



TÚNEIS: UM MUNDO DEBAIXO DOS NOSSOS PÉS

Sheila Alves de Oliveira – sheila.oliveira2@hotmail.com

Tatiane Oliveira Nascimento – tatiano.nascimento@gmail.com

Trycia Barreto Santos – tryciabarreto@gmail.com

Victória Nicole Ribeiro Chong – vickachong@hotmail.com

Tânia Regina Dias Silva Pereira – tanreg@uneb.br

Telma Dias Silva dos Anjos – telmadias@uneb.br

Universidade do Estado da Bahia – UNEB, Deptº de Ciências Exatas e da Terra – DCET I
Rua Silveira Martins, 2555, Cabula/Narandiba
41192-010 – Salvador – Bahia

Resumo: *Esse artigo é resultado de uma pesquisa realizada durante a disciplina Metodologia Científica e Tecnológica da Produção, por estudantes de 2º semestre do curso de Engenharia de Produção Civil, da Universidade do Estado da Bahia (UNEB) e tem como objetivo, além de fazer um estudo sobre túneis, descrever o Túnel Seikan que está localizado no Japão e o Gotthard Base Tunnel localizado nos Alpes Suíços. A proposta de estudar essas duas obras foi devido ao fato de elas serem referências de desafios da engenharia, além de serem considerados os túneis mais extensos do mundo. Nesse estudo também serão vistos detalhes construtivos, os tipos de materiais utilizados e técnicas empregadas em suas construções. Para o desenvolvimento da pesquisa, foram realizadas pesquisas bibliográficas sobre o assunto em livros, trabalhos acadêmicos e sites eletrônicos, além da orientação da docente responsável pela disciplina. Ao final do artigo consideramos muito importante para a formação do engenheiro(a) a inserção de pesquisas no início do curso.*

Palavras-chave: *Desafios da Engenharia, Tecnologia de construções em túneis, Responsabilidade socioambiental.*

1. INTRODUÇÃO

A engenharia é uma área que busca solucionar os problemas da sociedade sem comprometer as gerações futuras. Ela também procura solucionar esses problemas de maneira ágil e eficiente, de forma a atender as demandas da população. Para atingir essas metas, os profissionais de engenharia devem estar sempre aprimorando conhecimentos técnicos e científicos, além da preocupação com a sustentabilidade e a preservação do meio ambiente. Dentre os desafios propostos pela engenharia temos obras como os túneis.

Túnel é definido como uma passagem subterrânea, construída para permitir o acesso a um determinado local, além de facilitar e favorecer a união de alguns tipos de transportes (rodoviário, metroviário e ferroviário), podendo ser utilizados com outras finalidades, como coleta de esgoto ou abastecimento de água. São muito importantes para o transporte de uma região, onde o acesso por estradas é inviável, e podem ser construídos pela ação humana ou pela ação da natureza.

Por serem obras diferenciadas, devido à localização e alta complexibilidade, a sua construção exige da engenharia um grande planejamento para serem criados e executados.



Portanto, quanto maior for o túnel, maior serão os desafios enfrentados pelos engenheiros e sua equipe. Pensando nesses aspectos é que decidimos fazer uma pesquisa sobre túneis durante a disciplina Metodologia Científica e Tecnológica da Produção, destacando as obras do Túnel Seikan (Japão) e o Gotthard Base Tunnel (Alpes Suíços), por serem referências de desafios da engenharia, além de serem considerados os túneis mais extensos do mundo.

Para o desenvolvimento da pesquisa, foram realizadas diversas reuniões entre os membros da equipe e por se tratar de pesquisa bibliográfica realizamos busca sobre o assunto em livros, trabalhos acadêmicos e sites eletrônicos.

2. TUNEIS: CONCEITOS E TIPOS

Segundo Chiossi (2010), os túneis são o tipo de construção mais antiga executada pelo homem, e os romanos foram muito ativos nas construções destes, descobrindo assim, técnicas mais eficientes que facilitaram o seu trabalho. Eles perceberam que o choque térmico partia as rochas, ajudando na extração das mesmas, e que em rochas calcárias, quando utilizavam vinagre ao invés de água para o resfriamento, o vinagre, além de partir as rochas, provocava uma ação química.

Além disso, os túneis são obras desafiadoras, pois, na maioria das vezes, são encontrados diversos obstáculos que poderão impedir ou dificultar a construção, como por exemplo, os diversos tipos de rochas encontradas durante a sua escavação, nascentes ou rios, áreas molhadas etc. Utilizados para diversas finalidades, os túneis podem servir como transporte ferroviário, rodoviário, extração de minérios e outros para o transporte de fluidos (água).

O trajeto, a área e o comprimento de cada túnel são estabelecidos antes do reconhecimento geológico, pois, o objetivo é mantê-lo o mais reto possível, para que haja uma simplificação em sua construção, minimização de custos e menor percurso. Todavia, isto pode ser alterado, uma vez que não é possível saber o que será encontrado durante a escavação, sendo de suma importância a exploração geológica (CHIOSSI, 2010). A equipe responsável pela obra tem uma ideia do que pode ser encontrado, entretanto, à medida que o mesmo é escavado, podem ser encontrados outros tipos de contratempos além dos previstos no projeto, sendo necessário fazer um novo estudo, podendo dar início a uma obra de contenção para que aquela área não venha colocar a vida das pessoas em riscos.

Os túneis destinados ao transporte de água são muito importantes, visto que, o abastecimento de uma população e a coleta de esgoto são feitas através de passagens subterrâneas. Há também, túneis suporte e de desvio, que são usados para o transporte de rios, a fim de construir barragens que, posteriormente são dispostos como túneis de adução, que levarão água para as casas de máquinas.

Existem muitos métodos de escavação, a exemplo do método tradicional, a escavação por couraças em rochas mais duras, escavação em materiais moles, construção a céu aberto com taludes inclinados, construção a céu aberto com tipos de escoramento que não fazem parte da estrutura do túnel (Método de Berlim e de Hamburgo), paredes diafragma (Método de Milão) e Método Shield. (CHIOSSI, 2010).

Um método que vem se destacando, na escavação de túneis é o New Austrian Tunnelling Method (NATM), ou método de Tunelamento Austríaco, desenvolvido na Áustria, em meados de 1957 a 1965 que consiste em usar uma camada espessa de chumbadores e concreto projetado na superfície da rocha, como uma forma de sustentação (Figura 1). Seu objetivo é reforçar e dar resistência a rocha enfraquecida, por conta do desmonte a fogo e pelo alívio da tensão, além de vedar, evitando uma deterioração por conta dos fatores naturais.



Figura 1 - Contenção de um túnel



Fonte: http://www.solotrat.com.br/dados/566-tunel-sob-rod-para-aguas-pluviais-home-gde_8a1c9660c046b7066bdfc97ed3ef00db.jpg

Assim, à medida que o túnel for construído, a rocha terá uma resistência maior e suportará maior pressão e todas as outras técnicas aplicadas no mesmo. Chiossi (2010) complementa que este método também tem a função de vedar, protegendo a obra da ação de fatores naturais, além de poder ser aplicado em qualquer tipo de solo.

3. DETALHES CONSTRUTIVOS

3.1 Túnel Seikan: o mais longo túnel abaixo do mar

O túnel de Seikan, localizado no Japão, foi inaugurado em 13 de março de 1988 e é considerado o segundo maior túnel ferroviário do mundo com 53,85 quilômetros de extensão, sendo que, cerca de 23,3 km encontra-se sob o leito marinho. Interliga a ilha japonesa de Honshu à ilha de Hokkaido como parte da linha kaikyo do sistema ferroviário japonês.

O custo de construção do túnel foi de 3,5 bilhões de dólares, mas a ferrovia chegou a custar 4,7 bilhões de dólares. Em sua construção foram utilizadas as tecnologias mais modernas, a exemplo de técnicas inovadoras para escavação, pois foi preciso escavar o leito do mar, visto que a profundidade máxima era de aproximadamente 235 metros. A aplicação dessas tecnologias elevou o custo quase 10 vezes a mais do valor inicial do orçamento, além de atrasar o cronograma de entrega com o dobro de tempo previsto.

O fator determinante para a sua construção foi um tufão em 1964, que devastou o serviço de balsas que se concentravam em Honshu e Hokkaido. Esse desastre, que afundou navios matando mais de 1400 pessoas, estimulou a necessidade de uma rota mais segura entre as ilhas, e então um projeto foi idealizado (Figura 2). O túnel ferroviário foi escavado simultaneamente dos lados de Hokkaido e Honshu (SUPERINTERESSANTE, 2002).

A primeira fase na construção foi a perfuração de um túnel piloto para estudar as formações geológicas e determinar o local onde o túnel ferroviário era de fato executável. Inicialmente a obra ficaria pronta em 10 anos, mas durante 6 anos de execução o plano foi



revisado com a proposta de o túnel ter uma estrutura mais larga, para que tivesse a capacidade de acomodar trens bala (JAPANOLGY PLUS, 2015).

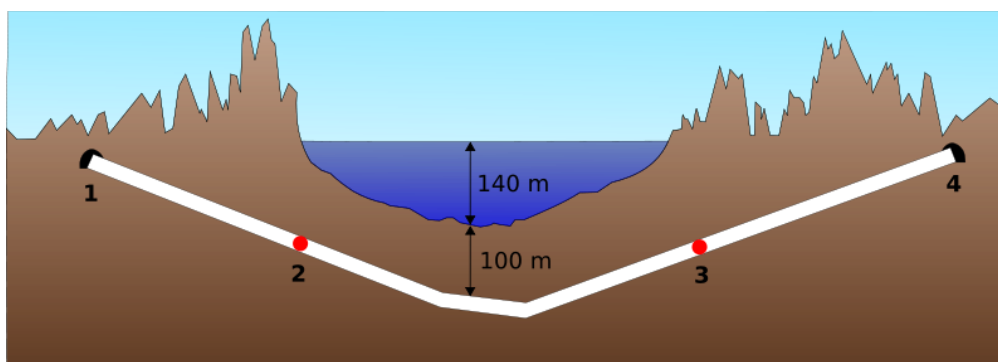
Figura 2 - Rota do túnel que liga Honshu a Hokkaido.



Fonte: <http://operamundi.uol.com.br/conteudo/noticias/10363/hoje+na+historia+1988++japao+inaugura+maior+tunel+subterraneo+do+mundo++.shtml>

A pesquisa geológica do estreito teve início em 1946, no entanto a sua construção só começou em 1971, devido a ocorrência de obstáculos na obra que teve uma necessidade de escavação do leito do mar por correntes marítimas (ver Figura 3).

Figura 3 - Demonstração da profundidade do Túnel Seikan

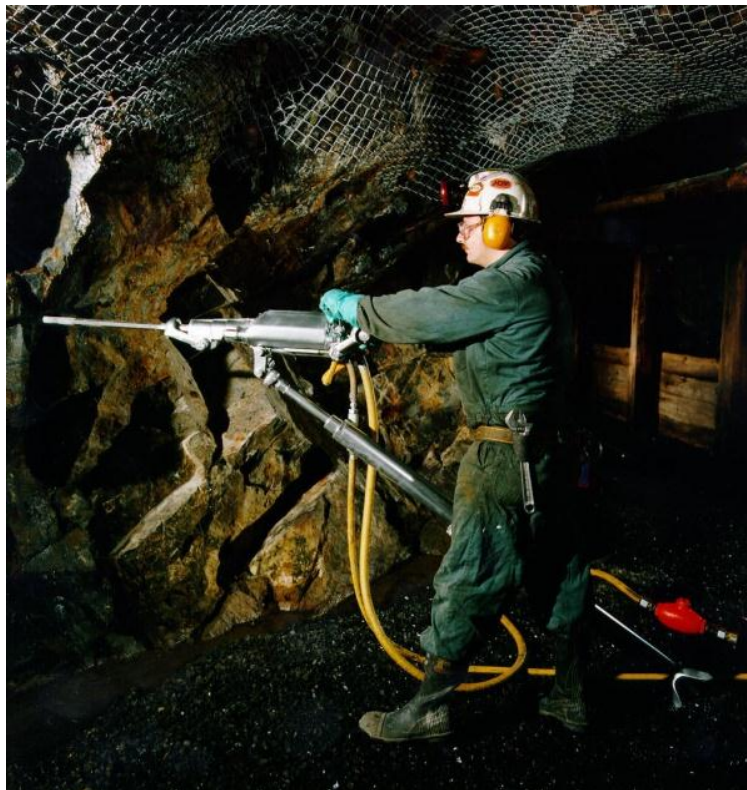


Fonte: <http://www.apoiescolaronline.net/noticias/tunel-de-seikan-4>

Um dos obstáculos foi o maquinário, pois, o projeto previa a utilização de máquina de perfuração, porém, a técnica de funcionamento desta era incompatível com o tipo de solo que era muito macio e não suportava o peso da máquina, sendo necessário substituí-la por escavação de mão de obra humana. Esse processo foi realizado com a máquina Jackleg Drill (Figura 4), uma perfuradora manual que faz buracos na face do túnel, mas que depende das propriedades da rocha, pois é a partir dela que a quantidade de dinamite que é colocada nos furos é decidida (JAPANOLGY PLUS, 2015).



Figura 4 - Jackleg Drill (Perfuradora manual)



Fonte: http://www.partshq.com/drill_joy_al60m_jackleg.htm

As condições dentro do túnel eram críticas, chegando a temperatura de 30 graus Celsius e umidade acima de 90%, causando uma série de acidentes, provocando 34 mortes. Em 1983, 19 anos depois do início da construção, chegou o momento dos túneis pilotos serem perfurados de cada lado para finalmente serem ligados, para isso, foi necessário posicionar a dinamite que iria destruir a última parede de rochas entre os dois túneis, sendo inaugurado, assim, o segundo maior túnel do mundo que melhorou a qualidade de vida de milhares de cidadãos.

Com o funcionamento do túnel houve uma notável redução do tempo de viagem entre Aomori, ao norte de Honshu, e Hakodate, ao sul de Hokkaido, que era de 3 horas e 50 minutos com a barca e agora, de trem, reduziu para 1 hora e 59 minutos. Outro benefício foi a eliminação da insegurança que era associada ao clima em travessias do mar, regularizando desse modo os horários de transporte. Ficou evidente a popularidade do vagão-leito na linha entre Tóquio e Hokkaido e o aumento do serviço de frete por contêineres. Em um período de 12 meses o tráfego de passageiros sofreu um aumento de 18,4%. A Japan Railways iniciou um novo serviço: o transporte de alimentos frescos de Hokkaido para Tóquio utilizando contêineres criados pela empresa que mantêm uma temperatura adequada, com isso, o volume de contêineres sofreu um aumento em 26% (ALTMAN, 2011).

O autor também cita que outra importante mudança foi o aumento anual de 56% do transporte ferroviário de contêineres e de 12% do frete rodoviário. Tal mudança foi devido ao tempo de percurso rodoviário de Tóquio a Matsuyama que foi reduzida de 33 horas para 18 horas e de Osaka a Matsuyama, de 18 horas e meia para 14 horas e meia. Como o transporte de cargas por trem e balsa costumava levar muito mais tempo do que o transporte de passageiros, permitir essa travessia direta foi primordial.



Atualmente, muitos trens fretados e de passageiros atravessam o túnel Seikan (Figura 5). Existe um padrão extremo e rigoroso no túnel devido ao seu comprimento e a sua profundidade. Um trem a diesel, por exemplo, não é permitido, pois o combustível é inflamável e todos os trens devem desligar-se de qualquer mecanismo de combustão. Há também, a realização periódica de prevenção de desastres, que garantem uma resposta rápida em caso de incêndio. Havendo uma situação emergencial existem duas estações subterrâneas de emergência que levam os passageiros de volta à terra em segurança.

Figura 5 - Túnel Seikan



Fonte: <https://estena.files.wordpress.com/2012/06/08.jpg>

3.2 Gotthard Base Tunnel

O Gotthard Base Tunnel – GBT está localizado nos Alpes Suíços e, através dos seus trens de alta velocidade, conecta o norte ao sul da Europa de maneira bem rápida. Atualmente é o maior túnel do mundo com comprimento total de 153,5 Km e levou cerca de 17 anos para ser construído, sendo suas obras iniciadas em 4 de novembro de 1999 e finalizada em 1 de junho de 2016. O túnel dos Alpes Suíços entrou em funcionamento em dezembro de 2016.

O GBT foi planejado para substituir o percurso ferroviário de São Gotardo, visto que, esse trecho não suportava o grande fluxo e quantidade de caminhões com mercadorias, além de ser muito poluente, o que prejudicava os Alpes. A aprovação para construção do túnel aconteceu na década de 40.

Segundo o vídeo da Discovery Channel (2015), a sua escavação começou pelas duas extremidades, através de máquinas específicas para perfurar rochas. À medida que uma equipe escavava, a outra era responsável por fazer a contenção do túnel (Figura 6). Foi um longo trabalho, pois os operários tiveram que enfrentar péssimas condições de trabalho, como escuridão, calor etc.



Figura 6 - Homens trabalhando na construção do Túnel Base de São Gotardo



Fonte: <https://tinhte.vn/threads/ham-gotthard-dai-nhat-the-gioi-xuyen-day-alps-da-thong-suot.501704/>

À medida que as escavações seguiam adiante, novos desafios eram encontrados, como por exemplo, os tipos de rochas, pois elas não eram constantes durante todo o trajeto. Para que a escavação fosse realizada com sucesso a equipe de engenharia utilizou a maior broca do mundo, específica para aquele trabalho, que durou cerca de seis anos, 24h por dia. (DISCOVERY, 2015). O tempo, a organização e o planejamento de toda equipe fez com que a obra fosse concluída de forma rápida e eficiente, deixando as rodovias livres de engarrafamento e, assim, diminuindo a poluição na região.

Para dar maior segurança nos túneis dos Alpes Suíços, dois túneis foram construídos lado a lado, como mostra a Figura 7, por medida de segurança, pois caso houvesse algum acidente de um lado, o outro não seria afetado.

Figura 7 - Entrada dupla do Túnel



Fonte: <http://euamoipatinga.com.br/noticias/noticias.asp?codigo=2581>

Organização



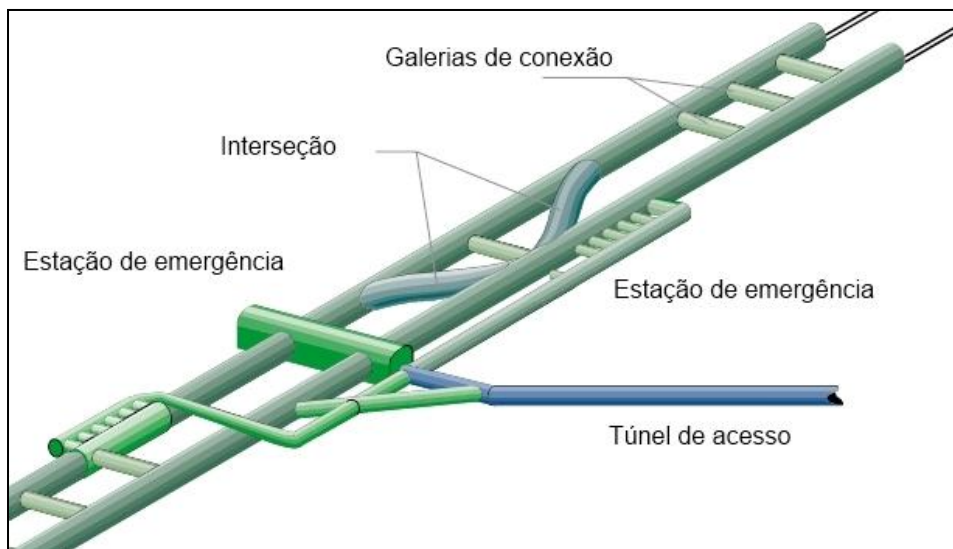
Promoção





Outro ponto importante do projeto do túnel de São Gotardo foi à construção de estações de emergência, assim, caso acontecesse qualquer problema, as pessoas poderiam salvar suas vidas e esperar pelo resgate. As estações ficam perto uma da outra, por medida de segurança, como mostra a Figura 8.

Figura 8 - Saídas de Emergências do Túnel



Fonte: <http://www.tslengenharia.com.br/noticias/saiba-como-e-a-construcao-do-maior-tunel-do-mundo/>

O transporte suíço era realizado pelas estradas, e, a cada dia tornava-se mais ineficiente por conta dos engarrafamentos, atrasando todo o processo e gerando prejuízos às cidades vizinhas. O trem de cargas e de pessoas surgiu como uma solução para o problema, entretanto, o sistema ferroviário encontrado naquela região era inviável, pois as malhas ferroviárias não tinham estruturas para suportar grandes demandas, visto que era bastante antigo. O desafio desse projeto foi construir um túnel nos Alpes, por conta da sua região instável e com diferentes tipos de rochas, má ventilação, alojamento e ar rarefeito.

Segundo a Discovery Channel (2015), logo no início do projeto os responsáveis pelas obras tiveram que se preocupar com as questões ambientais, sendo necessário que, em cada base montada, houvesse um sistema de tratamento de água para evitar o risco de contaminação. O profissional de engenharia deve se preocupar com as questões ambientais desde sua formação, conforme as Diretrizes Curriculares Nacionais do Curso de Graduação em Engenharia:

Art. 3º O Curso de Graduação em Engenharia tem como perfil do formando egresso/profissional o engenheiro, com formação generalista, humanista, crítica e reflexiva, capacitado a absorver e desenvolver novas tecnologias, estimulando a sua atuação crítica e criativa na identificação e resolução de problemas, considerando seus aspectos políticos, econômicos, sociais, ambientais e culturais, com visão ética e humanística, em atendimento às demandas da sociedade (BRASIL, 2002).

É de extrema importância que o engenheiro esteja atento às medidas de segurança e sua responsabilidade socioambiental. O túnel, geralmente, é feito sob a terra e, nesse caso, é necessário que esteja com ventilação adequada, oxigênio suficiente para que os profissionais executem a obra de forma segura e saudável.

Organização



Promoção





Os túneis dos Alpes Suíços garantem segurança e agilidade para a população europeia, diminuindo o congestionamento e a população das estradas. Assim o novo túnel, facilitou o crescimento de parte da Europa, beneficiando o mercado da região.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desenvolvimento dessa pesquisa possibilitou aos estudantes a percepção da importância da construção de túneis para melhoria da qualidade de vida de uma sociedade, na medida em que encurta distâncias e otimiza o tempo para utilização de diversos meios de transportes. Outro fator importante é a questão da acessibilidade da população, podendo ser uma solução mais econômica, uma vez que utiliza-se da perfuração de uma elevação em detrimento de contorná-la ou aplaná-la.

Desse modo, considerando a sua grande importância no cenário social, buscou-se, no presente artigo, exemplificar dois túneis de destaque na engenharia, devido, principalmente, a sua infraestrutura e suas complexidades.

Percebe-se que são muitos os aspectos positivos decorrentes da construção dessas obras, na medida em que, ao possibilitarem a melhoria de acesso da população aos locais, acarretam, também, como consequência, melhorias na qualidade de vida da população, geram impacto positivo na economia local, dentre outros atributos benéficos para a sociedade.

Outro fator importante e motivador para os estudantes foi no início do curso começarmos a trabalhar com pesquisas relacionadas à engenharia, o que desperta o interesse pela profissão.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALTMAN, M. **Hoje na História**: 1988 Japão inaugura maior túnel subterrâneo do mundo. São Paulo, 13 mar. 2011. Disponível em: <

<http://operamundi.uol.com.br/conteudo/noticias/10363/hoje+na+historia+1988++japao+inaugura+maior+tunel+subterraneo+do+mundo++.shtml>>. Acesso em: 15 abr. 2017.

BIANCHIN, V. **Qual é o maior túnel do mundo?** *Revista Mundo Estranho*. São Paulo: Editora Abril. Edição 82, dez. 2008. Disponível em: <<http://mundoestranho.abril.com.br/cotidiano/qual-e-o-maior-tunel-do-mundo/>>. Acesso em: 10 fev. 2017.

CHIOSSI, Genivaldo José. **Geologia Aplicada à Engenharia**. São Paulo: Editora [Grêmio Politécnico](#), 2010.

DISCOVERY CHANNEL. Megaconstruções: Túnel Sob os Alpes Suíços (Dublado HD Completo) **Documentário Discovery Channel**, 2015. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=sw08RaDG440&t=162s>>. Acesso em: 20 abr. 2017.

JAPANOLOGY PLUS. **The Seikan Tunnel**. 2015. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=puuZ00JMXAA>>. Acesso em: 20 abr. 2017.

MARAGON, M. **Tópicos de geotecnia e obras de terra** (notas de aula). Disponível em: <http://www.ufjf.br/nugeo/files/2009/11/togot_Unid01GeologiaAplicada-2006-2.pdf>. Acesso em: 20 abr. 2017.



BRASIL. **Resolução CNE/CES 11, DE 11 DE MARÇO DE 2002.** Institui Diretrizes Curriculares Nacionais dos Cursos de Graduação em Engenharia. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/cne/arquivos/pdf/CES112002.pdf>. Acesso em: 20 mai.2016.

REVISTA SUPERINTERESSANTE. Minhocão Submarino. **Revista Superinteressante.** São Paulo: Editora Abril. Edição 173A, mar. 2002. Disponível em: <http://www2.abril.com.br/tecnologia/minhocao-submarino-442691.shtml>. Acesso em: 20 abr. 2017.

SANTOS, L. **Seikan. O mais longo túnel abaixo do leito do mar.** Postado em 1 mar. 2016. Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=RIKZvUrmh_o&t=107s. Acesso em: 20 abr. 2017.

TUNISIA: A WORLD UNDER OUR FEET

Abstract: *This article is the result of a research carried out during the 2nd semester of the Civil Engineering Engineering course at the State University of Bahia (UNEB) during the course of the Scientific and Technological Methodology of Production. About tunnels, describe the Seikan Tunnel which is located in Japan and the Gotthard Base Tunnel located in the Swiss Alps. The proposal to study these two works was due to the fact that they are references of engineering challenges, besides being considered the most extensive tunnels in the world. In this study will also be seen constructive details, the types of materials used and techniques employed in their constructions. For the development of the research, bibliographical research on the subject was carried out in books, academic works and electronic websites, besides the orientation of the teacher responsible for the discipline. At the end of the article we consider it very important for the training of the engineer (a) to insert research at the beginning of the course.*

Key-words: *Challenges of Engineering, Tunnel construction technology, Socio-environmental responsibility.*