicação de técnicas da Engenharia Natural em diversas condições ecológicas.

Além de vínculos nacionais, a UFSM também busca e mantém relações com instituições internacionais comprometidas com o mesmo tema, para o intercâmbio de informações e corpo técnico, sendo a Universität für Bodenkultur Wien (BOKU) de Viena, na Áustria, uma destas instituições.

A BOKU, por meio do Institut für Ingenieurbiologie und Landschaftsbau (IBLB), promove pesquisas aplicadas há décadas, o que faz com que o instituto seja um dos mais importantes e reconhecidos no mundo neste ramo da Engenharia.

O objetivo deste estágio foi acompanhar e contribuir para as pesquisas desenvolvidas pelo IBLB, além de aperfeiçoar conhecimentos técnico-científicos, para que possam, futuramente, ser adaptados, desenvolvidos e aplicados em obras de estabilização e restauração no Brasil.

2 CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL DE ESTÁGIO

As atividades do presente estágio foram desenvolvidas no período de 06.10.2014 a 03.03.2015, no Institut für Ingenieurbiologie und Landschaftsbau (IBLB) da Universität für Bodenkultur Wien (BOKU), em Viena, capital da Áustria (Figura 1).

Figura 1 - Mapa do território austríaco e localização da capital Viena (Wien, em alemão). Fonte: Google Imagens.

2.1 A CAPITAL VIENA

Viena está localizada no nordeste da Áustria e é a maior cidade do país, com uma população aproximada de 1,8 milhões de habitantes, o que corresponde a aproximadamente um quarto da população nacional. Além de ser a capital austríaca, é também um grande centro cultural, turístico e econômico da Europa. A cidade é conhecida mundialmente pela alta qualidade de vida, tendo sido considerada em 2015 a segunda melhor cidade do mundo para se viver, segundo o ranking da The Economist Intelligence Unit (EIU).

Turisticamente a cidade oferece inúmeras construções imperiais abertas a visitação, sendo o castelo Schönbrunn o mais conhecido deles. Artisticamente a cidade é conhecida pela música erudita e local de residência de artistas reconhecidos mundialmente, como Beethoven e Mozart. Além disso, a cidade possui grande influência política e comercial no continente europeu e no mundo, pelo fato de sediar organizações como a Agência Internacional de Energia Atômica (AEIA), a Organização dos Países Exportadores de Petróleo (OPEP), a Organização das Nações Unidas (ONU) e a Organização para a Segurança e Cooperação na Europa (OSCE).

2.2 A UNIVERSIDADE RURAL DE VIENA

A Universität für Bodenkultur (BOKU) é uma universidade pública sediada em Viena, endereçada na Rua Gregor-Mendel Straße 33, 1180. A instituição foi fundada em 1872 e oferece cursos a nível de graduação, mestrado e doutorado nas áreas de ciências naturais, engenharias e economia. Seu lema é “Universität des Lebens” (Universidade da Vida). A tradução normalmente utilizada do nome da instituição para o português é “Universidade Rural de Viena” (Figura 2).

Figura 2 - Edifício Wilhelm Exnerhaus e logotipo da instituição.

2.3 O INSTITUTO DE ENGENHARIA NATURAL E CONSTRUÇÃO DA PAISAGEM

Trata-se de um instituto de pesquisa da Universität für Bodenkultur Wien (BOKU), endereçado na Rua Peter Jordan-Straße 82, A-1190, em Viena. Está locado dentro do Departamento de Engenharia Civil e Catástrofes Naturais (Department für Bautechnik und Naturgefahren), e desenvolve pesquisas nas áreas de Planejamento e Organização da Paisagem (Landschaftsbau), Técnicas Vegetativas (Vegetationstechnik) e Engenharia Natural (Ingenieurbiologie) (Figura 3).

Em relação à Engenharia Natural (EN), o instituto é reconhecido mundialmente pelo pioneirismo na pesquisa e aplicação das técnicas que buscam (re)construir ambientes paisagisticamente alterados. Sob coordenação do O. Univ. Prof. Dr. Phil. Florin Florineth (uma das maiores autoridades em Engenharia Natural do mundo), o instituto conta com 3 grupos de pesquisa aplicada e envolve direta e indiretamente mais de 70 colaboradores, entre professores, pesquisadores, técnicos e acadêmicos tutores.

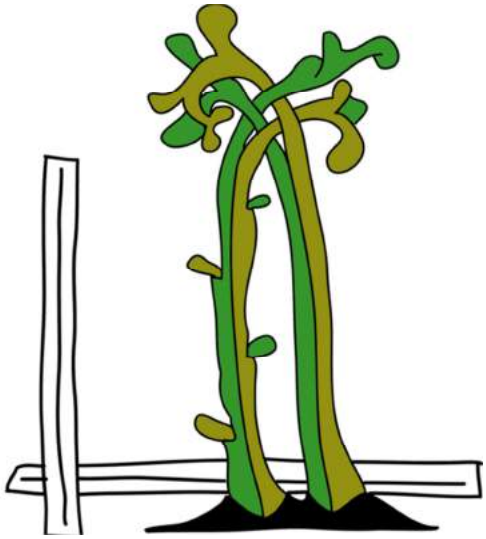


Figura 3 – Interior do edifício do departamento e logotipo do instituto.

3 ATIVIDADES DESENVOLVIDAS

As atividades de estágio foram desenvolvidas durante o período outonal e invernal europeu, de 06.10.2014 até 03.03.2015 no Institut für Ingenieurbiologie und Landschaftsbau (IBLB) da BOKU. Uma parte das atividades foi realizada em laboratório e outra a campo.

3.1 ATIVIDADES LABORATORIAIS

3.1.1 Teste de germinação de sementes para vegetação de taludes e estradas cascalhadas

O teste foi conduzido nas dependências do instituto (

Figura 4) e teve como objetivo determinar a viabilidade de sementes de gramíneas, leguminosas (Fabaceae) e demais espécies herbáceas previamente selecionadas, espécies estas a serem empregadas na cobertura vegetal de taludes secos e estradas cascalhadas.

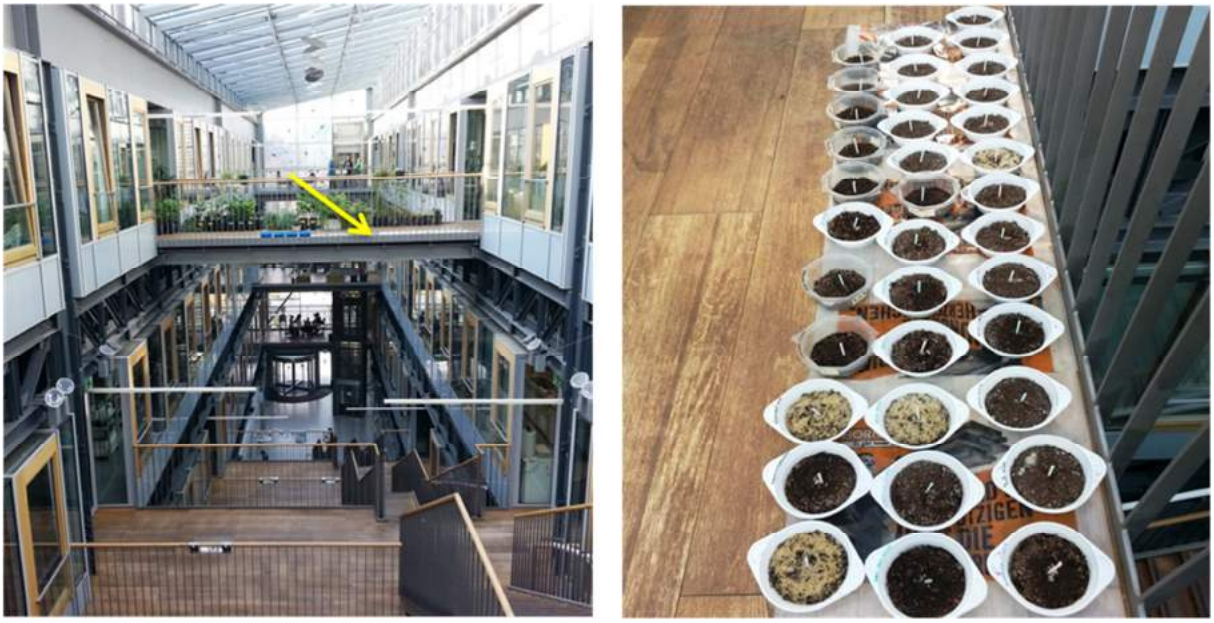


Figura 4 – Local de condução e aspecto geral do teste de germinação de sementes após instalação.

Para o teste foram utilizados recipientes plásticos de seção circular, com 13,2 cm de diâmetro e 4,5 cm de altura. Previamente à aplicação do substrato orgânico

(Figura 5) colocou-se uma camada de areia com aproximadamente 1 cm de espessura na base dos recipientes e posteriormente aplicaram-se 2 cm de espessura de substrato orgânico na camada superior. Sobre o substrato orgânico distribuíram-se, de forma uniforme, 50 sementes de cada espécie para germinar (Figura 6). Cada recipiente continha uma espécie vegetal, totalizando 25 recipientes.

Figura 5 – Diferentes tipos de substratos utilizados para a condução do teste de germinação de sementes. Areia (esquerda); Substrato orgânico (direita).

Figura 6 - Aspecto geral dos recipientes com os substratos e sementes das espécies vegetais logo após a instalação do teste de germinação de sementes. Espécie vegetal sem necessidade de

cobertura das sementes (esquerda); Espécie leguminosa com cobertura das sementes com fina camada de areia (direita).

Para as espécies da família Fabaceae foi adicionada uma fina camada de areia sobre as sementes, devido à característica genética de germinação em ambiente escuro.

Após a instalação e durante a condução do teste, os recipientes foram irrigados diariamente, de modo que a umidade ideal para a germinação das sementes pudesse ser mantida. Foram registradas variáveis como a temperatura e umidade do ar para se estabelecer posteriormente um perfil geral das condições de germinação (Figura 7).

As avaliações foram realizadas 5, 21 e 28 dias após a instalação do teste, em que foram avaliados o número de sementes germinadas e a ocorrência ou não de plântulas com deformações para cada espécie.

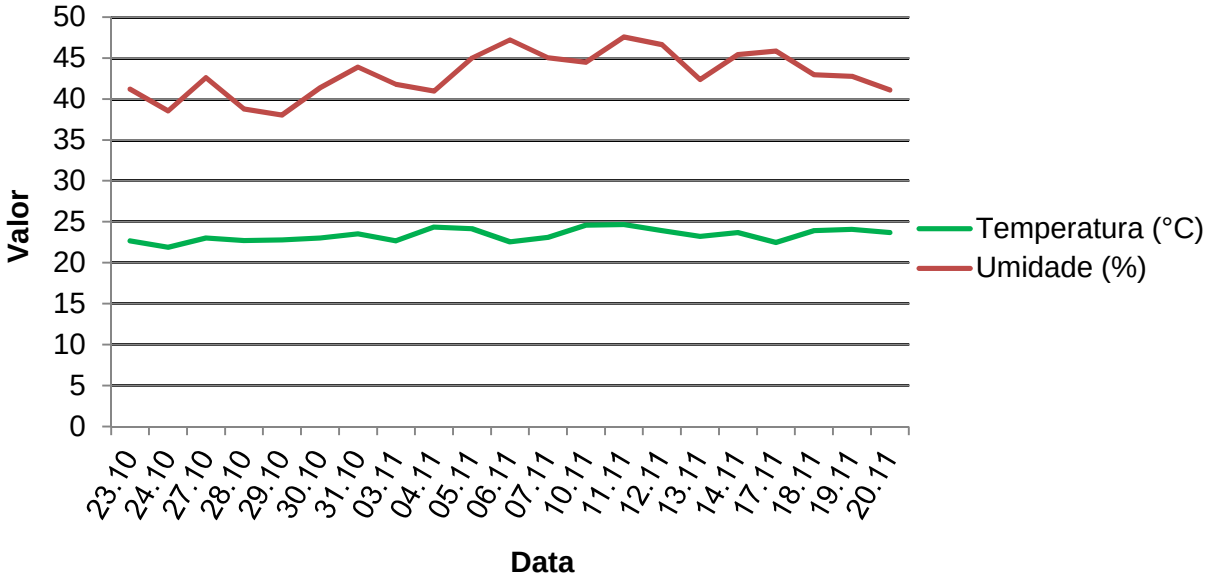
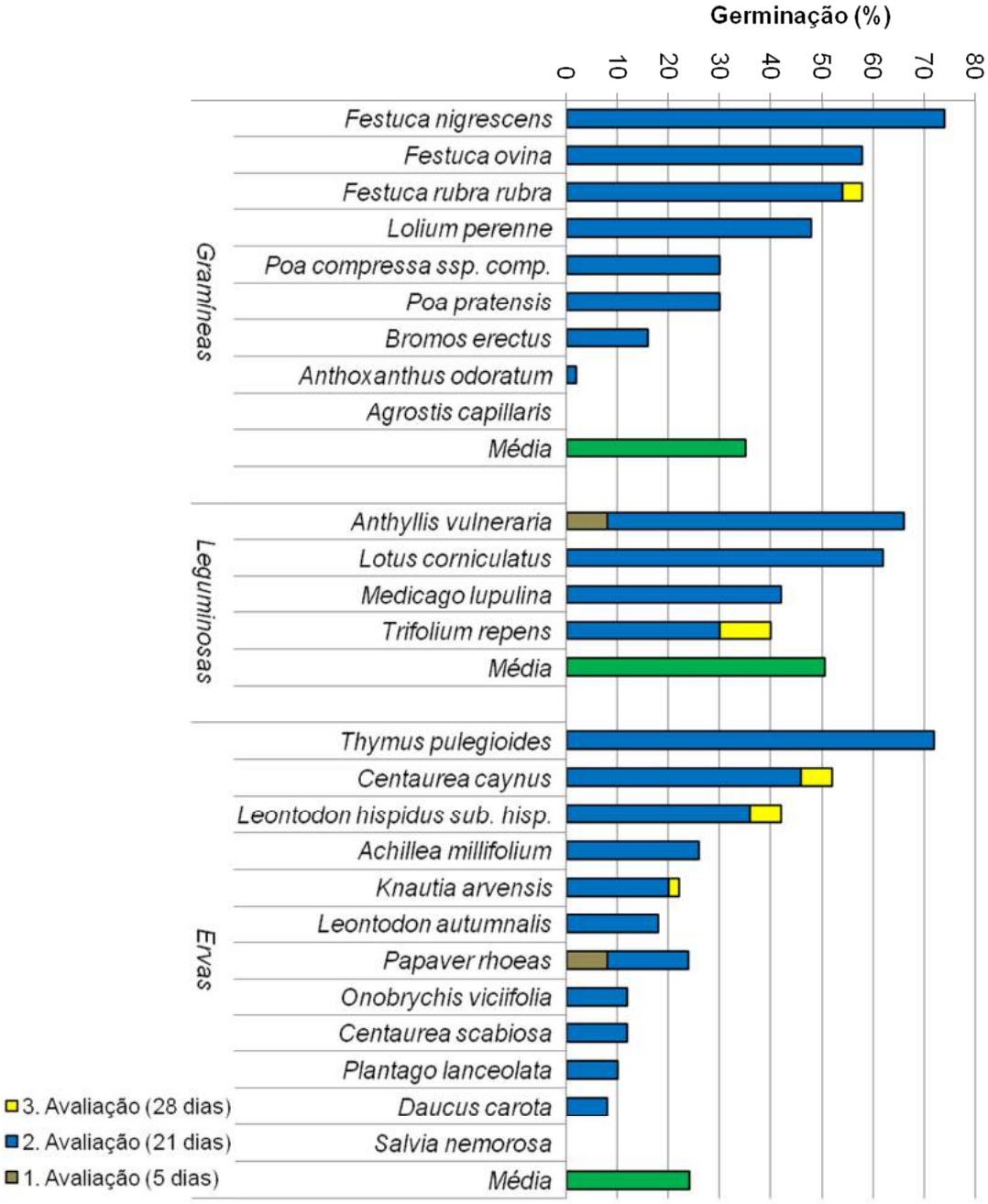


Figura 7 - Condições de temperatura (°C) e umidade do ar (%) durante os 28 dias de realização do teste de germinação de sementes.

Segundo a ISTA (2008), os valores de temperatura e umidade acima apresentados caracterizam-se como apropriados para a germinação das espécies analisadas.

As taxas de germinação das espécies foram compiladas e são apresentadas na Figura 8. Com base nos dados levantados, foi possível observar que para as mesmas condições ambientais, as espécies da família Fabaceae apresentaram as

melhores taxas de germinação, seguidas de gramíneas e herbáceas (ervas). Porém, conforme Florineth (2012), as taxas de germinação de sementes certificadas de gramíneas, ervas e leguminosas devem estar entre 70% a 90% para a realidade austríaca. Isso permite concluir que a maioria das espécies vegetais testadas não apresentaram índices satisfatórios, motivado provavelmente pela idade e



consequente baixa viabilidade fisiológica das sementes, provocada pelo longo tempo de estocagem.

Figura 8 - Taxas de germinação das espécies testadas após 5, 21 e 28 dias da implantação do teste.

Para a maioria das espécies a germinação deu-se, praticamente em sua totalidade, até os 21 dias após a instalação do teste, dado importante a ser analisado no momento da implantação de técnicas de revegetação de taludes e encostas, uma vez que permite estimar o início dos efeitos benéficos das plantas sobre a área tratada.

3.1.2 Teste bioindicador com agrião (*Lepidium sativum* L.) em solos de origem xistosa (Bündner Schiefer) e quartzosa (Quatzphyllit)

O teste bioindicador com *Lepidium sativum* é um método empregado para a obtenção de informações sobre a qualidade biológica de solos, através da análise do efeito de substâncias tóxicas sobre esta espécie vegetal. O uso de agrião é justificado pela rápida germinação e pela baixa exigência nutricional que, aliado a um vigoroso crescimento vegetativo, permite a rápida obtenção de informações acerca das condições químicas e biológicas do solo em estudo (WEISSTEINER et al., 2013)

O teste foi conduzido no laboratório de sementes do Instituto de Engenharia Natural e Construção da Paisagem (IBLB).

Nesta ocasião foram testados dois substratos diferentes, um de origem xistosa (Bündner Schiefer) e outro de origem quartzosa (Quartzphyllit) (Figura 9), com três repetições para cada tipo de substrato. Como suporte para os substratos utilizaram-se recipientes de seção circular com 120 mm de diâmetro e 60 mm de altura, os quais foram preenchidos com duas camadas de material. A primeira composta por 1 cm de espessura de areia, para drenar a água em excesso dos recipientes e, a segunda camada, composta pelos respectivos substratos a serem analisados, com espessura aproximada de 3 cm. Em seguida distribuiu-se de forma manual e uniforme 50 sementes de *Lepidium sativum* em cada recipiente e que posteriormente foram cobertas por uma fina camada de areia.

Na sequência, os recipientes foram irrigados com 100 ml de água e dispostos sobre bancadas em sala com temperatura controlada em torno de 20 °C e sob iluminação de 12 horas diárias (Figura 10). Com o objetivo de manter a umidade do substrato, os recipientes foram irrigados diariamente, conforme necessidade.

Após 14 dias da implantação do teste avaliou-se o número de sementes germinadas, altura, massa verde e massa seca das plântulas. A partir destes dados

foi possível estabelecer a taxa de germinação em cada substrato, além de auferir sobre a qualidade dos mesmos por meio da observância das alturas e biomassa da espécie vegetal empregada.

Figura 9 – Diferentes tipos de substratos submetidos ao teste bioindicador com agrião (*Lepidium sativum* L.). Quartzphyllit (esquerda); Bündner Schiefer (direita).

Figura 10 – Local de condução do teste bioindicador e disposição geral dos recipientes com os diferentes tipos de substratos (esquerda); Detalhe (direita).

Os resultados do teste podem ser analisados no gráfico que segue (Figura 11).

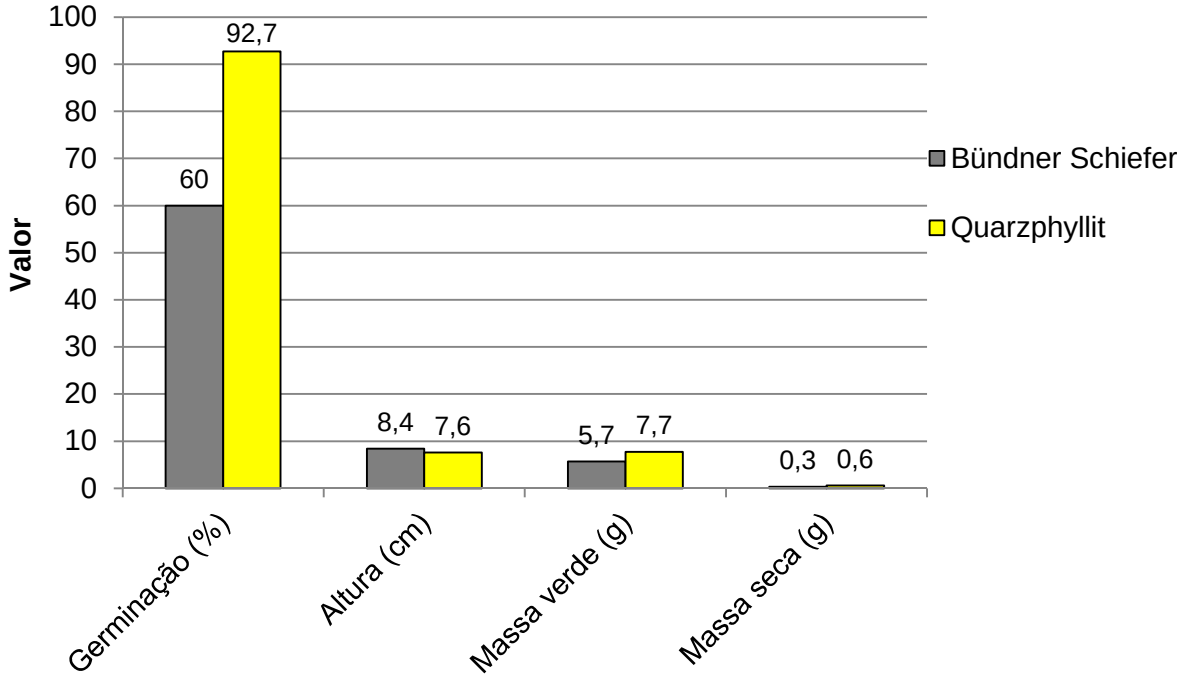


Figura 11 - Resultados de germinação (%), altura (cm), massa verde (g) e massa seca (g) apresentados pelos diferentes tipos de substratos após 14 dias de implantação do teste bioindicador.

Paralelamente ao teste de germinação foram realizadas análises para a quantificação do pH atual e potencial, e quantificação de carbonato de cálcio em ambos os substratos.

Para o teste do pH atual pesaram-se 10 g de material fino de cada substrato previamente peneirado e misturado com 25 ml de água destilada em um pequeno recipiente. Após agitação intensa, os recipientes foram dispostos sobre uma bancada durante duas horas para que ocorresse a decantação do substrato. A solução sobrenadante foi analisada para obtenção dos níveis de pH, por meio da introdução de um eletrodo ligado a um instrumento eletrônico de leitura (Figura 12). Já para a quantificação do pH potencial empregaram-se 25 ml 0,01 M de cloreto de cálcio ($CaCl_2$). Os resultados obtidos podem ser observados no gráfico a seguir (Figura 13).

A quantificação do conteúdo de carbonato de cálcio foi realizada conforme MEDL (2013). Para a análise utilizou-se material fino previamente peneirado, cuja massa amostral variou de 2 a 5 g. Cada amostra de substrato foi inserida em pequenos frascos de vidro onde se adicionou ácido clorídrico a 10% (HCl). Em

seguida, o frasco com a amostra foi vedado com uma rolha ligada por meio de um cano flexível a um tubo de vidro em formato de “U” contendo solução de cloreto de potássio (KCl) (Figura 12).

Figura 12 - Instrumentação utilizada para a análise de pH atual e potencial (esquerda) e para a quantificação de carbonato de cálcio (CaCO3) para os diferentes tipos de solos analisados (direita).

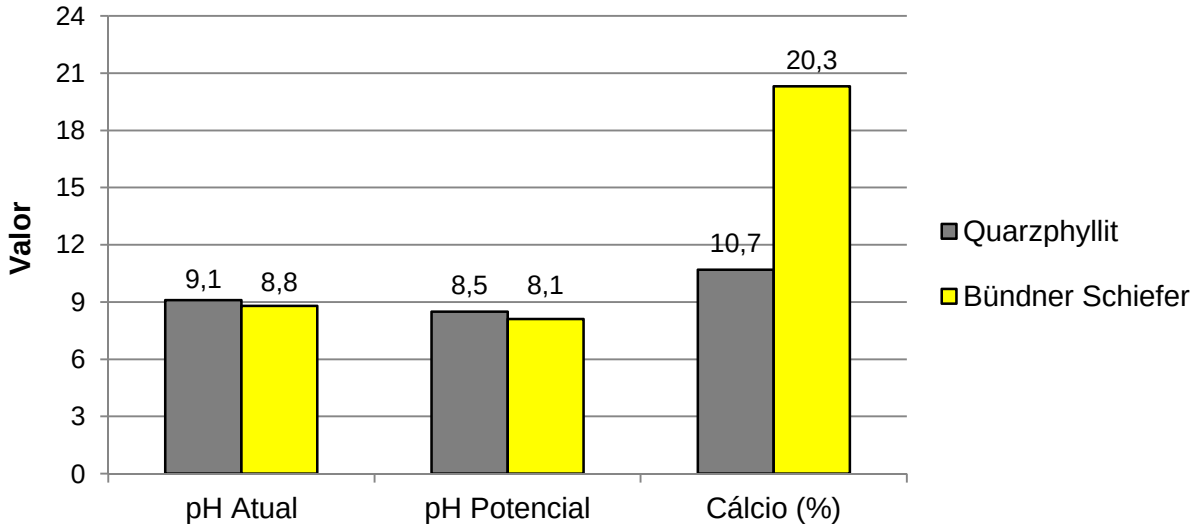


Figura 13 - pH atual, pH potencial e concentração de cálcio para os dois tipos de solos analisados.

A quantidade de gás carbônico produzido por meio da reação entre a amostra de substrato e o ácido clorídrico (HCl) provoca o deslocamento da coluna de cloreto de potássio (KCl) dentro do tubo U, valor este equivalente ao seu volume (CO_2). O

valor observado foi inserido em uma equação matemática específica (Equação 1), para que a concentração de carbonato de cálcio pudesse ser quantificada.

$$CaCO_3\ (\%) = \frac{MlCO_2 . Valor\ tabelado\ .\ 2{,}274\ .\ 100}{Peso\ da\ amostra\ (mg)} \qquad \text{Equação 1}$$

Em que: Valor tabelado: 1,893
Temperatura: 20 °C
Pressão atmosférica: 1021 hPa; 76,6 mmHg

Conforme SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL (2002), os valores de acidez observados classificam ambos os solos como levemente até fortemente alcalinos. Em solos alcalinos, no entanto, a absorção de elementos traços pelas plantas como boro (B), ferro (Fe), manganês (Mn), zinco (Zn) e cobre (Cu) é facilitado. Por outro lado, a simbiose de fungos micorrízicos com as raízes é prejudicada, visto que em ambientes alcalinos a quantidade de fungos que se desenvolve é baixa (HÖSTER, 1993). Além disso, a acidez do solo afeta a nitrificação, a disponibilidade de elementos tóxicos e antagônicos como alumínio (Al) e elementos pesados, a estrutura do solo, que por sua vez interfere na quantidade de água e ar disponível, assim como as condições de vida dos micro-organismos (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL, 2002).

Comparativamente com os dados do gráfico, o sistema pode ser considerado como estável, mas a absorção de nutrientes e o consequente desenvolvimento das plantas devido à alcalinidade pode ser afetado.

Quanto à concentração de carbonato de cálcio nas amostras, o Quartzphyllit pode ser classificado como fortemente concentrado e o Bündner Schiefer como medianamente concentrado, conforme classificação de Schoereder (1969). A grande concentração de carbonato de cálcio no Bündner Schiefer esclarece, em partes, o maior crescimento do agrião, uma vez que a espécie demanda grandes quantidades deste nutriente para o seu desenvolvimento.

De forma geral, testes como o realizado com agrião são métodos alternativos para o estudo da capacidade de suporte de plantas em um determinado tipo de solo. A partir desses resultados é possível prever o desenvolvimento das plantas a serem implantadas em obras de recuperação de áreas alteradas e, se necessário, servir de

base para a correção das condições de fertilidade do solo, o que promove o desenvolvimento das plantas e consequentemente leva a um aumento da eficiência técnica das intervenções realizadas.

3.1.3 Elaboração de desenhos técnicos

A execução de desenhos técnicos teve por objetivo o delineamento das margens e da área do entorno ao longo de um curso de água, assim como a elaboração de perfis transversais em pontos específicos. Estes desenhos foram utilizados como ferramenta de análise e planejamento de intervenções de Engenharia Natural que viriam a ser executadas na área de estudo.

Após o levantamento topográfico da área executou-se a importação das coordenadas geográficas e suas respectivas cotas de altitude para a área de trabalho do software AutoCAD 2015. A partir destes dados delimitou-se o leito e as margens do rio, assim como as áreas de vegetação nativa ao longo da faixa ciliar.

Para fins de planejamento e execução de projeto, a extensão do rio foi dividida em 5 áreas e elaborados perfis transversais em pontos estratégicos, com o intuito de analisar a conformação da calha do rio e os ângulos de inclinação dos taludes marginais. A partir disso pode-se obter variáveis (perímetro molhado, área molhada, raio hidráulico) utilizadas na realização de cálculos hidráulicos.

Os perfis transversais também foram importantes para a realização de dimensionamentos geotécnicos das intervenções e para a fase executiva das obras.

3.1.4 Processamento de dados de sensores de umidade do solo

A direção administrativa do aterro sanitário da cidade de Viena mantém monitoramento contínuo da umidade do solo dos taludes construídos, com o intuito de controlar a quantidade de água infiltrada através dos perfis de solo.

Com esse objetivo, existem sensores de umidade do solo instalados em pontos estratégicos. Cada conjunto de sensores é constituído por 6 sub-sensores, distanciados verticalmente 10 cm entre si, para que a umidade do solo possa ser monitorada em diferentes profundidades (0 a 60 cm). Sua instalação se dá de forma perpendicular à superfície do talude, atentando-se para que permaneçam em

contato pleno com o solo, a fim de evitar erros sistemáticos na leitura dos índices de umidade.

A instalação dos equipamentos, a coleta e o processamento dos dados são coordenados pelo Institut für Ingenieurbiologie und Landschaftsbau (IBLB).

Os dados apresentados na Figura 14 foram obtidos a partir da estação meteorológica instalada nas dependências do aterro sanitário de Viena, que demonstra as condições de temperatura e precipitação do período de agosto a dezembro de 2013 (outono e inverno).

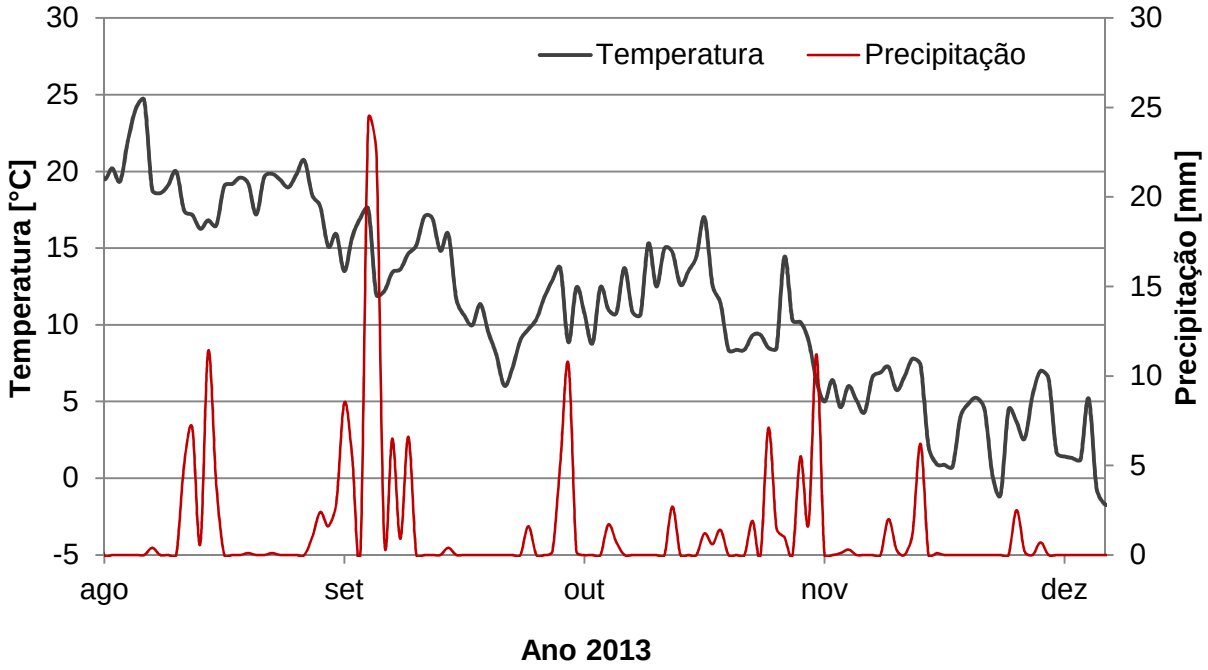


Figura 14 – Condições de temperatura atmosférica (°C) e precipitação (mm) de agosto a dezembro de 2013 para o aterro sanitário municipal de Viena.

O gráfico representado na Figura 15 demonstra a resposta dos sensores em função da precipitação ocorrida de agosto a dezembro de 2013.

O sensor 1 (10 cm de profundidade) apresenta uma maior amplitude de resposta à mudança de umidade em comparação aos demais. Isto se deve ao fato da água precipitada na superfície do talude ser detectada quase que na sua totalidade e de forma imediata por este sensor. À medida que aumenta a profundidade dos sensores no solo, a amplitude diminui de forma geral, como pode ser observado no sensor 6 (60 cm de profundidade). Isso se deve ao fato que com o aumento da profundidade, a água de infiltração percola com velocidades cada vez

menores, gerando curva de leitura com um pico de resposta inferior em comparação aos demais sensores.

Outro fator é que à medida que a profundidade do solo aumenta, os valores da concentração volumétrica de água também aumentam, o que explica a disposição característica das linhas de cada sensor.

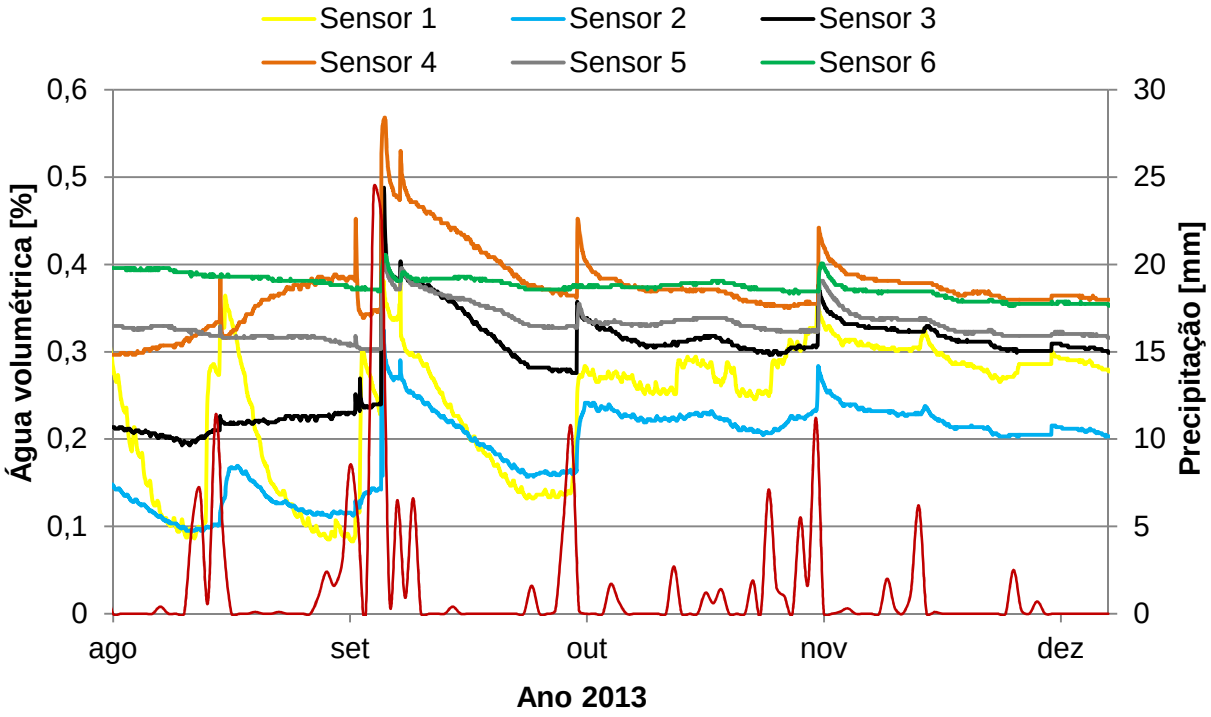


Figura 15 – Quantificação volumétrica de água para cada sensor a diferentes profundidades em função de chuvas pluviométricas de agosto a dezembro de 2013 para o aterro sanitário municipal de Viena.

Espera-se que a análise destes dados permita à administração do aterro sanitário auferir sobre a quantidade de água de infiltração que atinge o lixo incinerado e compactado. Essa informação é importante para a gestão e controle de qualidade e a prevenção de possíveis impactos ambientais que possam vir a ocorrer. Desta forma também será possível monitorar a umidade do solo para o bom desenvolvimento da vegetação implantada, geralmente através da aplicação de hidrossemeadura, realizada após a execução dos taludes artificiais (Figura 16).

3.2 ATIVIDADES A CAMPO

3.2.1 Execução de hidrossemeadura em taludes

As intervenções foram efetuadas em taludes artificiais do aterro sanitário do município de Viena. A primeira intervenção foi realizada no início do período invernal (outubro) e a segunda ao término do mesmo período (março).

Os taludes artificiais, construídos de forma padrão em toda a área do aterro, caracterizam-se por apresentar espessura aproximada de 2 m de solo e inclinação de 35°, cujas alturas verticais podem atingir até 80 m (Figura 16). Os taludes são construídos externamente aos depósitos de lixo incinerado, com o objetivo de envolver e isolar ambientalmente os rejeitos, bem como propiciar a revegetação destas áreas para uma melhor integração paisagística.

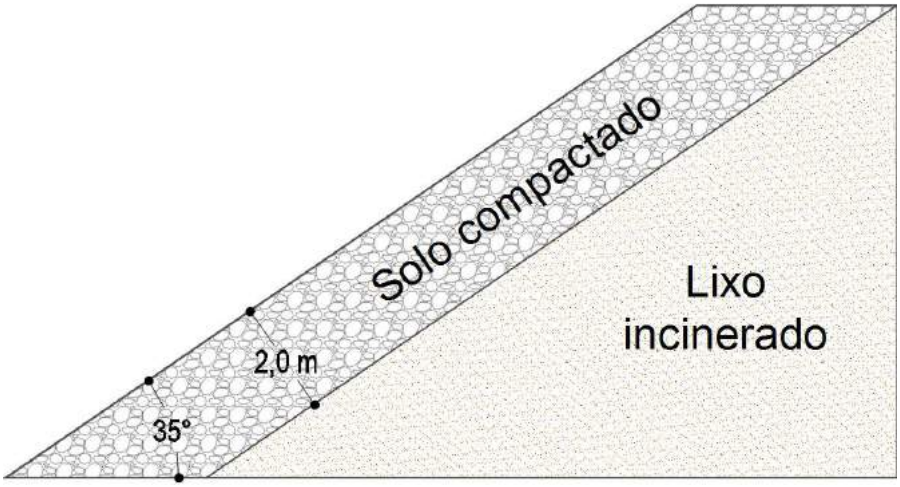


Figura 16 - Perfil padrão de construção dos taludes do aterro sanitário municipal de Viena.

A hidrossemeadura foi efetuada com o auxílio de uma máquina específica, composta de um tanque com capacidade de 500 l acoplado a um sistema de bomba hidráulica, responsável pela produção de pressão necessária à projeção por aspersão da mistura sobre os taludes.

As soluções aquosas foram preparadas no local da aplicação e consistiam basicamente de uma mistura de fibras de celulose, adubo orgânico, agente fixador e sementes de leguminosas, herbáceas (ervas) e gramíneas (Figura 17). As espécies utilizadas na hidrossemeadura e suas respectivas quantidades são apresentadas na tabela 1.

Figura 17 - Preparação da mistura para hidrossemeadura.

Tabela 1 - Espécies botânicas e respectivas quantidades hidrossemeadas.

Nr.	Nome Científico	Nome comum	Prop. [%]	Quant. [g/m²]	Quant. [g]
1	*Bromus erectus* Huds.	Aufrechte Trespe	5,00	0,50	250,0
2	*Festuca ovina* L.	Schafschwingel	27,00	2,70	1350,0
3	*Festuca nigrescens* Lam.	Rotschwingel	15,00	1,50	750,0
4	*Festuca rubra rubra* L.	Rotschwingel	8,00	0,80	400,0
5	*Lolium perenne* L.	Englisches Raygras	9,50	0,95	475,0
6	*Poa pratensis* L.	Wiesenrispe	7,00	0,70	350,0
Total de gramíneas			**71,50**	**7,15**	**3575,00**
7	*Achillea millefolium* L.	Schafgarbe	2,00	0,20	100,0
8	*Anthyllis vulneraria* L.	Wundklee	2,50	0,25	125,0
9	*Centaurea cyanus* L.	Kornblume	0,70	0,07	35,0
10	*Centaurea scabiosa* L.	Flockenblume	0,50	0,05	25,0
11	*Dianthus carthusianorum* L.	Karthaeser Nelke	0,40	0,04	20,0
12	*Lathyrus pratensis* L.	Wiesenplatterbse	1,30	0,13	65,0
13	*Leontodon autumnalis* L.	Herbst-Loewenzahn	0,50	0,05	25,0
14	*Lotus corniculatus* L.	Hornschotenklee	3,50	0,35	175,0
15	*Medicago lupulina* L.	Gelbklee	2,00	0,20	100,0
16	*Onobrychis viciifolia* Scop.	Esparsette	3,00	0,30	150,0
17	*Papaver rhoeas* L.	Wilder Mohn	0,10	0,01	5,0
18	*Plantago lanceolata* L.	Spitzwegerich	2,70	0,27	135,0
19	*Salvia nemorosa* L.	Steppen-Salbei	0,70	0,07	35,0
20	*Sanguisorba minor* Scop.	Kleiner Wiesenknopf	1,00	0,10	50,0
21	*Securigera varia* (L.) Lassen	Bunte Kronwicke	4,00	0,40	200,0
22	*Thymus pulegioides* L.	Gemeiner Thymian	0,80	0,08	40,0
23	*Trifolium repens* L.	Weissklee	2,80	0,28	140
Total de herbáceas e leguminosas			**28,50**	**2,85**	**1425,00**
		Total	**100,00**	**10,00**	**5000,00**

Após a mistura mecânica dos insumos da hidrossemeadura procedeu-se à aspersão da mistura sobre os taludes a serem revegetados. Nesta etapa é importante que a camada projetada seja aplicada de forma uniforme, recobrindo totalmente a área superficial do solo desnudo (Figura 18).

Figura 18 - Aplicação de hidrossemeadura sobre os taludes artificiais do aterro sanitário municipal de Viena.

Os taludes tratados possuíam pouca umidade no solo, uma vez que estavam submetidos constantemente a correntes de ar intensas, o que colaborava no ressecamento superficial do mesmo. Como medida auxiliar para o desenvolvimento das espécies vegetais instalou-se um sistema de irrigação, de modo que os taludes pudessem ser irrigados duas vezes ao dia, uma no período matutino e outra no período vespertino.

Após 30 dias da aplicação foi realizada uma vistoria a campo, com o intuito de averiguar o desenvolvimento da vegetação, sendo avaliadas a capacidade germinativa, a altura das plantas e a taxa de cobertura (densidade e uniformidade) dos taludes hidrossemeados (Figura 19).

Figura 19 – Início do desenvolvimento vegetativo das espécies vegetais hidrossemeadas 30 dias após a execução da intervenção.

Devido ao baixo índice de recobrimento da área superficial do solo pelas plantas, optou-se por realizar uma segunda intervenção na área 4 meses após a primeira, já no período invernal tardio. A metodologia de preparo e aplicação da mistura da hidrossemeadura seguiu a mesma metodologia anteriormente explicada.

3.2.2 Visitas técnicas em obras de Engenharia Natural

Durante o período de estágio foram efetuadas excursões técnicas a campo com o intuito de visualizar exemplos práticos de obras executadas pelo Instituto de Engenharia Natural no meio urbano vienense. Os exemplos que serão apresentados a seguir são o resultado de obras planejadas e executadas pelos acadêmicos, sob orientação e coordenação dos docentes especialistas do instituto.

3.2.2.1 Rio Viena (Wienerfluss)

O Rio Viena nasce na Floresta de Viena, região montanhosa dos arredores da cidade, e flui em direção noroeste-sudeste por praticamente toda a extensão da cidade, até desaguar no Rio Danúbio. Por apresentar natureza alpina, o Rio Viena é classificado como sendo de caráter torrencial com picos de vazão altos, que ocorrem em baixos tempos de concentração, característica indesejável para ambientes urbanos, porque aumenta a suscetibilidade a enchentes e inundações. Para prevenir e evitar problemas ambientais desta natureza, antigamente realizava-se a impermeabilização dos canais fluviais por meio de concretagem, uma vez que um

leito com menor rugosidade aumenta a velocidade de escoamento da água, o que diminui o risco de cheias. Tal medida foi amplamente utilizada em boa parte dos rios das grandes metrópoles europeias, como a cidade de Viena. Atualmente, no entanto, esta medida está deixando de ser utilizada em virtude do aumento da preocupação ambiental e do interesse na criação de espaços verdes em ambientes urbanos, levando à reconstrução e renaturalização de cursos de água anteriormente concretados e antropizados.

Com isso, o Instituto de Engenharia Natural da BOKU vem desenvolvendo pesquisas e executando obras de caráter paisagístico que visam reconstruir o Rio Viena, a fim de torná-lo esteticamente e ambientalmente mais próximo do natural. A Figura 20 ilustra tal iniciativa.

Figura 20 - Vista a montante do corpo terroso fixado e revegetado no fundo do leito concretizado do rio Viena.

A obra foi executada dentro do rio Viena no centro da cidade e objetiva a criação de ambientes verdes com o mínimo de alteração do leito concretado. A obra consiste na aplicação de uma camada de solo de aproximadamente 50 cm, envolta por uma camada tripla composta por biomanta e telas galvanizadas de diferentes

diâmetros fixadas por parafusos a cada 20 cm em suas bordas e por um cabo de aço envolvendo todo o corpo terroso no sentido longitudinal do mesmo. Após a estabilização física procedeu-se semeadura a lanço de gramíneas para a revegetação da intervenção.

A Figura 21 ilustra a mesma área de intervenção após submersão temporária da estrutura, devido ao aumento da vazão provocado por precipitações intensas. Como pode ser observado, a estrutura mostrou-se estável e capaz de suportar a velocidade do fluxo de água. Além disso, não se observou erosão de solo, comprovando a importância biotécnica do sistema radicular e da parte aérea das plantas. A retenção e deposição de material lenhoso de pequenas dimensões também pode ser observada, sendo este um resultado ocasionado pelo aumento da rugosidade hidráulica e consequente diminuição da velocidade da água.

Figura 21 - Vista a jusante da estrutura implantada no fundo do leito concretizado do rio Viena, com detalhe para a área de deposição de material orgânico transportado pelo rio durante um evento de cheia.

Mais a montante do mesmo rio realizou-se uma segunda intervenção. A extensão do trecho tratado compreende aproximadamente 200 m de comprimento e

30 m de largura. O leito e os taludes fluviais foram totalmente reconfigurados, para que se pudesse intervir com técnicas de Engenharia Natural.

Em conjunto com os acadêmicos do instituto optou-se por realizar diferentes tipos de intervenções, como a construção de soleiras para a criação de perfis de compensação e retenção de sedimentos, defletores para proteção e deposição de sedimentos nas margens, rampas hidráulicas com pedras de grandes dimensões dispostas de forma a permitir a migração de peixes no sentido montante do rio, enrocamento da base das margens para estabilização hidráulica, paliçadas longitudinais vegetadas para contenção das margens, e hidrossemeadura com espécies herbáceas, leguminosas e gramíneas nos taludes para controle da erosão superficial. Esta última medida não teve efeito devido à ocorrência de uma cheia logo após o término de execução da obra, ocasionando o transporte das sementes e demais insumos utilizados na hidrossemeadura.

De modo geral, na ocasião da visita também foi possível observar a inexistência de biomassa verde da vegetação implantada, devido ao estado de repouso vegetativo das mesmas durante o período invernal.

As figuras apresentadas a seguir retratam o estado e a configuração da obra na data da visita.

Figura 22 - Rampa hidráulica para migração de peixes (esquerda); Soleira de madeira e pedra para formação de perfis de compensação (direita).

Figura 23 - Vista a jusante das intervenções biotécnicas executadas no rio Viena.

Figura 24 – Execução de soleira em pedra para criação de um perfil de compensação para diminuição da velocidade da água e retenção de sedimentos.

Figura 25 - Vista a montante com as obras transversais e longitudinais executadas no rio Viena.

3.2.2.2 Estabilização do leito e margens fluviais do rio Eckbach

As imagens a seguir ilustram o resultado da execução de outra obra de Engenharia Natural realizada pelo Instituto de Engenharia Natural da BOKU. A intervenção está localizada no rio Eckbach na região noroeste da cidade de Viena.

O córrego tratado nasce em região montanhosa e possui regime de escoamento torrencial. A área apresentava erosão do leito e corrosão das margens laterais, provocado e potencializado pela elevada competência do fluxo.

Com objetivo de solucionar estes problemas procurou-se estabilizar o fundo do canal por meio de obras transversais como soleiras e defletores, já que tais técnicas promovem a diminuição da velocidade da água, o que por sua vez, favorece a deposição de sedimentos. Em um segundo momento realizou-se a proteção e estabilização das margens através do plantio de mudas de espécies nativas locais, implantaram-se esteiras vivas e paliçadas longitudinais vivas com emprego de várias espécies de *Salix*. No final da obra executou-se hidrossemeadura como medida complementar para a proteção superficial do solo contra processos erosivos.

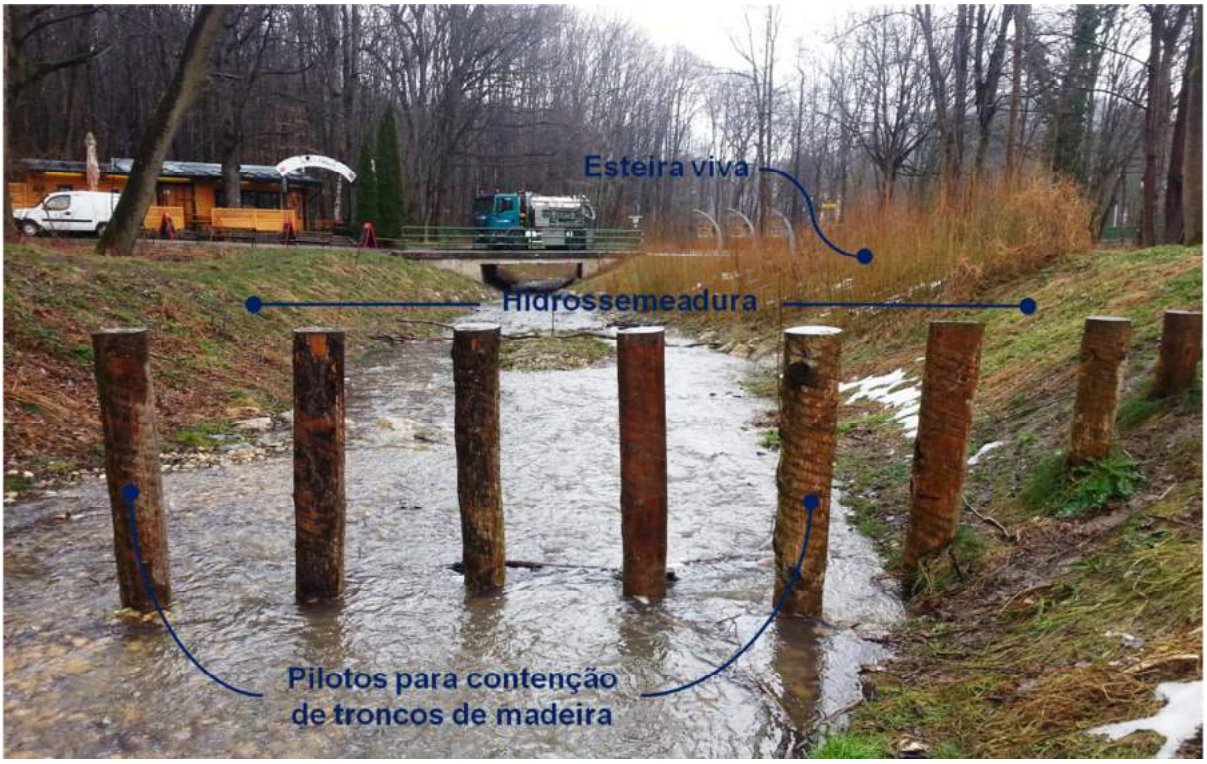


Figura 26 - Vista a jusante com as intervenções realizadas no rio Eckbach para o controle de erosão do fundo do leito e das margens do canal.

Figura 27 - Vista a jusante com as intervenções realizadas no rio Eckbach para o controle de erosão do fundo do leito e das margens do canal.

Figura 28 - Vista a jusante com as intervenções realizadas no rio Eckbach para o controle de erosão do fundo do leito e das margens do canal.

3.2.2.3 Renaturalização do leito e das margens do rio Liesing

A presente visita técnica teve por objetivo ilustrar o processo de reconstrução de um trecho do rio Liesing, passando de um canal totalmente concretado e impermeabilizado para um ambiente mais próximo do natural (Figura 29). O trecho fluvial tratado foi totalmente replanejado e reconstruído para servir como espaço de lazer e bem estar, assim como um ambiente natural para a prática de esportes para a população do entorno.

A reconstrução do canal está a cargo da administração política da cidade de Viena, cabendo à BOKU a execução das técnicas de revegetação e estabilização das margens por meio do emprego de plantas e técnicas de engenharia. Esta atividade será realizada após os trabalhos de movimentação de terra e contará com a cooperação de duas turmas de mestrado em Engenharia Natural, ambas sob orientação de tutores e professores. Dentre outros, o objetivo desta obra é proporcionar experiência prática na execução de obras de Engenharia Natural aos

acadêmicos participantes, por meio da aplicação dos conhecimentos técnicos através de exemplos concretos.

Figura 29 - Vista a montante com a configuração antiga e a configuração atual do leito e das margens do rio Liesing.

Alguns pontos ao longo do trecho do rio apresentam taludes íngremes e próximos a habitações, caracterizando-se como geotecnicamente instáveis. Como alternativa para estas áreas optou-se pela execução de enrocamentos vegetados, construídos com pedras provenientes do antigo leito (Figura 30). Na base do enrocamento ancoraram-se tocos e árvores inteiras, com o intuito de proteger as margens, aumentar a rugosidade hidráulica e diminuir a velocidade de fluxo da água.

Figura 30 - Vista a jusante com a execução de um enrocamento para a estabilização de um trecho da margem direita do rio Liesing. A árvore ancorada na base do talude aumenta a rugosidade hidráulica e diminui a velocidade da água neste ponto.

Figura 31 - Vista a montante com a reconfiguração atual do leito e das margens do rio Liesing com as respectivas áreas a serem revegetadas.

Figura 32 - Vista a jusante com a nova conformação do leito e das margens do rio Liesing com as respectivas áreas a serem revegetadas.

3.2.3 Estabilização do fundo do leito e das margens do córrego Dorfstetten

O projeto para a estabilização e recuperação do presente curso de água é o resultado do esforço conjunto de diferentes órgãos e instituições. O córrego Dorfstetten está localizado em Dorfstetten, na Baixa Áustria (Niederösterreich) (Figura 33). O financiamento da obra foi viabilizado pela administração da comunidade de Dorfstetten, cabendo à Universität für Bodenkultur (BOKU) e à Wildbach und Lawinenverbauung (WLV) o levantamento topográfico, planejamento e execução das técnicas de Engenharia Natural.

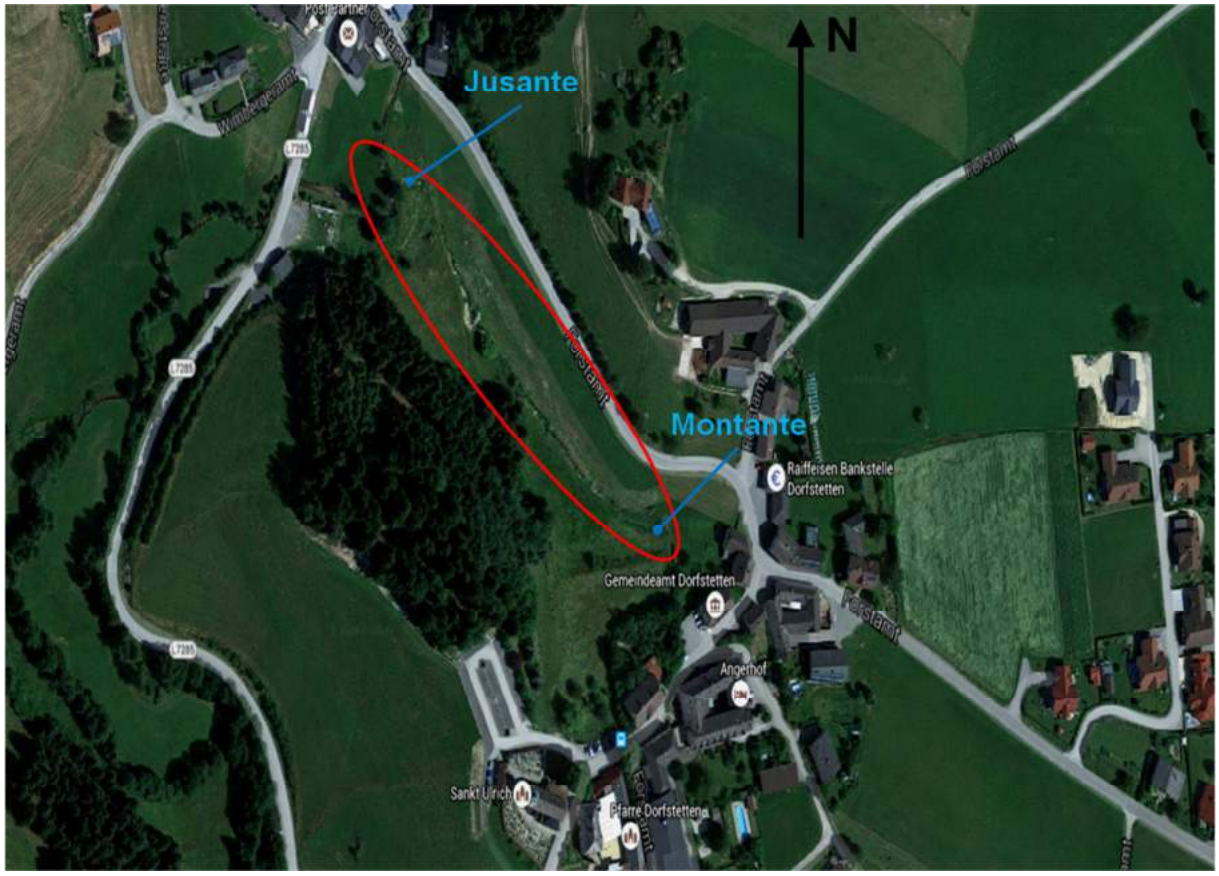


Figura 33 – Imagem aérea de localização do córrego Dorfstetten, em Dorfstetten, na Baixa Áustria (Niederösterreich).

O córrego a ser tratado tem 209 m de comprimento e possui fluxo contínuo de água em todas as épocas do ano. Caracteriza-se por drenar a água proveniente das estradas e das povoações situadas no entorno, estando sujeito a grandes vazões em eventos de precipitações intensas. A ação desses fenômenos hidráulicos desencadeou processos erosivos no fundo do leito e nas margens fluviais, com perda de grandes quantidades de solo em trechos específicos ao longo do canal (Figuras 34 e 35).

Figura 34 - Instabilidade das margens laterais do córrego.

Figura 35 - Instabilidade do talude e do fundo do leito do canal.

Com base nos dados do levantamento topográfico dividiu-se o canal em diferentes seções. Para cada seção foram planejadas obras transversais visando a criação de perfis de compensação para a estabilização hidráulica do fundo do leito e, obras longitudinais, com o intuito de estabilizar e conter os taludes marginais. A

configuração do novo leito (Figura 36) e as técnicas a serem executadas (Figura 37) podem ser visualizadas a seguir.

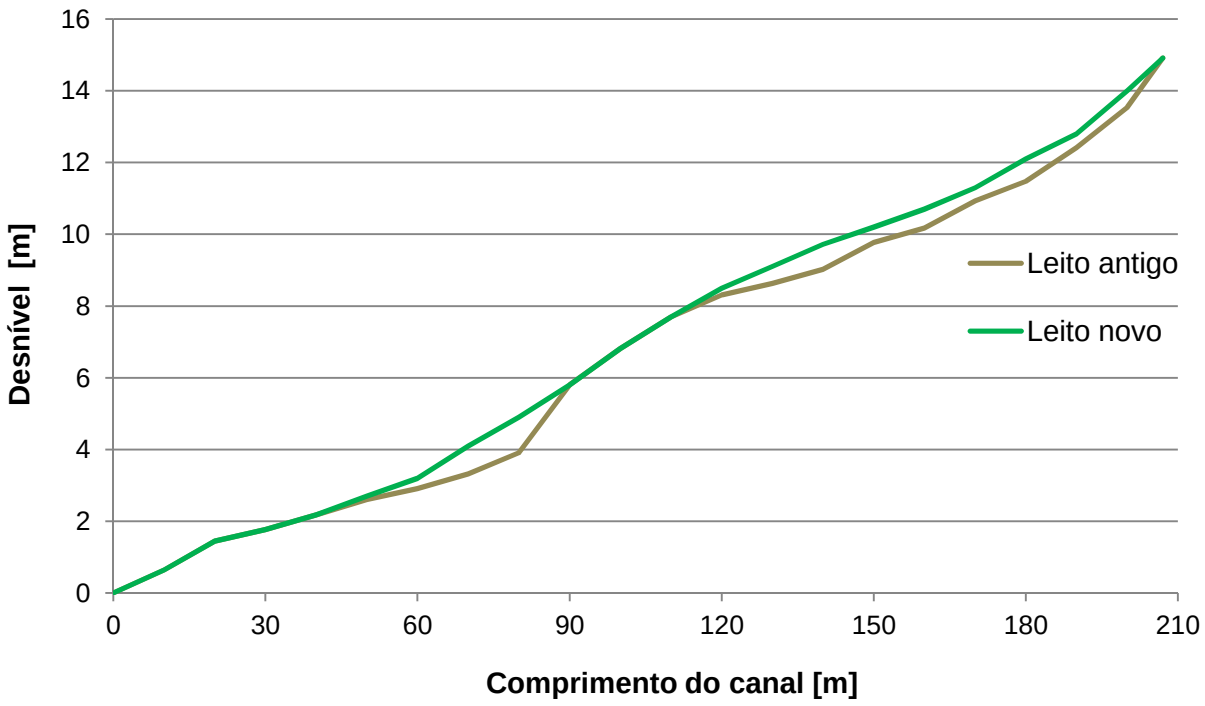


Figura 36 - Novo leito a ser configurado ao longo do curso de água após intervenções biotécnicas.

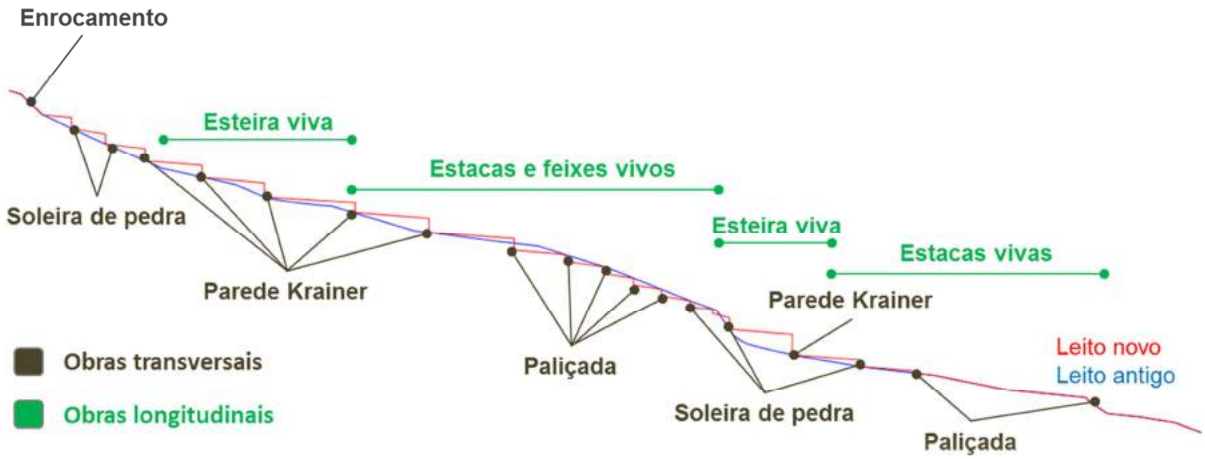


Figura 37 - Técnicas a serem executadas ao longo do curso de água para o controle de erosão do fundo do leito e desconfinamento das margens laterais.

A seguir são apresentadas fotografias com a execução das técnicas projetadas. A apresentação das imagens está organizada de forma sequencial, no sentido de montante para jusante.

Figura 38 - Enrocamento vivo e soleira em pedra executadas no início do córrego. Estas técnicas foram adotadas para diminuir a velocidade da água canalizada das estradas adjacentes e diminuir o risco de ocorrência de erosão no trecho inicial do curso de água.

Figura 39 - Execução de parede krainer a jusante do enrocamento vivo e soleira em pedra.

Figura 40 - Vista a jusante da instalação de feixe vivo e estacas vivas para a estabilização das margens do curso de água.

Figura 41 - Visão a montante com a execução de esteira viva para a estabilização de um trecho da margem esquerda do curso de água.

Figura 42 - Vista a montante com o início da execução de parede krainer com esteira viva para estabilização do fundo do leito e de um trecho da margem esquerda do curso de água.

Figura 43 - Vista a jusante com a execução de esteira viva e paliçadas transversais para a estabilização do fundo do leito e de um trecho da margem esquerda do curso de água.

Figura 44 - Vista a montante após o término da execução das biotécnicas na porção final do curso de água.

3.2.4 Viagem para identificação de plantas reófilas

A excursão a campo para identificação de espécies reófilas empregadas em intervenções de Engenharia Natural na Áustria é parte integrante e complementar da disciplina de Engenharia Natural (Ingenieurbiologie), ministrada pelo Instituto de Engenharia Natural e Planejamento da Paisagem da BOKU.

Esta atividade complementar foi coordenada pelo O. Univ. Prof. Dr. phil. Florin Florineth e monitores da disciplina, compreendendo a visita de obras de Engenharia Natural implantadas anteriormente, para a observação e identificação das principais espécies de plantas usadas em intervenções biotécnicas.

As espécies foram apresentadas e descritas morfologicamente aos participantes, atentando-se para características de fácil observação e reconhecimento, que pudessem facilitar a identificação de cada espécie. Além das características morfológicas, foram apresentadas informações biotécnicas e indicações de uso em obras para cada espécie.

Na ocasião consideraram-se somente espécies do gênero *Salix*, devido à sua ampla distribuição geográfica e diversidade de espécies encontradas em ambientes

ciliares no território austríaco, bem como devido à sua importância técnica em obras de Engenharia Natural em âmbito fluvial.

Figura 45 - Identificação in loco de espécies reófilas utilizadas em Engenharia Natural.

Figura 46 - Identificação in loco de espécies reófilas utilizadas em Engenharia Natural.

As espécies identificadas foram as seguintes:

- ✓ *Salix fragilis* L. Bruch-Weide
- ✓ *Salix alba* L. Silber-Weide
- ✓ *Salix triandra* L. Mandel-Weide
- ✓ *Salix cinerea* L. Asch-Weide
- ✓ *Salix viminalis* L. Korb-Weide
- ✓ *Salix purpurea* L. Purpur-Weide

3.3 DEMAIS ATIVIDADES REALIZADAS

3.3.1 Aulas teóricas

Durante o período de estágio foram frequentadas as disciplinas “Ingenieurbiologie” (Engenharia Natural) e “Vegetationstechnick” (Técnicas vegetativas), ambas ministradas pelo O. Univ. Prof. Dr. phil. Florin Florineth, profissional de renome mundial nas áreas mencionadas (Figura 47). Os conteúdos assimilados em ambas as disciplinas serviram de complemento à realização de algumas tarefas durante o estágio, como por exemplo, a recuperação do canal fluvial em Dorfstetten e trabalhos de hidrossemeadura realizados no aterro municipal de Viena.

Os principais tópicos abordados nas disciplinas podem ser resumidos, como segue:

- Características e capacidades biotécnicas das plantas;
- Técnicas de Engenharia Natural para ambientes fluviais e estabilização de taludes/encostas;
- Técnicas e formas de aplicação de arbustos, árvores, gramíneas e herbáceas;
- Apresentação de resultados alcançados com obras de Engenharia Natural, executadas em território austríaco e em outros países europeus.

Figura 47 - Disciplina de Ingenieurbiologie (Engenharia Natural) na Universität für Bodenkultur, Wien (BOKU).

3.3.2 Congresso de Engenharia Natural

Ainda relacionado ao tema, realizou-se no mês de fevereiro de 2015 na Universität für Bodenkultur (BOKU) o evento intitulado “Ingenieurbiologie: Neue Entwicklungen an Fließgewässern, Hängen und Böschungen” (Engenharia Natural: Novos desenvolvimentos em ambientes fluviais, encostas e taludes) (Figura 48).

O evento teve duração de três dias e objetivou apresentar aos acadêmicos e profissionais da área as pesquisas recentes desenvolvidas na Áustria, Alemanha, Suíça e Espanha.

O contato com estes especialistas foi muito proveitoso, permitindo a troca de conhecimentos e experiências.

Figura 48 - Capa frontal da revista com as pesquisas apresentadas durante o evento.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As atividades desenvolvidas durante o estágio mostraram-se extremamente importantes, pois permitiram o aprofundamento de conceitos e técnicas baseados em conceitos de Engenharia Natural, através do contato diversificado com trabalhos, pesquisas e exemplos práticos relacionados ao tema.

Através das atividades laboratoriais foi possível o aprendizado e o aprimoramento de conhecimentos em ferramentas como o software AutoCAD, que é extremamente útil na elaboração de projetos na área ambiental e florestal.

Os testes com sementes permitiram a observação do comportamento das espécies vegetais diante de diferentes condições fitossanitárias e ambientais e, como este comportamento pode influir sobre o sucesso ou fracasso na implantação de técnicas de revegetação superficial de taludes.

Do ponto de vista técnico e prático, as atividades executadas a campo mostraram-se as mais importantes. A implantação de obras biotécnicas como a revitalização do córrego Dorfstetten e as hidrossemeaduras realizadas em aterro sanitário proporcionaram a execução de diferentes técnicas de Engenharia Natural, como parede krainer, paliçada, feixe vivo, enrocamento vivo, esteira viva, estacaria, hidrossemeadura, dentre outras, permitindo o acompanhamento das metodologias de execução para cada intervenção e seus efeitos técnicos (mecânicos e hidrológicos) resultantes no local de implantação.

Em complemento, as visitas a obras executadas permitiram observar e concluir sobre os efeitos das intervenções a longo prazo, como o desenvolvimento das plantas, estabilização de taludes fluviais e do fundo do leito, cobertura e proteção do solo contra a erosão superficial, assim como fenômenos de sedimentação e transporte.

A realização deste estágio também proporcionou o contato com alguns dos maiores especialistas em Engenharia Natural do mundo, aspecto importante relacionado à troca de informações e experiências. Além disso, o estágio permitiu fortalecer a cooperação e intercâmbio técnico-científico entre a BOKU e a UFSM, parceria firmada há bastante tempo.

Por fim, os conhecimentos aprofundados e a prática adquirida na área serão essenciais para a elaboração, planejamento e execução de futuros projetos de Engenharia Natural, enquanto profissional habilitado.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

FLORINETH, F. **Pflanzen statt Beton: Sichern und Gestalten mit Pflanzen.** Patzer-Verlag, Berlin-Hannover, 2012.

HÖSTER, H. **Baumpflege und Baumschutz – Grundlagen, Diagnosen, Methoden.** Eugen Ulmer Verlag, Stuttgard, 1993.

ISTA International Seed Testing Association. **Internationale Vorschriften für die Prüfung von Saatgut.** International Seed Testing Association, 2008.

MEDL, A. **Auswirkungen der Baumscheibengestaltung auf Bäume im Stadtbereich am Beispiel Wien** – Hietzing. Masterarbeit an der Universität für Bodenkultur Wien, Wien, 2013.

SCHEFFER, F. & SCHACHTSCHABEL, P. **Lehrbuch der Bodenkunde** (15. Auflage), Spektrum Akademischer Verlag; Heidelberg, 2002.

SCHIECHTL, H. M. **Bioengineering for land reclamation and conservation.** Edmonton, Canada: Department of the Environment, Government of Alberta. University of Alberta Press, 1980.

SCHROEDER, D. **Bodenkunde in Stichworten.** Hirt Verlag, Kiel,1969.

SOUSA, R. S. **Metodologia para especificação de plantas com potencial biotécnico em Engenharia Natural.** Dissertação de Mestrado (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, RS, 2015.

WEISSTEINER, C.; OBRIEJETAN, M.; LAMMERANNER, W. **Sicherung und Begrünung einer zukünftigen Rekultivierungsschicht der Deponie Rautenweg.** Endbericht Modul 3, Universität für Bodenkultur, Wien, 2013.